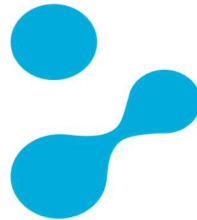




samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TEIJA PELKONEN

Sähkötuottajan liiketoimintamahdollisuudet CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa

TOIMITUSVERKOSTON KEHITTÄMISEN
YAMK-TUTKINTO-OHJELMA
2024

TIIVISTELMÄ

Pelkonen, Teija: Sähkön tuottajan liiketoimintamahdollisuudet CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa
Opinnäytetyö, ylempi AMK
Toimitusverkoston kehittämisen YAMK-Tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2024
Sivumäärä: 76

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda liiketoimintamalli sähkön tuottajalle CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa. Vedyn tuottaminen sähköllä kuluttaa erittäin paljon sähköä. Tämän takia vedyn tuotannolla, siihen tarvittavan sähkön tuotantokriteereillä ja alkuperätakuilla on iso vaikutus tulevaisuuden sähkömarkkinoihin ja niillä markkinoilla toimiviin yrityksiin.

Vedyn ja sähköpolttoaineiden ennustetun tuotannon kasvun lisäksi sähkömarkkinoilla on menossa muutos, jota pyritään ohjaamaan Euroopan unionin toimesta erilaisilla lainsäädäntöhankkeilla. Esimerkiksi muutaman viime vuoden aikana Euroopassa ja Suomessa on noussut keskusteluihin tarve erilliselle kapasiteettimarkkinalle, jolla taattaisiin sähkötehon riittävyys kaikkina ajanhetkinä. Näillä kaikilla säädöksillä ja hankkeilla on merkitystä siihen, kuinka sähkön tuottaja voi jatkossa toimia markkinoilla, mihin kannattaa investoida ja kuinka tehdä yhteistyötä puhtaan eli CO₂-vapaan vedyn tuottajan kanssa.

Työssä pyrittiin tunnistamaan reunaehdot liiketoimintamallille sekä tulevaisuuden sähkö- ja alkuperätakuemarkkinoihin vaikuttavat tekijät. Työssä käytiin läpi esimerkiksi Euroopan unionin ja Suomen ilmastostrategiat sekä voimassa oleva lainsäädäntö liittyen alkuperätakuisiin vedyn tuotannossa ja erityisesti sähköpolttoaineiden tuotannossa

Tämä työ toteutettiin tapaus- ja tulevaisuudentutkimuksena kvalitatiivisia menetelmiä käyttäen. Tutkimusmenetelminä työssä käytettiin dokumenttianalyysiä, PESTE-analyysiä sekä aivoriihää yhdessä Business Model Canvas -työkalun kanssa. Opinnäytetyön lopputuloksena kehitettiin kumppanuusliiketoimintamalli, jossa asiakassegmentiksi valittiin vedyntuottaja sähköpolttoaineiden valmistukseen.

Avainsanat: vety, CO₂, alkuperätakuu, sähkömarkkinat, joustomarkkinat, liiketoimintamalli, arvoketju

Abstract

Pelkonen, Teija: The electricity producer's business opportunities in the CO₂-free hydrogen production value chain

Master's thesis

Degree programme Development of Supply Network

December 2024

Number of pages: 76

The goal of the Thesis was to create a business model for the electricity producer as part of the CO₂-free hydrogen production value chain. Producing hydrogen with electricity consumes a significant amount of electricity. Therefore, hydrogen production, the criteria for the electricity and guarantees of origin required for it will therefore have a big impact on future electricity markets and companies operating in those markets.

The production of hydrogen and electric fuels is predicted to increase in the future. Electricity markets are under transformation, which is led by various legislative initiatives by the European Union. For example, recently, there has been a lot of discussion concerning the need for a separate capacity mechanism to ensure the adequacy of electricity supply. Regulations and initiatives affect how electricity producers can operate in the market in the future, where to invest, and how to collaborate with CO₂-free hydrogen producers.

The aim of the study was to identify the boundaries for the business model and the factors affecting the future electricity and guarantee of origin markets. For example, the European Union's and Finland's climate strategies were reviewed, along with the current legislation related to guarantees of origin in hydrogen production, and especially related the need of electricity guarantees of origin when producing electric fuels.

The study was conducted as a combination of case and future study using qualitative methods. The research methods used in the work included document analysis, PESTE analysis, and brainstorming with subject matter experts by using the Business Model Canvas tool. As result of the thesis, a partnership business model was developed. Where the chosen end customer segment was a hydrogen producer for an electric fuel manufacturer.

Keywords: Hydrogen, CO₂, guarantees of origin, electricity markets, flexibility markets, business model, value chain

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET	7
2.1 Kohdeorganisaatio	7
2.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus	7
2.3 Tutkimuskysymykset	9
2.4 Työn tietoperusta, teoreettinen viitekehys ja keskeiset käsitteet	10
3 POHJOISMAISET SÄHKÖMARKKINAT JA TULEVAISUUS.....	14
3.1 Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden toiminta	14
3.2 Sähkömarkkinoiden tulevaisuus	17
3.2.1 Kapasiteettimekanismit ja joustavan kapasiteetin tarve tulevaisuudessa	17
3.2.2 Sähkön tuotannon ja kulutuksen kasvuennusteet ja investoinnit	19
3.2.3 Digitalisaatio ja lohkoketju sähkömarkkinoilla	23
3.3 Joustomarkkinat	24
4 CO ₂ -VAPAA VETY	27
4.1 CO ₂ -vapaan vedyn tuotanto	27
4.2 Vedyn käyttömahdollisuudet nyt ja tulevaisuudessa	28
5 EUROOPAN UNIONIN JA SUOMEN ILMASTOSTRATEGIAT	30
6 ALKUPERÄTAKUU	33
6.1 Mikä on alkuperätakuu?	33
6.2 Alkuperätakuut lainsäädännössä	33
6.3 Alkuperätakuiden myöntö, kauppa ja käyttö	35
6.4 Alkuperätakuut uusiutuvien polttoaineiden tuotannossa	36
7 LIIKETOIMINTAMALLI	41
8 TUTKIMUKSEN LÄHESTYMISTAPA JA TUTKIMUSMENETELMÄT	45
8.1 Työn lähestymistapa ja tietoperusta	45
8.2 Käytettävät tutkimusmenetelmät	46
9 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN JA TULOKSET	51
9.1 Dokumenttianalyysin ja PESTE-analyysin suorittaminen ja tulokset ..	51
9.2 Aivoriihi Business Model Canvas -työkalua käyttäen	55
9.3 Tutkimuksessa kehitetty kumppanuusliiketoimintamalli sähköntuottajalle	60
9.3.1 Kumppanuusliiketoimintamallin asiakassegmentit ja arvolupaus	61
9.3.2 Kanavat, joiden kautta asiakas tavoitetaan ja arvolupaus toimitetaan sekä asiakassuhteen luonne	62

9.3.3 Tulovirrat, joiden kautta puhtaan sähkön tuottaja saa rahaa sekä tarvittavat avainresurssit tulojen hankkimiseen	63
9.3.4 Avainaktiviteetit ja tarvittavat avainkumppanit kumppanuusliiketoimintamallin toimintaan	65
9.3.5 Kustannusrakenne valitussa kumppanuusliiketoimintamallissa .	66
10 JOHTOPÄÄTÖKSET, TULOSTEN HYÖDYNNETTÄVYYS JA TUTKIMUKSEN ARVIOINTI	68
10.1 Opinnäytetyön tavoite ja tutkimuskysymykset	68
10.2 Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus	68
10.3 Tutkimuksen johtopäätökset ja kehitysideoat	69
LÄHTEET	72
LIITE 1: PESTE-ANALYYSIN TODENNÄKÖISYYDET	76

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on sähköntuottajan liiketoimintamahdollisuudet CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa. Euroopassa ja Suomessa vetyä valmistetaan suurimmaksi osaksi maakaasusta, joka aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Maakaasusta valmistettua vetyä käytetään paljon useilla eri teollisuuden aloilla. Fossiilisten polttoaineiden polttamisesta aiheutuvia kasvihuonepäästöjä voidaan vähentää esimerkiksi sähköistämällä teollisuuden prosesseja sekä korvaamalla prosesseissa käytetty vety päästöttömällä energianlähteillä tuotetulla vedyllä. Suora teollisten prosessien sähköistäminen ei ole aina mahdollista. Päästöttömällä energialla tuotetulla vedyllä, ja esimerkiksi sen avulla tuotetuilla synteettisillä polttoaineilla voidaan vähentää päästöjä myös sellaisilla teollisuuden aloilla, joilla muuten se olisi hyvin vaikeaa, ellei jopa mahdotonta. Tämän vuoksi siirtyminen CO₂-vapaan vedyn tuotantoon nähdään tällä hetkellä tärkeäksi mahdollistajaksi energia- ja ilmastopäästötavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa.

CO₂-vapaata eli päästötöntä vetyä voidaan tuottaa sähköllä, jos sähkön tuotantoon käytetään päästöttömiä energian tuotantomuotoja, kuten aurinko-, tuuli-, vesi- ja ydinvoima. Vedyn tuotanto elektrolyysin eli sähkön avulla kuluttaa todella paljon sähköä, ja jotta vety olisi päästötöntä pitää myös tuotantoon käytetyn sähkön olla päästötöntä. Euroopan unionissa käytetyn sähkön ja vedyn alkuperä todennetaan alkuperätakuujärjestelmällä. Sekä sähkön että alkuperätakuiden markkinoita ohjataan hyvin vahvasti eurooppalaisella ja kansallisella lainsäädännöllä.

Vedyn tuotantoa ja käyttöä on jo ollut pitkään, mutta markkinat ja lainsäädäntö CO₂-vapaaksi luokitellun vedyn tuotantoon hyväksyttävästä sähköstä ja sähkön alkuperätakuista on uusi ja vaatii vielä selvennyksiä. Tämän työn tavoitteena on tunnistaa lainsäädäntöhankkeista tulevat reunaehdot, ja tulevaisuuden vaihtoehdot sähköntuottajan liiketoiminnalle. Pohjautuen näihin reunaehtoihin työssä on tarkoitus kehittää mahdollinen liiketoimintamalli uusiutuvaa sähköntuotantoa omistavalle yritykselle Pohjoismaissa.

2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

2.1 Kohdeorganisaatio

Työn tilaaja on UPM Energy Oy (jatkossa UPM Energia), joka kuuluu UPM Kymmene Oyj konserniin. UPM Energia on Suomen toiseksi suurin sähköntuottaja, jonka tuotantoportfolio koostuu pääasiassa vesivoimasta sekä ydinvoimasta. UPM Energia toimii pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Se käy kauppaa kaikilla fyysisillä sähkömarkkinoilla, johdannaismarkkinoilla sekä tarjoaa energianhallintapalveluita teollisille kuluttajille ja tuottajille. (UPM Energy, 2023a.) Keskusteluissa UPM Energian yhteyshenkilön kanssa esille nousi yrityksen tarve ymmärtää vedyntuotannon tuomia liiketoimintamahdollisuuksia, mutta myös kehitteillä olevan lainsäädännön vaikutuksia sähkömarkkinoille. Työtä ei tehdä UPM Energian näkökulmasta, vaan yleisesti puhtaan energian tuotantoa omaavan Suomessa toimivan yrityksen näkökulmasta.

Organisaatio näkee vedyntuotannon ja sen vaikutukset sähkömarkkinoihin tulevaisuuden toimialan liiketoiminnan kannalta merkittävänä. Lainsäädäntö liittyen vedyn tuotantoon ja tuotannossa käytetyn sähkön markkinoihin sekä alkuperätakuumarkkinoihin on jo olemassa, mutta varsinkin CO₂-vapaan vedyn tuotantoon liittyen osittain vielä kehitteillä. Tulevaisuuden markkinamalleilla ja mahdollisilla liiketoimintamalleilla on merkittävä vaikutus alalla toimivien yritysten toimintaan sekä mahdollisuuksiin löytää kannattavat liiketoimintamahdollisuudet ja asiakassegmentit. Kun ymmärretään lainsäädännöstä tulevat reunaehdot, yritykset pystyvät rakentamaan niiden pohjalta kestäväää ja kannattavaa liiketoimintaa.

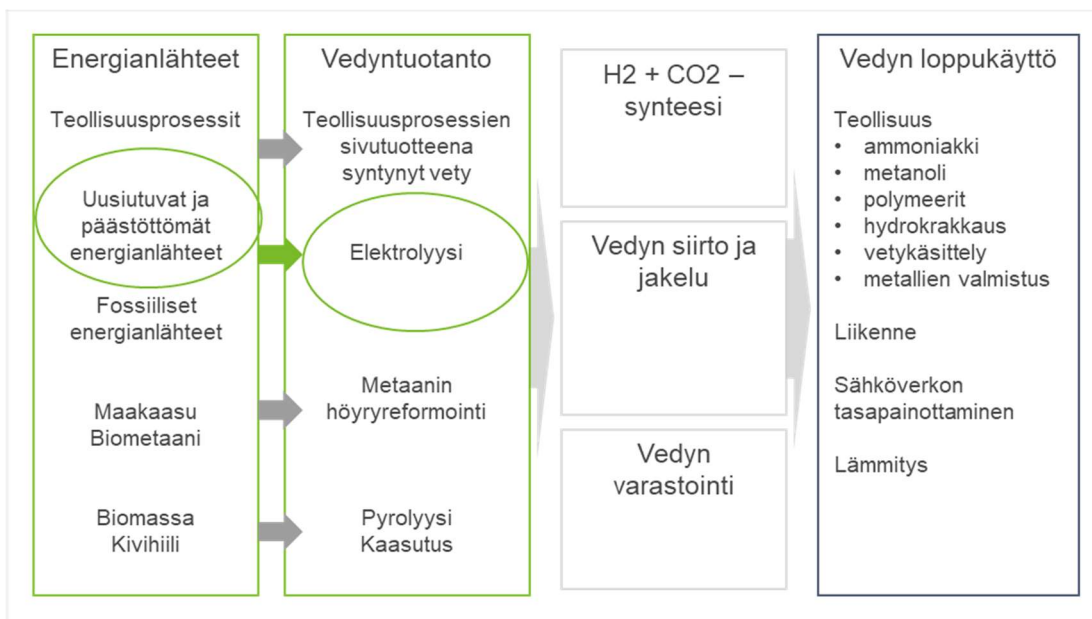
2.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus

Tässä työssä keskitytään päästöttömän vedyn tuotannon tuomiin uusiin liiketoiminnan mahdollisuuksiin ja rajoituksiin sähköntuotantoyhtiölle pohjoismaisilla fyysisillä sähkömarkkinoilla. Työn ulkopuolelle on rajattu sähkön johdannaismarkkinat ja sähkönsiirtoverkkojen toiminta. Työn teoriaosassa käydään

läpi aiheeseen liittyvä lainsäädäntö, ja sieltä tulevat liiketoimintaan vaikuttavat määräykset, esimerkiksi sähkömarkkinalaki, laki alkuperätakuista ja uusiutuvan energian direktiivi. Koska lainsäädäntö ja sähkömarkkinat ovat jatkuvassa muutostilassa, työssä keskitytään vuoden 2024 tilanteeseen ja tulevaisuuden näkyymiin seuraavan kymmenen vuoden aikana.

Työssä ei käsitellä vedyn eri tuotantotekniikoita eikä niiden mahdollisuuksia joustoon eri joustomarkkinoilla. Työssä ei käsitellä vedyn varastointia ja siihen liittyviä Power-to-X-tekniikoita, koska tässä työssä keskitytään vedyn tuotannon arvoketjun alkupäähän. Työssä ei myöskään käsitellä liiketoimintamallien kehittämiseen liittyviä työkaluja eikä tarkoitus ole kehittää liiketoimintamalleja loppuun saakka, vaan luoda yksi mahdollinen liiketoimintamalli analyysien pohjalta.

Työssä on tarkoitus tutkia Suomen ja Euroopan unionin energia- ja ilmastotavoitteita, kansallisia ja EU-tason lainsäädäntöhankkeita ja jo olemassa olevaa lainsäädäntöä. Näiden pohjalta tulevaisuudentutkimuksen työkaluja hyödyntäen työssä kehitetään liiketoimintamalli sähköntuottajalle osana CO₂-vapaa vedyn tuotannon arvoketjua. Perinteisesti arvoketjuissa esitetään vedyn tuotantoon käytettävät energialähteet ja tekniset tuotantomuodot, mutta ei sähköntuottajaa ja sen asemaa arvoketjussa (kuvio 1). Työn teoriaosuudessa keskitytään kuviossa 1 ympyröityihin arvoketjun osiin ja sähköntuottajan mahdollisuuksiin ja rajoitteisiin osana arvoketjua.



Kuvio 1. Vedyn arvoketjut (mukaiillen Sivill ym., 2022, s. 20)

Työn lopputuloksena syntyy kuvaus mahdollisesta liiketoimintamallista sähköntuotantoyhtiölle CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa. Työ on rajattu koskemaan vain pohjoismaisia sähkömarkkinoita ja CO₂-vapaata sähköntuotantoa vedyntuotannon arvoketjun vaatimusten näkökulmasta.

2.3 Tutkimuskysymykset

Työn tavoitteet ilmaistaan, ja niihin päästään, tutkimuskysymysten avulla. Tutkimusmenetelmät valitaan sen mukaan, että niiden avulla pystytään vastaamaan tutkimuskysymyksiin (Puusa ym., 2020, s. 9.) Tutkimuskysymykset on jaettu tässä työssä kahteen osaan; päätutkimuskysymykseen ja apukysymyksiin.

Päätutkimuskysymys:

- Minkälaisella liiketoimintamallilla sähköntuotantoyritys voi toimia CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa?

Apukysymykset:

- Millä tuotantomuodoilla ja missä tuotettua sähköä voidaan käyttää CO₂-vapaan vedyn tuotantoon?

- Kuinka alkuperätakuu- ja sähkömarkkinat toimivat CO₂-vapaan vedyn tuotannossa?
- Miten osoitetaan vedyntuotannossa käytetyn sähkön alkuperä?
- Millä sähkön joustomarkkinoilla sähköntuottaja voi toimia lainsäädännön rajoitteet huomioiden?

2.4 Työn tietoperusta, teoreettinen viitekehys ja keskeiset käsitteet

Teoreettinen viitekehys asettaa työlle raamit, ja sen avulla määritellään työn kannalta oleelliset käsitteet ja niiden suhteet toisiinsa. Viitekehysten avulla kerrotaan, mille alueelle työssä keskitytään ja minkä teorian pohjalta työtä rakennetaan. Opinnäytetyön suunnittelu, uuden luominen ja myös kehittäminen pohjautuvat asetettuun viitekehukseen. Viitekehuksesta käytetään kirjallisuudessa myös termejä kirjallisuuskatsaus, teoriatausta, tietoperusta ja teoreettinen tausta. Viitekehys ja siinä esitetyt käsitteet relaatioineen määrittelevät opinnäytetyön näkökulman ja perustan. (Ojasalo ym., 2015, s. 19, 25,34.) Tämän työn keskeisiä käsitteitä ovat sähkömarkkinat, alkuperätakuu, CO₂-vapaa vety, joustomarkkina ja liiketoimintamalli. Yhdessä nämä muodostavat tälle työlle kuvion 2 mukaisen teoreettisen viitekehksen.



Kuvio 2. Työn teoreettinen viitekehys ja keskeiset käsitteet

Sähkömarkkinat

Suomi, Ruotsi, Norja ja Tanska muodostavat yhdessä pohjoismaiset sähkömarkkinat. Markkinat jakautuvat ylätasolla kahteen osaan sen mukaan, onko kyse fyysisen sähkön markkinoista vai sähkön myynti- ja ostohinnan suojauksesta finanssikaupoilla eli johdannaismarkkinoista. Fyysisellä sähköllä ja kapasiteetilla käydään kauppaa niin kutsutuilla fyysisen sähkön markkinoilla. Fyysiset sähkömarkkinat jakautuvat puolestaan kahteen osaan; tukkusähkömarkkinoihin ja vähittäismarkkinoihin. Erilaisten markkinapaikkojen lisäksi toimijat voivat tehdä kahdenvälisiä sopimuksia sähkön myynnistä ja hankinnasta. Tukkusähkömarkkinoilla yritykset käyvät kauppaa keskenään, sähköpörseissä tai kantaverkkoyhtiön ylläpitämillä markkinapaikoilla. (Fingrid, 2023.) Sähkömarkkinoita säätelevä lainsäädäntö ja markkinapaikat asettavat pohjan sille, kuinka sähköntuottaja voi toimia sähkömarkkinoilla ja minkälaisia liiketoimintamahdollisuuksia sillä on nyt ja tulevaisuudessa.

Joustomarkkinat

Joustomarkkinoiksi eli säätö- ja reservimarkkinoiksi kutsutaan markkinoita, joille tuottaja tai kuluttaja voi päivän sisällä tarjota mahdollisuutta joustaa sähkön kulutuksessa tai tuotannossa. Perinteisen tuotannon ja kulutuksen lisäksi joustomarkkinoille voivat osallistua sähköakut ja esimerkiksi vedyn tuotannossa käytettävät elektrolysaattorit, myös yksityishenkilöt voivat osallistua näille markkinoille tulevaisuudessa aggregaattoreiden kautta. Sähköverkon on oltava tasapainossa tuotannon ja kulutuksen osalta joka hetki, tästä huolehtii Suomessa kantaverkkoyhtiö Fingrid. Jos tuotanto ja kulutus eivät ole sähköverkossa tasapainossa, aiheuttaa se pahimmillaan sähkönsiirtoverkon rikkoutumisen ja sähkökatkon. Riippuen verkon tasapainosta pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt hankkivat tarvittavaa joustoa eri markkinatuotteiden kautta. (Fingrid, 2023; Pahkala ym., 2018 s. 13–15, 17.)

CO₂-vapaa vety

Vetyä voidaan valmistaa monin eri tavoin. Perinteisesti vedyn tuotantoon on käytetty maakaasua, jolloin vety erotetaan maakaasusta ja sivutuotteena syntyy CO₂-päästöjä. Maakaasun käytölle etsitään vaihtoehtoja, koska tavoitteena on vähentää ilmaston hiilidioksidipäästöjä. Vaihtoehtona maakaasun käytölle vedyn tuotannossa on vedyn valmistaminen elektrolyysin avulla sähköllä, tällöin vedyn tuotannon aiheuttamat laskennalliset päästöt riippuvat sähkön tuotantoon käytetystä energialähteestä. Koska vedyn tuotannossa voidaan käyttää eri energialähteillä tuotettua sähköä, on tuotetulle vedylle luotu värikoodit. Puhtaaksi eli CO₂-vapaaksi vedyksi luokitellaan vihreä eli uusiutuvilla energialähteillä tuotettu vety sekä violetti päästöttömillä energialähteillä tuotettu vety. Tällainen päästötön ei-uusiutuva energialähde sähköntuotannossa on ydinvoima. Uusiutuvia sähköntuotantomuotoja ovat vesi-, tuuli- ja aurinkoenergia. (Sivill ym., 2022, s. 14.)

Alkuperätakuu

Alkuperätakuilla tarkoitetaan järjestelmää, jossa voidaan todentaa sähköntuotannon tapahtuneen ilmoitetulla tuotantomuodolla esimerkiksi tuulivoimalla. Euroopan unionissa alkuperätakuista hallinnoidaan sähköisellä asiakirjalla, ja niillä voidaan käydä kauppaa Euroopan laajuisesti. Hinta määräytyy vapaasti markkinoilla kysynnän ja tarjonnan mukaan, ja osapuolet voivat tehdä myös kahdenvälisiä pitkiä tai lyhyitä sopimuksia alkuperätakuista. Ennen kuin alkuperätakuun voi saada ja sillä käydä kauppaa, pitää tuotantolaitoksen ja -muodon olla todennettu lainsäädännön vaatimalla tavalla. Sähkön lisäksi alkuperätakuista myönnetään myös biokaasulle ja vedylle. Alkuperätakuiden käyttäminen on pakollista, jos sähkönkäyttäjä, -myyjä tai -tuottaja ilmoittaa sähkön olevan uusiutuvilla energialähteillä tai ydinvoimalla tuotettua, tai jos vedyn käyttäjä esimerkiksi kertoo markkinoinnissaan käyttävänsä uusiutuvaa vetyä. (Laki energian alkuperätakuista 1050/2021, 1 luku 2–3 §; 2 luku 7–8 §; Lumme Energia, n.d.)

Liiketoimintamalli

Liiketoimintamalli kuvaa mitä, kenelle ja miten yritys toimii ja tuottaa arvoa. Liiketoimintamallilla pyritään kuvaamaan yrityksen tuloksetekomallia, jolloin mallin kuvauksessa keskitytään yrityksen tuloksen- ja voitontekoratkaisuihin. Toinen tapa kuvata liiketoimintamallia on yrityksen arvonluonnin kautta, eli miten arvoa tuotetaan ja millä mekanismeilla. Kun liiketoimintamallia kuvataan arvonluonnin kautta, kuvataan tapoja ja keinoja, joilla vastataan asiakkaan tarpeeseen tai ongelmaan. (Hänti, 2021, s. 75.) Liiketoimintamallien kehittämisen pitäisi lähteä niin sanotusti tyhjästä. Olemassa olevien ja vanhojen mallien kopiaaminen ei tuo välttämättä lisäarvoa. Eri vaihtoehtoja yhdistelemällä ja vertailemalla saavutetaan yleensä parhaat tulokset. (Ojasalo ym., 2015, s. 184.) Kirjallisuudessa liiketoimintamalleille on hyvin erilaisia määritelmiä ja termiä on käytetty hyvin monenlaisessa yhteydessä. Tässä työssä on valittu käytettäväksi Osterwalderin ym. (2010) määrittelyä liiketoimintamallista, koska se tukee parhaiten työkaluksi valittua Business Model Canvas -työkalua. Lisäksi se antaa kattavimmin osa-alue jaottelun opinnäytetyön liiketoimintamallin kehitystyölle.

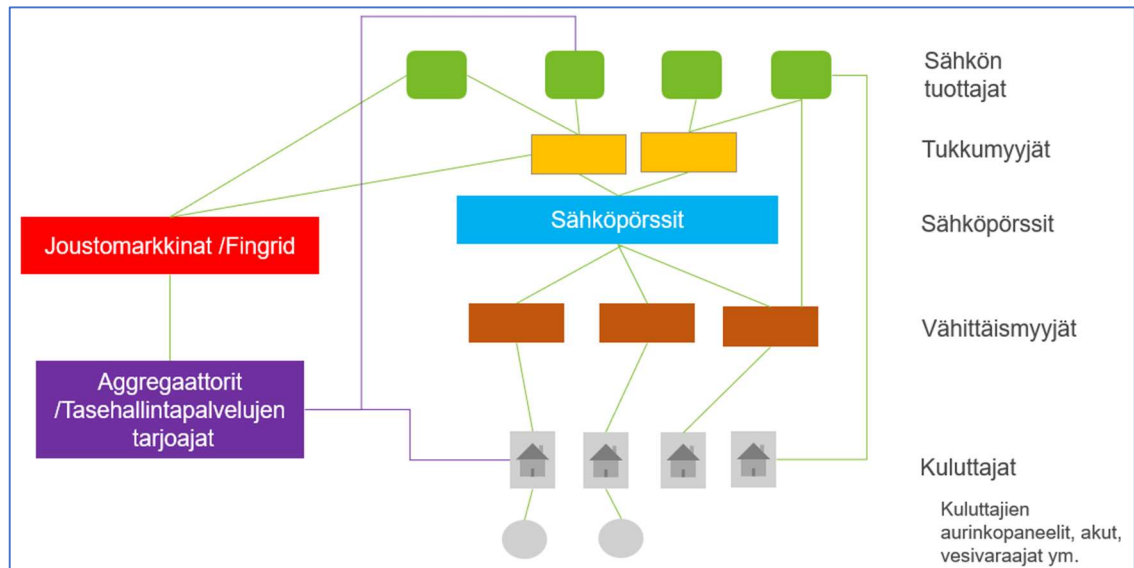
3 POHJOISMAISET SÄHKÖMARKKINAT JA TULEVAISUUS

3.1 Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden toiminta

Sähkömarkkinat pohjoismaissa palvelevat useita eri tarkoituksia. Niille sähköntuottajat voivat tarjota tuottamaansa sähköä ja vastaavasti kuluttajat ja sähkömyyjät hankkia tarvitsemansa sähkön. Ne takaavat, että suunniteltu tuotanto ja kulutus ovat tasapainossa ennen toimitushetkeä, ja niiden kautta saadaan myös hinta tuleville markkina-ajanjaksoille. Todellisuudessa sähköntuotanto ja -kulutus eivät kuitenkaan koskaan ihan kohtaa, ja laitteistot voivat rikkoontua. Tätä tuotannon ja kulutuksen epätasapainoa kutsutaan tasevirheeksi. Tasevirheen hallintaa varten on luotu erilliset joustomarkkinat, eli säätö- ja reservimarkkinat. Joustomarkkinoiden ylläpito ja kehitys on kantaverkkoyhtiöiden vastuulla. (Energinet ym., n.d., s. 3.)

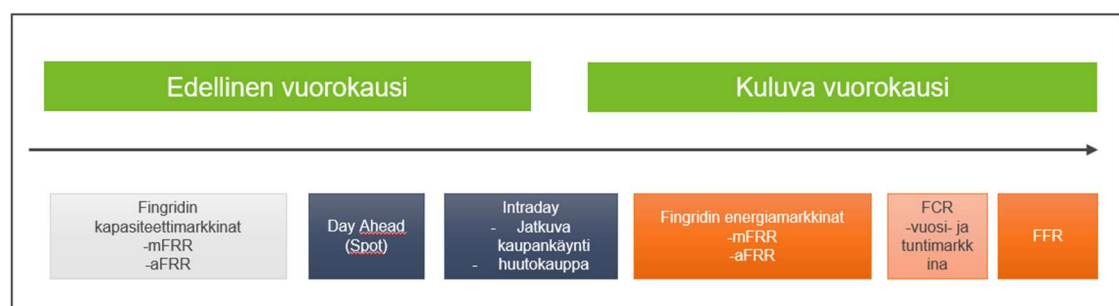
Sähköjärjestelmä ja markkinat ovat juuri nyt muutoksen edessä johtuen lisääntyvästä uusiutuvan energian tuotannosta eli tuuli- ja aurinkovoimasta, joka aiheuttaa haasteita verkon tasapainon hallintaan. Toisaalta nämä muutokset voivat samaan aikaan luoda uusia mahdollisuuksia sähkömarkkinatoimijoille. (Energinet ym., n.d., s. 3.) Pitkän tähtäimen tavoitteena Euroopan unionilla on saavuttaa yhteiseurooppalaiset tukkusähkömarkkinat. Suomessa sähkömarkkinoita koskee sähkömarkkinalainsäädäntö, jota puolestaan säätelee Euroopan unionin direktiivi sähkön sisämarkkinoista, asetukset sekä verkkosäännöt. (Työ- ja elinkeinoministeriö, n.d.)

Kun puhutaan pohjoismaisista sähkömarkkinoista, viitataan Suomen, Ruotsin, Tanskan ja Norjan yhdessä muodostamiin tukkusähkömarkkinoihin. Pohjoismaisilla markkinoilla on yhteiset sähköpörssit, joiden kautta voidaan käydä kauppaa ja myös kantaverkkoyhtiöiden yhteiset markkinapaikat tasehallintaan ja verkon tasapainotukseen. (Fingrid, 2023; Työ- ja elinkeinoministeriö, n.d.) Sähkön tuottaja ja kuluttaja voi osallistua sähkömarkkinoille montaa eri kautta ja toimia niillä erilaisissa rooleissa. Rooleja ja niiden linkityksiä toisiinsa on kuvattu kuviossa 3.



Kuvio 3. Sähkötömarkkinoiden roolit, ja roolien linkitykset toisiinsa (mukaillen VTT Energia, 1999, s. 183)

Pohjoismaiset sähkömarkkinat jaetaan johdannaismarkkinoihin ja fyysisiin sähkömarkkinoihin. Fyysisen sähkön markkinat muodostuvat tukkusähkömarkkinoista ja vähittäismarkkinoista. Lisäksi markkinoiden ulkopuolella toimijat voivat tehdä erilaisia kahdenvälisiä sopimuksia. Tukkusähkömarkkinoille voivat osallistua perinteisten sähköntuottajien ja teollisten kuluttajien lisäksi sähköntuotantiyhtiöt eli vähittäismyyjät, joilla ei ole omaa tuotantoa tai kulu-tusta. Tukkusähkömarkkinat jaetaan eri markkinoihin riippuen kaupankäynnin ajankohdasta. Ne jakautuvat kolmeen osaan eli vuorokausimarkkinoihin, päivän sisäisiin markkinoihin ja joustomarkkinoihin. (Fingrid, 2023.) Kuviossa 4 nämä on jaoteltu eri väreihin (oranssi ja sininen). Näiden lisäksi Fingrid voi ostaa kapasiteettimarkkinoilta toimijoilta kapasiteettivarauksen markkina-aikajaksoittain seuraavan vuorokauden energiamarkkinoille (harmaalla kuviossa 4).



Kuvio 4. Fyysisten sähkömarkkinoiden jakautuminen eri tuotteisiin kaupankäyntihetken mukaan (mukaillen Fingrid, 2023)

Erilaisten perinteisten sähkömarkkinaroolien lisäksi (kuvio 3) sähkömarkkina-toimija voi valita tällä hetkellä Pohjoismaissa kahden eri sähköpörssin välillä; Nord Pool ja EPEX SPOT. Molempien kautta osallistutaan kuitenkin samalle Pohjoismaiselle sähkömarkkinalle ja hinnan muodostus tapahtuu yhteisen laskennan kautta (Nemo Committee, 2019, s. 5). Kuviossa 4 pörssien ylläpitämiä sähkömarkkinoita ovat Day Ahead (DA) ja Intraday (ID) markkina. DA markkinalla tarjotaan tuotanto seuraavalle vuorokaudelle, ja vastaavasti sinne myös tehdään ostotarjoukset. Tulokset markkinalta tulevat iltapäivällä, jonka jälkeen avautuu päivän sisäinen markkina (ID), joka jakautuu jatkuvaan kaupankäyntiin ja kolmeen huutokauppakierrokseen (kuvio 4). Näiden lisäksi kantaverkko-yhtiöt tasapainottavat Pohjoismaista ja Suomen sähkötasetta sekä pitävät yllä verkon tasapainoa joustomarkkinoiden kautta. (Fingrid, 2023; VTT Energia, 1999, s. 183–184.)

Kun kaikki ennen käyttöjaksoa avoinna olleet sähkön markkinapaikat ovat sulkeutuneet ja käyttöajankohta on mennyt, lasketaan sähkötaseet. Lopulliset myynnit ja ostot tuottajien, kuluttajien ja eri sähkömarkkinaosapuolten välillä tapahtuvat sähkötaseisiin kirjattujen joko etukäteen sovittujen määrien tai mitattujen lukemien kautta. Tätä kutsutaan taseselvitykseksi. Koska tase- ja kaupankäynninselvitys tehdään vasta jälkikäteen, pitää sähkömarkkintoimijoilla olla sopimus taseen yli- ja alijäämän hankinnasta markkina-alueen tasevas- taavan kanssa, tai olla osana sopimusketjua, jossa ensimmäisellä (tasevas- taavalla) on oltava sopimus Suomen tasesähköyksikön eli Fingridin kanssa. (Fingrid, 2023; Energiavirasto, n.d.; SML 588/2013, 3 luku 25 § mom. 26–27)

Sähkönsiirto tapahtuu erillään sähkömarkkinoista. Sähköä siirretään kantaver- kossa ja jakeluverkoissa. Yhdessä sähkön tuottajien ja kuluttajien kanssa nämä muodostavat Suomen sähköjärjestelmän. (VTT Energia, 1999, s. 73.) Sähkön siirtoverkot Suomessa ja rajasiirtoyhteydet eri maiden välillä mahdol- listavat yhteispohjoismaisten markkinoiden toiminnan. Tässä työssä keskity- tään sähkömarkkinoihin ja niillä toimimiseen, vaikkakin hyvin toimivat ja riittä- vät sähkönsiirtoyhteydet ovat oleellinen osa toimivaa sähköjärjestelmää.

3.2 Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

Sähkömarkkinoilla on menossa muutosvaihe, kun fossiilisten polttoaineiden käyttöä rajoitetaan ja polttamiseen perustuvaa sähköntuotantoa lopetetaan. Sen tilalle tulee yhä enemmän puhdasta päästötöntä energiaa aurinko- ja tuulisähkön tuotannon kasvun myötä. Sekä Euroopassa että Suomessa puhtaan tuotannon ja sähkön kulutuksen uskotaan kasvavan merkittävästi. Molempien toteutusaikatauluihin ja ennusteisiin liittyy paljon epävarmuuksia, ja varsinkin siihen kuinka nopeasti suunnitellut hankkeet toteutuvat. Näitä epävarmuuskijöitä ovat energiapolitiikka, lainsäädäntö, ympäristöluvat, rahoitus ja kustannukset. Lisäksi vedyn ja uusiutuvan sähköntuotannon puolella vaikuttaa vahvasti kustannuskehitys niiden tuotanto- ja varastointitekniikoissa. (Fingrid, 2024c, s. 3–4.)

Kaikella tällä on merkitystä etenkin Suomen kilpailukykyyn kilpailtaessa sähköintensiivisen teollisuuden kuten CO₂-vapaan vedyn tuotannon sijoittumisesta Euroopassa. Suomen sähkönkulutuksen kasvun ennuste perustuu edulliseen tuulivoimaan. Jotta tavoitteeseen päästäisiin, vaatii se myös investointeja Suomen kantaverkkoon. Fingrid pyrkii ohjaamaan kantaverkkoinvestointeja ja tuotannon ja kulutuksen sijoittumista Suomessa mahdollisilla uudistuksilla kantaverkkomaksujen rakenteeseen ja liityntämaksuihin. (Fingrid, 2024c, s. 3–4.)

3.2.1 Kapasiteettimekanismit ja joustavan kapasiteetin tarve tulevaisuudessa

Sähkömarkkinoilla niin Euroopassa kuin Suomessakin on uskottu vapaasti toimivien sähkömarkkinoiden hoitavan tuotannon ja kulutuksen tasapainon, ja kannustavan investointeihin uuteen tuotantoon (energy only -markkina), vaikka samaan aikaan useissa maissa on kuitenkin käytössä kapasiteettimarkkinat. Myös Suomessa on käytössä yksi kapasiteettimarkkinan muoto eli tehoreservi. Luottamus puhtaasti sähkömarkkinoiden toimintaan, ja sitä kautta lisääntyviin investointeihin on horjunut Euroopassa ja myös Suomessa. Nyt esille on nostettu tarve tuotantotuille, jotka lisäisivät investointeja sähköntuotantoon takaamaan sähkötehon riittävyyden kaikissa tilanteissa. Euroopan

unionissa suhtautuminen kansallisiin tukiin on ristiriitainen, koska toisaalta nähdään tarve ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi kapasiteettimekanismin kaltaisille investointituille mutta toisaalta halutaan pitää yhteiset eurooppalaiset markkinat ilman kansallisia ratkaisuja. Tämän takia lainsäädäntö näkee kapasiteettimekanismit viimeisenä keinona ratkaista niin kutsutun ”missing money” ongelman, eli ettei nykyisellä hintatasolla kannata investoida pysyvää kapasiteettia tuovaan tuotantoon. (Hancher & Hancher, 2022, s. 54–55, 66, 70.)

Euroopan komissio näkee yhä Suomessakin käytössä olevat strategiset reservit parhaana ratkaisuna kapasiteettimekanismiksi, ja asettaa reunaehdot sekä sille että muille vaihtoehdoille. Katsottaessa pitkälle tulevaisuuteen niin Euroopassa kuin Suomessakin voi tulla kausia, jolloin sähkön kysyntä on poikkeuksellisen korkeaa ja toisaalta taas sähkön tuotanto hyvin matalaa, johtuen hyvin haastavista sähkön tuotanto-olosuhteista ilmastonmuutoksen aiheuttamien jäätymisten ja kuivuuden takia. Tällöin vakaan sääriippumattoman tuotantokapasiteetin merkitys sähköjärjestelmän ylläpidon kannalta kasvaa merkittävästi. (Hancher & Hancher, 2022, s. 54–55, 66, 70.) Suomessa selvitys kapasiteettimekanismivaihtoehdoista on käynnissä samoin kuin Ruotsissa. Ruotsin kantaverkkoyhtiö näkee tarpeen laajalle kapasiteettimekanismille, mutta Suomen osalta työtä ei ole vielä aloitettu. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2023, s. 7.)

Kapasiteettimekanismien toteutukselle on useita vaihtoehtoja, jotka jaotellaan markkinalaajuisiin ja kohdennettuihin ratkaisuihin. Mekanismin käyttöönotto vaatii Komission hyväksynnän, ja sitä varten kapasiteettimekanismille pitää kansallisesti osoittaa resurssien riittävyys laskelman kautta. Lainsäädäntö vaatii, että mekanismin pitää olla teknologianeutraali ja sallia esimerkiksi kulutuksen ja akkujen osallistuminen. Kapasiteettimekanismin pitää sallia myös rajojen yli siirtoyhteyksien kautta osallistuminen. Hyväksyttävälle kapasiteetille on asetettu päästöraja, jolloin tällä hetkellä eniten päästöjä aiheuttavat tuotantomuodot hiili, öljy ja maakaasu eivät voi osallistua kapasiteettimarkkinalle. Tosin lainsäädäntöön asetettu raja sallii nykyaikaisten tehokkaiden maakaasuvoimalaitosten osallistumisen kapasiteettimarkkinalle. (Hancher & Hancher, 2022, s. 67–68; Työ- ja elinkeinoministeriö, 2023, s. 3.) Euroopan unionin

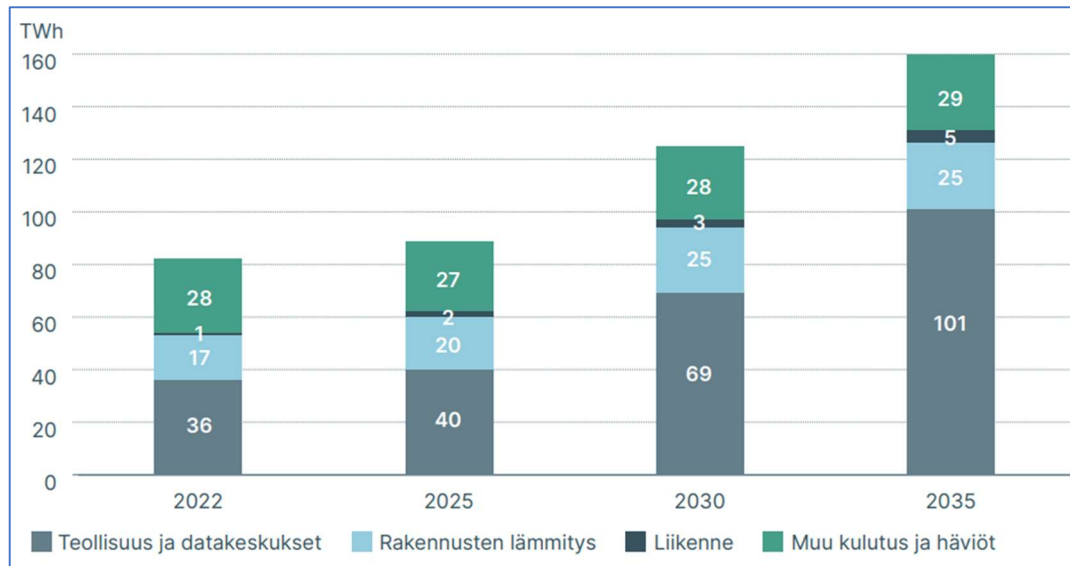
lainsäädäntöpaketissa on tuotu myös muita vaihtoehtoja joustavan kapasiteetin investointien tukemiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi kahdensuuntaiset hin- taerosopimukset (CfD), huipputasaustuote ja fossiilittoman joustavuuden tuki- järjestelmäselvitys sekä PPA (power purchase agreement) tukijärjestelmät. Fossiilittoman jouston tukimekanismista on parhaillaan menossa Suomessa kansallinen selvitys. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2023, s. 5; Työ- ja elinkeino- ministeriö, 2024, s. 5, 7.)

Fossiilittoman jouston tukimekanismin lisäksi sähkö- ja joustomarkkinoille voi- daan saada joustokapasiteettia myös sähkön kuluttajilta. Sitä voi tuoda esi- merkiksi sähköautojen määrän suuri ennustettu kasvu vuoteen 2030 men- nessä. Tämä luo tarpeen saada ne mukaan sähkön joustomarkkinoille. Jous- tavan sähkökulutuksen lisäys yhdistettynä mahdollisiin aggregointipalveluihin kuluttajille, esimerkiksi kysyntäjoustoa varten, lisäävät tarvetta mahdollisim- man selkeille signaaleilla uusituvan sähkön saatavuudesta järjestelmässä. Eri- laisten sähköntuottajien ja kulutusjoustoparjoajien markkinoille pääsyä halu- taan helpottaa digitalisaatiolla. Kun yhdistetään esimerkiksi hajautetut energia- varastot ja kotitalouksien joustot mahdollisimman joustaviin innovatiivisiin ja digitaalisiin ratkaisuihin, voidaan tarjota aggregoinnin avulla jousto- ja tasehal- lintapalveluja sähköverkkoon ja markkinoille. Tällainen hajautettu järjestelmä nähdään Euroopassa parempana ratkaisuna verrattuna suuriin kiinteisiin uu- siutuvan energian varastointijärjestelmiin. (Euroopan parlamentin ja neuvos- ton direktiivi 2023/2413/EU, kohta 11, 15, 50, 51, 57.)

3.2.2 Sähkön tuotannon ja kulutuksen kasvuennusteet ja investoinnit

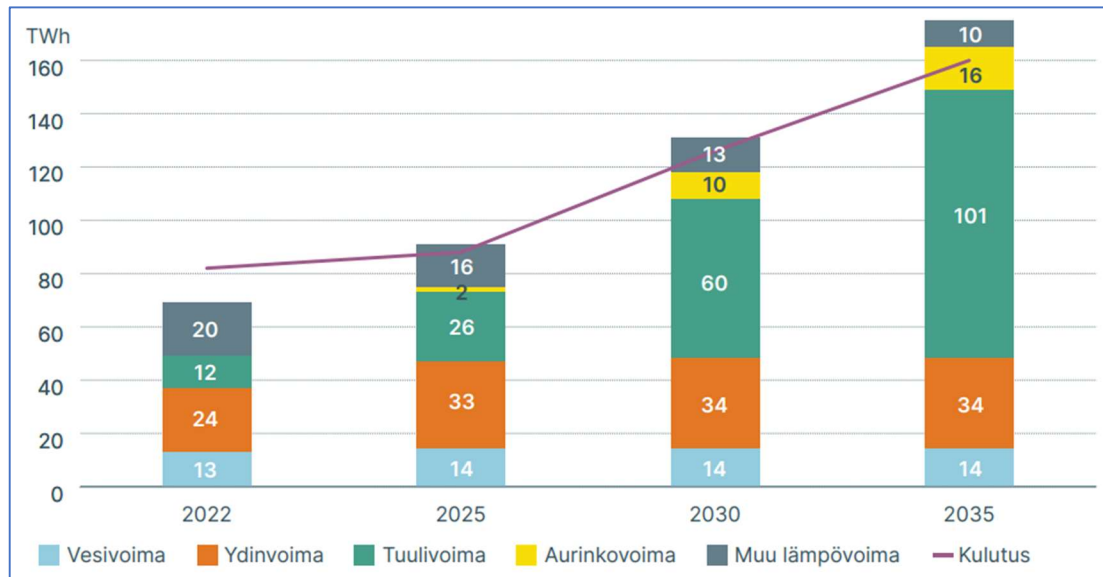
Fingrid (2024c, s. 5–7) ennustaa sähkön kulutuksen kasvavan merkittävästi vuoteen 2035 mennessä. Kulutuksen kasvun ennustetaan tulevan teollisuu- den prosessien sähköistämisestä, uusista datakeskusinvestoinneista Suo- meen, vedyn tuotannosta sekä teollisista investoinneista vedyllä tehtyjen jat- kojaloiteiden tuotantoon (kuvio 5). Jotta kasvu tapahtuu, täytyy Suomeen myös saada teollisia investointeja, jotka taas riippuvat puhtaan sähkön tuotan- toon tehtävistä investoinneista. Vedyn tuotantoon liittyvät hankkeet ovat

viivästyneet alkuperäisistä aikatauluista. Yhtenä tekijä viivästykselle nähdään eurooppalaisen vetyarvoketjun keskeneräisyys. Tällä hetkellä on vaikea arvioida kuinka ja millä aikataululla suunnitellut investoinnit toteutuvat, tai toteutuvatko ollenkaan.



Kuvio 5. Suomen sähkön kulutusennuste (Fingrid, 2024c, s.6)

Vastaavasti Fingrid (2024c, s. 8–9) ennustaa myös sähkön tuotannon määrän jopa yli kaksinkertaistuvan vuoteen 2035 mennessä (kuvio 6). Ennusteen mukaisen sähköntuotannon kasvun nähdään olevan mahdollista markkinaehtoisesti kuitenkin vain, jos myös kulutus Suomessa kasvaa vastaavasti. Eniten Suomessa ennustetaan kasvavan uusiutuvan sähkön tuotannon eli tuuli- ja aurinkovoiman. Myös ydinvoiman tuotantomäärien ennustetaan kasvavan vähän, mutta kasvu tulee ennusteen mukaan olemassa olevien ydinvoimaloiden tehonkorotuksista.



Kuvio 6. Suomen sähkön tuotantoennuste (Fingrid, 2024c, s.8)

Fingridin kuvioiden 5 ja 6 mukainen sähkön tuotannon ja kulutuksen kasvu riippuu hyvin vahvasti toisistaan, ja aiheuttaa markkinoille myös niin sanotun muna vai kana -ongelman. Markkinaehtoiset tuotantoinvestoinnit vaativat kulutusinvestointeja ja vastaavasti investoinnit esimerkiksi vedyn tuotantoon vaativat, että uutta puhdasta sähköä on saatavilla. Puhtaan sähkön investoinnit Suomessa kohdistuvat aurinko, maa- ja merituulivoimaan, joka on hyvin sääriippuvaista eli tuotanto vaihtelee hyvin paljon riippuen tuuli- ja aurinko-olosuhteista. Teollisen kulutuksen sähköntarve on ainakin aikaisemmin ollut tasaista. Jotta sähkön tuotanto ja kulutus kohtaisivat toisensa samalla ajanhetkellä, tarvitaan lisää kulutusjoustoa, säätävää sähköntuotantoa ja energiavarastoja. Energian varastointi voisi tapahtua esimerkiksi pumppuvoimalaitoksilla, lämpövarastoilla sekä vedyn ja synteettisten polttoaineiden varastoilla. Lisäksi myös sähkön tuotantolaitoksille tehtävät akkuinvestoinnit ja sähköisen liikenteen joustot voivat auttaa kulutuksen ja tuotannon tasapainotuksessa. (Fingrid, 2024c, s. 8–9.)

Vaikka sähkön tuotannon ennustetaan kasvavan kulutusta isommaksi jo lähivuosina, ei Suomesta ennakoida tuleva merkittävää sähkön viejää vaan lisääntynyt tuotanto kulutetaan maan sisällä. Lisäksi johtuen sähkön tuotannon sääriippuvuudesta tuonnin ja viennin määrä vaihtelee ajanjaksoittain. Sähkötehon osalta Suomi ei vuoteen 2035 mennessä tule olemaan omavarainen, eli

kylmänä tuulettomana ajanjaksona tänne tarvitaan tulevaisuudessakin tuontisähköä. Lisäksi Suomen teho-omavaraisuutta heikentää poistuva fossiilinen tuotanto, jota korvaamaan tarvittaisiin energiavarastoja ja uutta joustavaa sähköntuotantokapasiteettia. (Fingrid, 2024c, s. 11.)

Uuden tuotannon rakentaminen vaatii yleensä suuria investointeja ja investointiajat ovat pitkiä. Sähköntuottajan kustannukset voidaan jakaa kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kiinteitä kustannuksia ovat tuotannon määrästä riippumattomat kulut, ja vastaavasti muuttuvat kustannukset riippuvat tuotannon määrästä. Kun laitosta käytetään energiantuotannossa, syntyy muuttuvia kustannuksia. Perinteisessä fossiilisia polttoaineita käyttävässä tuotannossa suurin kuluerä on yleensä polttoainekustannus, johon vaikuttavat laitoksen hyötysuhde ja polttoaineen hinta. Uusituvan tuotannon osalta tilanne on toinen, esimerkiksi tuulivoimalla ja aurinkovoimalla ei polttoainekustannuksia ole lainkaan, ja muutkin muuttuvat kustannukset ovat hyvin pieniä. Näiden lisäksi sähköntuottajalle pääomakustannuksilla on iso merkitys. (VTT Energia, 1999, s. 171.) Sähköntuottajan osallistuessa eri markkinoille sen on huomioitava omien tuotantomuotojensa kustannusrakenne ja investointikulujen kattaminen myös pitkällä tähtäimellä.

Euroopassa haluttaisiin lisätä valtioiden antamien luottotakuiden käyttöä uusiutuvan sähköntuotanto- ja kulutusinvestointien helpottamiseksi. Niiden avulla uusiutuvan energian ostosopimuksissa toimijoiden luottoriski pienenesi ja näin toisi myös pienemmille toimijoille mahdollisuuden solmia pitkiä hankinta- ja myyntisopimuksia. Tällaisten valtioiden tai Euroopan keskuspankin myöntämien takuiden tulee kuitenkin olla julkisia ja ne eivät saa korvata yksityistä rahoitusta. Lainsäädäntö ja käytännöt tällaisia takuita varten eivät ole vielä valmiita, vaan komissio on vasta tunnistanut niiden tarpeen ja lisäanalyysiä tarvitaan esimerkiksi käyttöönoton esteiden tunnistamiseksi. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, 2023/2413, kohta 11, 15, 50, 51, 57.)

Euroopan unionin kasvihuonepäästöistä yli 75 prosenttia tulee energia-alalta, tämä asettaa uusituvan sähköntuotannon lisäämisen keskeiseen rooliin unionin 2050 vuoden päästötavoitteiden saavuttamiseksi (Euroopan parlamentin

ja neuvoston direktiivi 2023/2413/EU, kohta 1–2). Suomen kansallisissa tavoitteissa on myös lisätä CO₂-vapaan vedyn tuotantoa ja käyttöä, ja näin edistää Suomen hiilineutraalisuustavoitteita (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 33).

Sähkömarkkinat ovat muutoksen keskellä eurooppalaisten ja kansallisten lainsäädäntöhankkeiden ja poliittisen ohjauksen kautta. Tahtotila muokata markkinoita loppukäyttäjälle edullisemmaksi ja samalla hiilidioksidivapaaksi ohjaa vahvasti tämän päivän keskustelua ja näkyy myös lainsäädännössä esitetyistä vaihtoehdoissa muokata sähkömarkkinoita.

3.2.3 Digitalisaatio ja lohkoketju sähkömarkkinoilla

Lohkoketjulla yleisesti tarkoitetaan suojattua ja luotettavaa teknologia-alustaa, jossa suoritetaan tapahtumia useille eri osapuolille ja osapuolten välillä. Se tarkoittaa myös läpinäkyvämpää toimitusketjua, koska se tarjoaa salatun, jaetun tietokannan, joka tallettaa ja varmentaa kaikki digitaaliset asiat; tapahtumat ja tietueet ja yleensäkin kaikki tiedot, mitä toimitusketjun prosesseissa halutaan tallentaa. Lisäksi sitä voivat käyttää kaikki toimitusverkoston osapuolet. (van Hoek ym., 2020, luku 2, "Blocked and Loaded".) Myös Vyas ym. (2019, luku 1, "The Evolution of the Supply Chain") uskoo, että lohkoketjulla voidaan kattaa toimitusverkoston kaikki osat; hankinnasta maksuun saakka. Hänen mukaansa näin saadaan kaikkia nykyisiä järjestelmiä tehokkaampi ja turvallisempi ratkaisu. Gaur (2018, s. 85, 194–197) tuo toimitusverkoston osaksi muista kirjoista poiketen myös pankin, koska pankki suorittaa monia tehtäviä toimitusketjussa tuojan ja viejän puolesta. Myös verkoston käsite on laajempi pitäen sisällään älykkäät laitteet ja koneet, eli osallistujat. Osallistujia ovat kaikki, jotka tekevät aktiivisesti jotain. Laite tai kone kuten sähkömittari tai auto ei tänä päivänä välttämättä itse tallenna dataa tai aktivoi tapahtumia lohkoketjussa, mutta näin voi tulevaisuudessa olla.

Sähkömarkkinoilla voidaan nähdä lohkoketjun tuovan samoja hyötyjä kuin toimitusverkostossakin. Orlov (2017, s. 42–51) tuo esille 7 erilaista liiketoimintamallia sähkömarkkinoille:

1. Vähittäiskauppiaan, jolloin pankki ja laskutuksen hallinnointi poistuisi ketjusta ja rahat tulisivat nopeammin myyjälle.
2. Alkuperätakuut – lohkoketjun avulla pystytään todentamaan jokainen tuotettu kWh ja käymään kauppaa. Lisäksi mittarikohtaisesti voitaisiin laskea alueen vihreän sähkön indeksia, ja antaa vihreälle osuudelle rahakkeita eli tokeneita.
3. OTC-kaupankäyntialustat (over-the-counter trading platforms), olemassa oleva maakaasun ja sähkön kaupankäyntialusta, jossa tällä hetkellä osallisina suuria eurooppalaisia sähkömarkkinatoimijoita.
4. Joustomarkkina-alustat, jotka on tarkoitettu akkujen, joustavan kulutuksen ja pientuotannon käyttöön. Lohkoketjun avulla yhdistetään joustokohteiden tiedot, joita voidaan käyttää joustoja hankittaessa esimerkiksi verkkoyhtiön toimesta.
5. Joukkomyynti-/rahoituspalvelut, joilla esimerkiksi maanvuokraajat voivat saada tuloja aurinkovoiman tuoton perusteella.
6. Peer-to-Peer energiamarkkina-alustat, joilla pientuottajat ja kuluttajat voivat esimerkiksi käydä kauppaa keskenään.

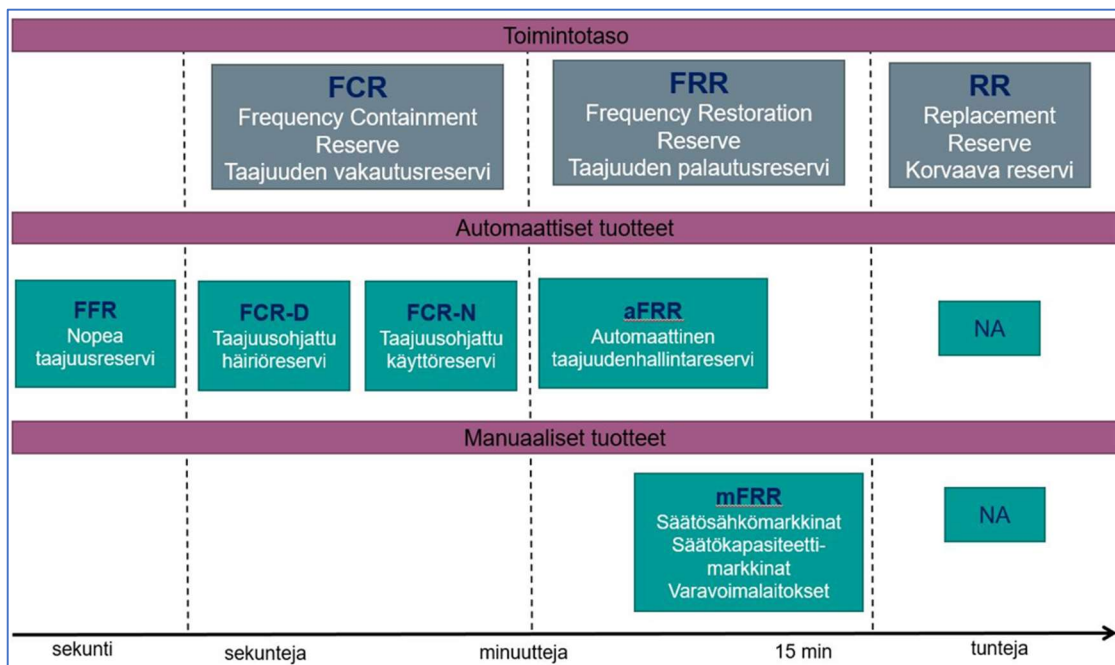
3.3 Joustomarkkinat

Sähkömarkkinat on luotu, jotta tuotanto ja kulutus olisivat joka hetki tasapainossa. Aina voi kuitenkin sattua jotain, ja yksittäisten kuluttajien sähkönkäyttöä on vaikea ennakoida. Sähköjärjestelmän tasapainoa ylläpidetään pohjoismaissa kantaverkkoyhtiöiden toimesta joustomarkkinoilla, jonne kantaverkkoyhtiöt ovat luoneet erilaisia ja eri ajankohtiin kohdistuvia tuotteita. Joustomarkkinat jakautuvat kapasiteetti- ja energiamarkkinoihin. (Energinet ym., n.d., s. 3.)

Uusiutuvan sähköntuotannon lisääntymisen myötä sähkön kulutuksen ja tuotannon joustojen merkitys kasvaa sähköverkon tasapainon ylläpitämiseksi. Sähköverkossa tuotannon ja kulutuksen on oltava joka hetki yhtä suurta, jotta verkon taajuus pysyy normaalissa 50 Hz. Jos verkon taajuus heittelee, aiheuttaa se verkon jännitetaso heittoja ja pahimmillaan koko sähköverkon

rikkoutumisen. Joustomarkkinoille voi osallistua kuka vaan, jolla on säätöön kykenevää kapasiteettia. Markkinoille voi osallistua myös akuilla ja muilla joustoon kykenevillä laitteistoilla. Myös pienemmät yksiköt ja kuluttajat voivat tulevaisuudessa osallistua markkinoille aggregaattoreiden kautta. (Pahkala ym., 2018, s. 13–15, 17.)

Kuviossa 7. on esitetty tällä hetkellä olemassa olevat tuotteet, ja niiden jakautuminen eri aikajaksoille Fingridin joustomarkkinoilla. Näiden lisäksi joustomarkkinoista puhuttaessa niihin yleensä sisällytetään myös DA-markkina (Day Ahead) ja ID-markkina (Intra Day), koska myös niillä voidaan tarjota tuotantoa ja kulutusta niin, että ne joustavat hinnan ja ajankohdan mukaan.



Kuvio 7. Suomen kantaverkkoyhtiön Fingridin joustomarkkinatuotteet (Fingrid, 2024a)

Joustomarkkinoille samoin kuin kaikille muillekin sähkömarkkinoille tarjoukset jätetään osto- tai myyntisuunnalle eli ylös- tai alassäädölle erikseen. Jos markkinoilta aktivoidaan esimerkiksi ylössäätöä, sähkötuottaja lisää tuotantonsa ja kuluttaja puolestaan laskee kulutustaan. Toimija saa maksun vain, jos sen tarjottu resurssi aktivoidaan. Kapasiteettimarkkinalle tarjotaan lupaus kapasiteetin käytettävissä olemisesta joko automaattiaktivoinnin tai sitten energiamarkkinatarjouksen kautta, ja maksun saa hyväksytystä kapasiteetista, vaikka

aktivointia ei koskaan tapahtuisi. Kapasiteettimarkkinoiden kautta kantaverkoyhtiö varmistaa jo etukäteen, että sillä on resursseja käytettävissä tarvittaessa. (Energinet ym., n.d., s. 5.)

Jotta vety- ja power-to-X-prosessit lähtisivät kulutusjoustoön mukaan pitää sen olla taloudellisesti kannattavaa, ja erityisesti kannattavampaa kuin tuotantoprosessin sadan prosentin käyttöasteen tavoittelu. Sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainottajina vedyn tuottajien rooli nähdään merkittävänä. Jotta tällaiset teolliset prosessit pystyvät hyödyntämään ja tarjoamaan joustoja täysimääräisesti, tulee tämä huomioida jo suunnittelu- ja investointivaiheessa koko tuotanto- ja toimitusketjun osalta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 181–182.) Joustomahdollisuuksien lisääminen tuotantoketjuun ja sen eri osiin on tämän jälkeen huomattavasti hankalampaa ja kalliimpaa.

4 CO₂-VAPAA VETY

4.1 CO₂-vapaan vedyn tuotanto

Vetyä voidaan valmistaa monin eri tavoin. Perinteisesti vedyn tuotantoon on käytetty maakaasua, jolloin vety erotetaan maakaasusta ja sivutuotteena syntyy CO₂-päästöjä. Maakaasun käytölle etsitään vaihtoehtoja, koska tulevaisuuden tavoitteena on vähentää ilmaston hiilidioksidipäästöjä. Vaihtoehtona maakaasun käytölle vedyn tuotannossa on vedyn valmistaminen elektrolyysin avulla sähköllä, tällöin vedyn tuotannon aiheuttamat päästöt riippuvat sähkön tuotantoon käytetystä energialähteestä. (Sivill ym., 2022, s. 14.)

Eri energialähteistä tuotetuista vedyistä käytetään värikoodeja; harmaa, sininen, vihreä ja violetti. Harmaa vety tuotetaan maakaasusta ilman hiilidioksidin talteenottoa (CCS). Sininen vety tuotetaan myös maakaasusta mutta hiilidioksidi otetaan talteen joko varastoivaksi tai käytettäväksi muualla. Vihreä vety puolestaan tuotetaan vedestä elektrolyysin avulla uusiutuvalla sähkötuotannolla. Violetti vety on tuotettu myös elektrolyysin avulla mutta ydinvoimalla tuotetun sähkön avulla. Lisäksi vedyn tuotannon yhteydessä käytetään termiä puhdas vety. Tällöin viitataan vetyyn, joka on tuotettu elektrolyysin avulla, mutta sähkö voi olla tuotettu joko uusiutuvilla tai ydinvoimalla EU-lainsäädännön mukaisesti. Jos vedyn tuotannosta osa tuotetaan puhtailla energialähteillä (uusiutuvat ja ydinvoima) mutta tavalla, jota ei lainsäädännössä hyväksytä, kyse on vähähiilisestä vedystä. Tällä hetkellä suurimmat kasvun odotukset ovat vihreän vedyn tuottamisessa elektrolyysin avulla. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022 s. 183–184, 187; Ajanovic ym., 2022, s. 4.)

Riippuen lähteestä ja kirjallisuudesta vedyn värit eri tuotantomuodoille vaihtelevat jonkin verran. Vedyn värejä ja luokitteluja ei käsitellä tässä työssä enempää, koska määritelmät vaihtelevat järjestöjen ja kirjallisuuden mukaan. Lisäksi niillä ei ole merkitystä sähköntuottajan kannalta, vaan niitä käytetään yleisesti vain luokittelussa helpottaakseen keskustelua eri energialähteillä tuotetusta

vedystä. Työn kannalta on oleellista, mitä hyväksytään uusiutuvaksi ja puhtaaksi vedyksi lainsäädännössä.

Yksi käyttökohde CO₂-vapaalle vedylle on puhtaat sähköpolttoaineen. Puhdaita sähköpolttoaineita voidaan tuottaa vedyn avulla, joka tuotetaan uusiutuvasta sähköstä yhdessä hiilidioksidin talteenoton kanssa. Tämä tuo ympäristöneutraalin vaihtoehdon maakaasun ja öljyn käyttöön. Sähköpolttoaineita voidaan jakaa olemassa olevien jakelukanavien kautta ja käyttää olemassa olevissa laitteissa. Varteenotettavina käyttökohteina sähköpolttoaineille nähdään ilmailu, meriliikenne ja raskasliikenne. Lisäksi päästöttömän sähkön avulla voidaan tuottaa päästötöntä vetyä, jonka avulla tuotetuilla polttoaineilla voidaan myös vähentää liikenteen päästöjä. (European Commission: Directorate-General for Climate Action, 2019, s. 10–11; Sivill ym., 2022, s. 20–22.)

Koska elektrolyysilaitteistot ovat kalliita, halutaan niitä käyttää korkealla käyttöasteella. Parhaiten tämä onnistuu, kun sähkö otetaan suoraan sähkönsiirtoverkosta, jolloin ei olla uusiutuvan tuotantolaitoksen ja akkukapasiteetin varassa. Suoraan uusiutuvan energian tuotantolaitokseen kytketyn vedyn tuotantolaitoksen ongelma onkin tuotannon sääriippuvuus ja tästä mahdollisesti johtuva vajaakäyttö. Vedyn tuotantolaitoksen käytön optimoimiseksi suora sähköverkkokytkeä olisi parempi. Tällöin vedyn tuottaja voi halutessaan ostaa alkuperätakuut millä tahansa tuotantomuodolla tuotetulle sähkölle, ja merkitä sen osan vedystä näin tuotetuksi. Näin asiakkaille voidaan tarjota esimerkiksi ydinvoimalla, tuulivoimalla ja aurinkovoimalla tuotettua vetyä sen mukaan, mitä hän haluaa. Tällä hetkellä kuitenkin lainsäädäntö ei vielä ole valmis kaikilta osin. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 187.)

4.2 Vedyn käyttömahdollisuudet nyt ja tulevaisuudessa

Vetyä on historiassa jo pitkään käytetty kemianteollisuuden prosesseissa raaka-aineena maakaasusta valmistamalla. Vedyn merkitys teollisuudessa keinona vähentää teollisuuden päästöjä tulee todennäköisesti kasvamaan tulevaisuudessa. CO₂-vapaata vetyä tuotetaan veden elektrolyysin avulla

käyttäen uusiutuvaa tai päästötöntä sähköä tai vaihtoehtoisesti maakaasusta hiilidioksidin talteenoton avulla. Vety edistää hiilidioksidivapauden (decarbonisation) toteutumista esimerkiksi toimimalla energiavarastona sähkömarkkinoille, lämmityksen, liikenteen sekä teollisuuden energianlähteenä sekä puhtaana raaka-aineena teräs-, kemian ja sähköpolttoaineiden sektoreilla. (European Commission: Directorate-General for Climate Action, 2019, s. 10.)

Vuonna 2022 Suomessa 99 prosenttia vedystä tuotettiin vielä fossiilisilla polttoaineilla. Tämän lisäksi pieni osuus tuotettiin myös elektrolyysin avulla. Jos kaikki Suomen vedyn tuotanto muutettaisiin tapahtuvaksi elektrolyysin avulla, sähkön kulutus kasvaisi yli 7 TWh vuodessa. Suurin osa tuotetusta vedystä menee öljyn ja biopolttoaineiden jalostukseen. Käyttömahdollisuuksia on kuitenkin Suomessa useita, ja potentiaalia sekä tuotannon että kulutuksen kasvuun on paljon, mutta investointien käynnistymiseen tarvitaan julkista tukea elektrolyysin korkeiden tuotantokustannusten takia. Tulevaisuudessa Suomen visioidaan olevan puhtaan vedyn ja sähköpolttoaineiden viejä globaaleille markkinoille. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 190, 192.)

Vedyn tuotanto teollisuuden vähähiilisuuden tavoitteiden saavuttamiseksi ei ole välttämättä kaikkein tehokkain keino, koska vedyn tuottaminen CO₂-vapaa- ja muunto esimerkiksi sähköksi tai lämmöksi tai sähköpolttoaineiksi vaatii paljon energiaa ja hyötysuhde on pieni. Vetyä tulisikin käyttää vain tilanteissa, joissa muuta päästötöntä energiaa tai sähköä ei voida käyttää. Energian varastoinnissa ja siirrossa vety on yksi vaihtoehto, mutta sen käsittely ei ole helppoa muun muassa herkän syttyvyyden takia ja sen vaatiman erittäin alhaisen nesteytyslämpötilan (-253 °C) vuoksi. Lisäksi vetykaasu vuotaa läpi normaaleista teräsputkista. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 183–184, 187; Ajanovic ym., 2022, s. 4.)

5 EUROOPAN UNIONIN JA SUOMEN ILMASTOSTRATEGIAT

Euroopan unionin tavoitteena on olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. Tuolloin EU talouden kasvihuonepäästöjen tavoitteena on nettonollapäästöt, eli päästölaskennan tuloksen pitää päätyä kasvihuonekaasujen osalta nollaan tai negatiiviseen. Tämä tavoite tuotu mukaan kaikkia maita sitovana tavoitteena eurooppalaiseen ilmastolakiin. Ilmastotavoite koostuu seitsemästä eri strategisesta osiosta, joista neljä vaikuttaa suoraan tai välillisesti sähkön tuottajaan. Näitä ovat; energiatehokkuuden maksimointi, uusiutuvien energialähteiden käytön maksimoiminen, hiilidioksidipäästöjen vähentäminen Euroopan energiatoimituksissa sähköistämisen ja uusiutuvien energialähteiden käytön avulla, luoda hiilinielut olennaisilta osin sekä minimoida jäljelle jäävät CO₂-päästöt hiilentalteenoton ja varastoinnin avulla (CCS). Ilmastotavoitteeseen päästäkseen EU visiossa on tunnistettu eri reittejä. Esimerkiksi kasvihuonepäästöjä tulisi vähentää 80–100 prosentilla vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 lähtötasoon. Euroopan unioni ajaa niin sanotun ”ei kaduta” politiikan käyttöönottoa, jossa on vahvasti mukana energiatehokkuus ja uusiutuva energia, mutta myös sähköistäminen, vedyn ja sähköpolttoaineiden käyttö, sekä kiertotalous. Laaja-alaisen uusiutuvien energianlähteiden käytön nähdään hajauttavan ja lisäävän sähkön tuotantoa. Vision mukaan vuonna 2050 yli 80 prosenttia tuotetusta sähköstä on tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä, mikä on noin puolet ennustetusta energiankulutuksesta Euroopan unionissa. Jotta kasvavaan sähkön kysyntään pystytään vastaamaan, ja jotta vuoden 2050 nettonollatavoitteeseen päästään, sähkön tuotannon pitäisi kasvaa jopa 2,5-kertaiseksi vuoden 2019 tasosta. Tämän oletetaan tuovan valtavat taloudelliset hyödyt varsinkin sähköistämiselle. Hyöty perustuu samaan aikaan sähköistymisen kanssa lisääntyvään edulliseen uusiutuvaan sähkön tuotantoon. Uusiutuvan sähköntuotannon lisääntyminen tarjoaa myös muille sektoreille (lämmitys, kuljetus ja teollisuus) mahdollisuuden vapautua hiilestä sähkön, CO₂-vapaan vedyn tai sähköpolttoaineiden avulla. (European Commission: Directorate-General for Climate Action, 2019, s. 6–7, 9–10.)

Vuonna 2019 noin 2 prosenttia Euroopan unionin bruttokansantuotteesta oli investoitu energiajärjestelmiin. Jotta vuoden 2050 nettonollatavoitteen päästään investointien pitäisi lisääntyä 2,8 prosenttiyksiköllä vuodessa. Tämä tarkoittaa 175–290 miljardin lisäinvestointeja Euroopan unionissa vuosittain verrattuna vuoden 2019 tasoon. Euroopan komission mukaan siirtymä kohti hajautettua sähköjärjestelmää vaatii älykkään ja joustavan järjestelmän, joka perustuu asiakkaiden mukanaoloon, osien yhteen liitettävyyteen, ison kokoluokan energiavarastoihin, kulutusjoustoon ja tämän kaiken hallintaan digitalisaation avulla. (European Commission: Directorate-General for Climate Action, 2019, s. 10, 12.)

Digitalisaatio ja automaatio ovat hyviä tapoja lyhyellä aikavälillä lisätä Euroopan unionin kilpailukykyä energiasektorilla, mutta pidemmän päälle sähköistäminen yhdistettynä lisääntyvään vedyin, biomassan ja uusiutuvien synteettisten kaasujen käyttöön voi merkittävästi vähentää päästöjä eri teollisuuden aloilla. Joillakin teollisuuden aloilla on vaikea välttää päästöjä, mutta niitä voidaan silti vähentää tehokkaalla hiilidioksidin talteenotolla. Talteen otettu CO₂ voidaan varastoida ja käyttää muualla esimerkiksi yhdessä uusiutuvan vedyn ja kestäväin biomassan kanssa. Ympäristöystävällisten tuotteiden kysyntä riippuu kuitenkin täysin kuluttajien valinnoista. Jotta kuluttajat voisivat valita tuotteita, joilla on pieni hiilidioksidijalanjälki, pitäisi tämä tieto saada läpinäkyvämmäksi kuluttajille kuin se on tänä päivänä. (European Commission: Directorate-General for Climate Action, 2019, s. 12.)

Suomen vuonna 2022 julkaistu kansallinen ilmasto- ja energiastrategia pitää sisällään myös kansallisen vetystrategian. Strategia pitää sisällään määrälliset tavoitteet vedyn elektrolyysikapasiteetille. Näin pyritään edistämään vetytalous ja sähköisten polttoaineiden tuotantoa Suomessa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 4.)

Suhtautuminen vetyyn ja sen eri tuotantomuotoihin vaihtelee vahvasti maittain. Hollanti haluaisi edistää sinisen vedyn käyttöä toisin kuin Saksa, Italia ja Espanja. Ranska puolestaan kannattaa ydinvoiman käyttöä elektrolyysissä. Norja kaavailee jopa viittä meriliikenteen vetykeskittymää, ja haluaa

vetyteknologian ja vedyn johtavaksi vientimaaksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 185–186.) Jos suunnitelmat toteutuvat, Norja voi olla tulevaisuudessa alkuperätakuiden netto-ostaja.

6 ALKUPERÄTAKUU

6.1 Mikä on alkuperätakuu?

Suomen lainsäädännössä määritellään vaatimukset sekä sähkön että vedyn alkuperän todentamiselle. Jos sähkönmyyjä ilmoittaa tai myy sähkönsä ilmoittaen sen alkuperän, täytyy sähkölle hakea alkuperätakuut lainsäädännön mukaisesti. Samalla tavoin on myös vedyn kohdalla, jos myyjä tai vetyä tuotannossaan käyttävä yhtiö ilmoittaa vedyn olevan tuotettu uusiutuvalla sähköllä. (Laki energian alkuperätakuista 1050/2021, 2 luku 7–8 §.)

Euroopan unionissa alkuperätakuilla tarkoitetaan sähköistä asiakirjaa, jolla pystytään todentamaan sähkön tuotannon tapahtuneen siinä määritellyllä energianlähteellä esimerkiksi ydinvoimalla. Myös vedylle myönnetään alkuperätakuuta, jos sen tuotantoon käytetty energia on tuotettu lain hyväksymällä tavalla. Alkuperätakuut tarvitaan aina, jos sähkön käyttäjä, myyjä tai tuottaja ilmoittaa sähkön olevan tuotettu tietyllä energianlähteellä tai jos vedyn käyttäjä esimerkiksi kertoo markkinoinnissaan käyttävänsä uusiutuvaa vetyä. (Laki energian alkuperätakuista 1050/2021, 1 luku 2–3 §; 2 luku 7–8 §.)

Sähköisesti vahvistetuilla alkuperätakuilla voidaan käydä kauppaa koko Euroopan laajuisesti. Hinta määräytyy sen mukaisesti, paljonko markkinalla on kullakin hetkellä kysyntää ja tarjontaa halutuista alkuperätakuista. Sähkön alkuperätakuut myönnetään tuotantomuodoittain. (Lumme Energia, n.d.)

6.2 Alkuperätakuut lainsäädännössä

Vastaavasti kuin sähkömarkkinoitakin, alkuperätakuuta säätelee oma lainsäädäntönsä, jota ohjataan EU:n direktiiveillä ja asetuksilla. Tässä opinnäytetyössä analysoidaan vedyn ja vedyn tuottamiseen käytetyn sähkön alkuperään vaikuttava lainsäädäntö. Tällaista lainsäädäntöä on esimerkiksi uusiutuvan energian direktiivi ja siihen tulossa olevat muutosehdotukset (European Commission, n.d.). Olemassa olevalla lainsäädännöllä ja mahdollisilla muutoksilla

on oleellinen vaikutus siihen, millä tuotantotavoilla ja missä tuotettu sähkö kelpaa CO₂-vapaan vedyn tuotantoon.

Lainsäädännössä asetetaan velvoite sähkömyyjälle ilmoittaa loppukäyttäjälle sähkön alkuperä. Alkuperä ilmoitetaan tuotantomuodoittain, jos tuotannolle on myönnetty ja käytetty alkuperätakuuta, muuten myydyn sähkön alkuperänä käytetään Energiaviraston vuosittain ilmoittamaa jäännösjakaumaa eikä alkuperätakuuta tarvita. Jos kuitenkin alkuperätakuut on haettu, myyjän on ilmoitettava ne tuotantomuodoittain: uusiutuvat energialähteet, ydinvoima, fossiiliset polttoaineet. Tämän jaottelun tulee sisältää kaikki myydyn sähkön hankintalähteet Fingridin toimittamaa tasesähköä lukuun ottamatta. (Laki energian alkuperätakuista 1050/2021, 4 luku.)

Lain energian alkuperätakuista 1050/2021 (1 luku 2 §) mukaan alkuperätakuulla tarkoitetaan sähkön ja vedyn alkuperätakuiden kohdalla sähköistä asiakirjaa, jolla osoitetaan asiakirjan mukaisen energiamäärän tuottaminen uusiutuvilla energialähteillä, ydinvoimalla tai tehokkaalla yhteistuotannolla. Lainsäädännössä on määritelty erikseen uusiutuvat energialähteet ja uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö. Uusiutuvat energianlähteet kattavat tuuli- ja aurinkoenergian, geotermisen energian, ympäristön energian, vuorovesi-, aalto- ja muun valtamerienergian sekä vesivoiman. Uusiutuvilla energianlähteillä tuotetuksi sähköksi hyväksytään vain sähkö, joka tuotetaan uusiutuvia energialähteitä pelkästään käyttävässä sähköntuotantolaitoksessa. Tai jos laitoksessa käytetään useita energianlähteitä, silloin hyväksytään vain se osuus energiantuotannosta, joka voidaan osoittaa olevan tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2023/2413/EU (kohta 48) mukaisesti Euroopan unionissa halutaan lisätä loppukäyttäjien tietoisuutta käyttämänsä energian tuotantomuodoista sekä lisätä uusiutuvan energian ostosopimusten käyttöä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi alkuperätakuiden käytön, siirron ja kaupankäynnin standardointi on keskeisessä asemassa. Jotta energijärjestelmästä saadaan mahdollisimman joustava, tarvitaan uusia digitaalisia innovaatioita sekä uusiutuvan energiantuotannon kasvun tueksi mutta

myös dokumentoimiseksi. Sen mukaan alkuperätakuiden myöntäminen ja käsittely pitäisi sallia osina ja tarkemmille ajanjaksoille nykyisen vuoden sijasta.

6.3 Alkuperätakuiden myöntö, kauppa ja käyttö

Sekä sähkölle, että vedylle on omat alkuperätakuurekisterin ylläpitäjät, jotka voivat myöntää alkuperätakuita. Alkuperätakuiden myönnössä on näytävä käytetty tuotantomuoto sekä aika ja paikka. Myönnettävien takuiden yksikkö on megawattituntia (MWh). Myönnetty alkuperäkuu on voimassa 12 kuukautta sen energian tuotantopäivästä, jolle takuu on haettu, eikä samalle energialle voida myöntää useita eri takuita. Sähkön ja vedyn alkuperätakuita voidaan myöntää, jos ne on tuotettu alkuperätakuulain mukaisesti ja tuottaja on ilmoittanut tarvittavat tiedot rekisterin ylläpitäjälle. (Laki energian alkuperätakuista 1050/2021, 1 luku 3–5 §, 2 luku 11–13 §.)

Alkuperätakuilla voidaan käydä myös kauppaa välittäjien kautta sekä markkinapaikoilla. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2018/2001/EU (2 art., kohta 18) määrittelee myös uusiutuvan energian vertaiskaupan eli kahdenvälisen kaupan. Kahdenvälisessä kaupassa toimijat voivat tehdä keskenään sopimuksia, joissa määritellään ehdot uusiutuvan energian toimituksille alkuperineen markkinatoimijoiden välillä. Toimitukset voivat tapahtua myös esimerkiksi aggregaattorin kautta.

Alkuperätakuiden käyttö toimii vedyn kohdalla samalla tavoin kuin sähköllä. Jos vedyn myyjä myy vedyn uusiutuvana, on sille haettava alkuperätakuut. Myös vedyn loppukäyttäjän, esimerkiksi teollisen valmistajan, joka käyttää vetyä lopputuotteen valmistuksessa ja ilmoittaa käyttävänsä uusiutuvaa vetyä liiketoiminnassaan tai markkinoinnissaan, on varmennettava vedyn alkuperä hankkimalla alkuperätakuut käyttämälleen vedylle joko alkuperätakuumarkkinoilta tai haettava itsetuotetulle vedylle alkuperätakuut. Teollinen tuottaja ei tarvitse alkuperätakuita uusiutuvalle vedylle, jos se pystyy osoittamaan, että vety on tuotettu lainsäädännön mukaisesti saman kiinteistöryhmän sisällä kuin teollinen tuotantokin, tai otettu kaasuputkesta, joka on ei ole osa lain

määrittelemää maakaasuverkkoa, eikä kummassakaan tapauksessa uusiutuvalla vedylle ole haettu alkuperätakuuta. (Laki energian alkuperätakuista 1050/2021, 2 luku 9 §.)

Kun alkuperätakuu on käytetty, niin siitä on ilmoitettava alkuperätakuurekisterin ylläpitäjälle, ja näin käytettyjä alkuperätakuuta ei voi enää uudelleen käyttää esimerkiksi toisen asiakkaan hyväksi. Lisäksi käyttämättömät alkuperätakuut pitää mitätöidä 12 kuukauden kuluessa myöntämisen perusteena olevan energian tuotantopäivästä. (Laki energian alkuperätakuista 1050/2021, 2 luku 11–13 §.)

6.4 Alkuperätakuut uusiutuvien polttoaineiden tuotannossa

Uusiutuvilla energianlähteillä tuotettua vetyä voidaan käyttää monilla eri teollisuuden aloilla lopputuotteen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Yksi tulevaisuuden käyttökohde on kaasu- ja nestemäisten polttoaineiden tuotanto. Tältä osin vetyteollisuus, arvoketjut ja markkinat ovat vasta kehittymässä. Uusiutuvat polttoaineet jaetaan biopohjaisiin ja muuta kuin biologista alkuperää oleviin polttoaineisiin (Renewable Fuel of Non-Biological Origin, RFNBO). Tämä jako myös määrittää, mitä sähköntuotantoa hyväksytään uusiutuvaksi sähköksi RFNBO:n tuotantoon. Koska muuta kuin biopohjaista alkuperää olevien polttoaineiden tuottamiseen tarvitaan uusiutuvaa vetyä, tarkoittaa se myös isoa sähkönkulutusta. (Fingrid, 2024c.) Tässä työssä keskitytään RFNBO-polttoaineiden tuotannon asettamiin vaatimuksiin sen tuotantoon hyväksyttävän vedyn ja sitä kautta sähköntuotannolle ja hankinnalle. Tämä koska muilta osin kaikki sillä on iso merkitys myös sähkömarkkinoihin ja uusiutuvan vedyn tuotannon tarpeeseen elektrolyysin avulla.

Jotta muu kuin biologista alkuperää oleva polttoaine eli RFNBO hyväksytään uusiutuvaksi polttoaineeksi, täytyy Komission delegoidun asetuksen 2023/1184/EU (kohdat 1,4, 5–9, 11, 16 ja 3–4 art.) mukaisten ehtojen täytyä tuotantoon käytetyn sähkön osalta:

1. Käytetään uusiutuvista lähteistä tuotettua sähköä suoralla yhteydellä vedyn tuotantoon. Lisäksi sähköntuotantolaitoksen pitää olla uusi, eli otettu käyttöön korkeintaan 36 kuukautta ennen polttoaineen tuotantolaitosta. Jos vedyn tuotantolaitosta laajennetaan, aiemmin hyväksytty sähköntuotanto hyväksytään myös, ja 36 kuukauden uusiutuvan energian tuotantolaitoksen käyttöönottoehdon täyttymisessä katsotaan alkuperäisen laitoksen käynnistysajankohtaa.
 - a. Ja sähkön tuotantolaitos on suoraan yhteydessä polttoaineen tuotantolaitokseen esimerkiksi elektrolysaattoriin vedyn tuotannossa. Laitokset voivat olla yhdistetty toisiinsa erillisillä linjoilla tai sijaita samoissa tiloissa, tällöin ei tarvitse erikseen osoittaa alkuperätakuilla vedyn olevan tuotettu uusiutuvalla sähköllä. Jos sähköntuotantolaitos tuottaa myös muuta kuin uusiutuvilla energianlähteillä tuotettua sähköä, ei vetykään ole uusiutuvaa.
 - b. Tai, jos sähkön tai vedyn tuotantolaitokselta on verkkoliityntä, suoran liittynän lisäksi, on todistettava, että vedyn tuotannossa käytetty sähkö tulee suoran liittynän kautta. Tai älykkäällä mitausjärjestelmällä pystyä erittelemään, että verkosta otettu sähkö menee muuhun tuotantoon tai käyttöön.
2. Tai, jos sähkön tarjousalueella uusiutuvalla sähköntuotannolla on hallitseva osuus sähköntuotannosta, katsotaan verkosta otettu sähkö uusiutuvaksi. Hallitsevan osuuden pitää olla yli 90 prosenttia tarjousalueen sähkön tuotannosta. Tällöin liikenteen polttoaineen tuotannon käyttötuntimäärä pitää rajoittaa uusiutuvan sähkön osuuteen tarjousalueella. Tämän ylittävää polttoaineen tuotantoa ei hyväksytä uusiutuvana. Alkuperätakuut uusiutuvuuden todentamiseksi voidaan ostaa suoraan markkinalta ilman ajallista korrelaatiota.
3. Tai, jos päästöintensiiteetti tarjousalueella on alle 18 gCO₂eg/MJ, verkosta otettu sähkö on myös uusiutuvaa, mutta silloinkin uusiutuvuus on näytettävä toteen sähkön ja alkuperätakuiden hankintasopimuksilla, eli PPA-sopimuksilla. Sähköntuotannon, alkuperätakuiden ja vedyn tuotannon täytyy vastata myös ajallisia ja maantieteellisiä vaatimuksia.
4. Lisäksi verkosta otettu sähkö voidaan tietyissä tapauksissa katsoa kokonaan uusiutuvaksi, jos sillä todistetusti vähennetään tarvetta puuttua

uusiutuvan tuotannon ajojärjestykseen. Tällöin riittää alkuperätakuiden hankinta markkinoilta, eikä ajallista korrelaatiota tarvita.

- a. Sähkö voidaan hankkia myös ehdot täyttäviltä tuotantolaitoksilta sähkönhankintasopimuksilla (PPA, Power Purchase Agreement), jos sähköntuotantokapasiteetti ei saa taloudellista tukea. Vaikka sähköntuotantolaitoksen hankintasopimus päättyy, voidaan sähköntuotantoa pitää silti uusiutuvana, jos laitoksella on uusi ehdot täyttävä hankintasopimus.

Komission delegoitu asetus 2023/1184/EU (4–7 art.) sallii myös verkosta otetun sähkön käytön uusiutuvana (oletustilanne), jos seuraavat ehdot täyttyvät:

1. uusiutuvan polttoaineen tuotantolaitoksen toiminta on aloitettu aikaisintaan 36 kuukautta ennen polttoainelaitoksen käynnistymistä. Tämä ehto täyttyy myös, jos laitos on aikaisemmin hyväksytty tämän kriteerin mukaisesti ja nyt tekee uuden sopimuksen uuden tuotantolaitoksen kanssa.
2. Laitoksen tulee sijaita samalla maantieteellisellä hinta-alueella kuin uusiutuva tuotanto tai olla kytkettynä merivoiman tarjousalueeseen, jossa uusiutuva tuotanto sijaitsee tai uusiutuva sähköntuotanto sijaitsee yhteen liitetyllä tarjousalueella, jossa vuorokausimarkkinoiden sähkönhinnat ovat samat tai korkeammat kuin laitoksen tarjousalueella.
3. Verkosta otetun uusiutuvan sähköntuotannon pitää ajallisesti korreloida uusiutuvan polttoaineen tuotannon kanssa.
4. Lisäksi vaaditaan PPA-sopimukset. Euroopan Commission (2023, s. 6) mukaan oletustilanteessa yhdessä täydennettävyyden kanssa vaatimus PPA-sopimusten kautta hankitun sähköntuotannon tuettomuudesta tarkoittaa, että vedyn tuotantoon käytettävä sähkö voi olla peräisin uusiutuvista energialähteistä, kuten tuuli- tai aurinkovoimasta, mutta tuotantolaitoksen on oltava itsenäisesti kannattava ilman valtion tukia. Poikkeuksena tähän on suoraan vedyn tuotantolaitokseen kytketty sähköntuotantolaitos.

Ajallisessa eli väliaikaisessa korrelaatioissa vaatimuksessa vedyn tuottajan on osoitettava, että vedyn tuotanto tapahtuu saman kuukauden aikana edellä

luetellut kriteeri täyttävän sähköntuotannon kanssa. Vuodesta 2030 eteenpäin tuotannon on tapahduttava saman tunnin aikana. Jos elektrolyysilaitetta varten on sähkövarastoja, pitää pystyä osoittamaan myös tämän sähkön alkuperä. Tämän lisäksi sähkö voidaan ottaa verkosta ja käyttää sellaisena aikana, jolloin fossiilisilla polttoaineilla tapahtuva sähköntuotanto on kannattamatonta, eli markkinahinta on alle alueelle asetetun hintarajan kyseisellä ajanjaksolla. Alueellisesta korrelaatiosta voidaan poiketa silloin kun sähkö on viereisellä hinta-alueella halvempaa kuin alueella missä vedyn tuotantolaitos sijaitsee. (Komission delegoidun asetuksen 2023/1184/EU, kohdat 1,4, 5–9, 11, 16, 3–4 art.)

Tuotannon ajallisen korrelaation vaatimukset tiukkenevat määräajoin. Tällä hetkellä riittää, kun hankintasopimuksen mukainen uusiutuva sähkö tuotetaan saman kalenterikuukauden aikana kuin polttoainekin. Uusiutuva sähkö voi olla myös peräisin joko tuotantolaitoksen tai elektrolysaattorin kanssa samassa tilassa sijaitsevasta uudesta varastosta (36 kuukauden määräaika) ja varaston lataus tapahtuu saman kuukauden aikana kuin uusiutuvan sähkön tuotanto. Vaatimus tiukentuu vuoden 2030 vuoden alusta lähtien, jolloin ajanjakso lyhenee yhteen tuntiin. Suomi voi halutessaan ottaa tiukennetun säädöksen käyttöön jo 1.7. 2027 alkaen, ilmoittamalla käyttöönotosta komissiolle. Lisäksi aikaehdon katsotaan täytyvän kaikkina niinä ajanjaksoina, jolloin sähkön vuorokausimarkkinoiden tarjousalueen hinta on maksimissaan 20 euroa megawattitunnilta tai alhaisempi kuin lainsäädännössä määrätty yhden hiilidioksiditonin päästöoikeuden hinta kertaa 0,36. (Komission delegoitu asetus, 2023/1184/EU, 4–7 art.)

Tällä lähestymistavalla ja näillä vaatimuksilla halutaan varmistaa, että vedyn tuotanto on ympäristöystävällistä ja kestävä, samalla kun se edistää markkinaehtoista uusiutuvan energian tuotantoa. PPA-sopimuksen pitää olla suoraan tiettyyn tuotantolaitokseen mutta vedyn tuottaja voi käyttää myös välikäsiä esimerkiksi sopijaosapuolena omasta puolestaan (European Commission, 2023, s. 9).

Taulukkoon 1 on koottu vaatimukset sähkön ja alkuperätakuiden hankinnalle vedyn tuotantoon elektrolyysin avulla silloin, kun tuotettu vety halutaan

luokitella uusiutuvalla sähköntuotannolla tuotetuksi ja näin ollen kelpaavan RFNBO-polttoaineen tuotantoon. Jos vaatimukset eivät täyty, voidaan CO₂-vapaalla vedyllä tuottaa päästöttömiä polttoaineita, ja näin vähentää esimerkiksi merikuljetusten laskennallisia kokonaispäästöjä.

Taulukko 1. Sähköpolttoaineiden tuotantoon hyväksyttävän uusiutuvan vedyn tuotantoon käytettävän sähkön alkuperä (Komission delegoidun asetus, 2023/1184/EU, kohdat 1,4, 5–9, 11, 16, 3–7 art.).

		PPA (power purchase agreement)	Täydentävyys (additionality)	Väliaikainen korrelaatio	Maantieteellinen korrelaatio
Tuotantolaitoksen sähkön otto vedyn tuotantoon	Muut vaatimukset	Uusiutuvan sähkön ostosopimus, jolla sähkö hankitaan yhdeltä tai useammalta tuotantolaitokselta	Uusiutuvan sähkön tuotantolaitos on käyttöönotettu max 36 kk ennen elektrolyserin käyttöönottoa	Vedyn tuotanto tapahtuu saman ajanjakson sisällä kuin uusiutuvan sähkön tuotanto < 2030 - kuukausi > 2030 - tunti	Vedyn tuotanto tapahtuu samalla hinta-alueella uusiutuvan sähkön tuotannon kanssa
Suora kytkentä uusiutuvan sähköntuotantolaitokselta vedyn tuotantoon			Kyllä		
Sähkön otto vedyn tuotantoon jakelu- tai kantaverkosta	Uusiutuvan sähkön osuus hinta-alueella (RES) > 90 % Vähentää tarvetta voimalaitosten käyttöaikataulujen muutoksille kantaverkkoyhtiön toimesta (redispatching)				
	Sähköntuotanto hinta-alueella alittaa 18gCO ₂ eg/MJ päästörajan	Kyllä		Kyllä	Kyllä
	Oletustilanne (default situation)	Kyllä	Kyllä (paitsi jos eloktolysaattori on otettu käyttöön ennen vuotta 2028, silloin vasta 2038 eteenpäin	Kyllä	Kyllä

Suomen tarjousalueella päästöintensiteetti on vuonna 2024 Fingridin reaaliaikaisen päästöarvion mukaan alle 18 gCO₂eg/MJ, ja sen odotetaan laskevan tulevaisuudessa. Tällöin Suomessa RFNBO:n valmistukseen tarvittavan vedyn tuotantoon voidaan ottaa sähkö suoraan sähköverkosta, ja se luetaan uusiutuvaksi sähköksi lainsäädännön mukaan. (Fingrid, 2024c.) Jos Suomessa pysytään päästörajan alapuolella, voidaan täällä soveltaa taulukkoon 1 punaisella ympyröityjä vaatimuksia.

Päästöintensiteetin lisäksi verkosta otettu sähkö on sellaisenaan uusiutuvaa, jos uusiutuvan tuotannon osuus on 90 prosenttia hinta-alueen verkon tuotannosta. Näin ei kuitenkaan Suomessa ole runsaan ydinvoimatuotannon takia, joten päästörajan alituksen lisäksi tarvitaan hankintasopimus ja alkuperätakuut, joilla varmistetaan, että uusiutuvan sähkön määrä vastaa kulutusta kuukausitasolla vuoden 2029 loppuun saakka. Vuodesta 2030 eteenpäin hankinnan ja alkuperätakuiden täytyy vastata kulutusta tuntitasolla. (Fingrid, 2024c.)

7 LIIKETOIMINTAMALLI

Liiketoimintamallikäsitteelle löytyy monenlaisia määritelmiä ja termiä on käytetty myös hyvin erilaisissa tarkoituksissa. Häntin (2021, s. 75) mukaan perinteisesti liiketoimintamallilla kuvataan yrityksen tuloksenteikomallia; mitä, kelle ja miten. Tällöin liiketoimintamallissa keskitytään yrityksen tuloksen- ja voitontekoratkaisuihin. Toisaalta liiketoimintamallia voidaan kuvata myös arvon luonnin kautta, eli miten arvoa tuotetaan ja millä mekanismeilla, jolloin liiketoimintamalleilla kuvataan tapoja ja keinoja, joilla vastataan asiakkaan tarpeeseen tai ongelmaan.

Liiketoimintamallien kehittämisen pitäisi lähteä niin sanotusti tyhjästä. Olemassa olevien ja vanhojen mallien kopioiminen ei tuo välttämättä lisäarvoa. Eri vaihtoehtoja yhdistelemällä ja vertailemalla saavutetaan yleensä parhaat tulokset. (Ojasalo ym., 2015, s. 184.) Business Model Innovation (2017, s. 6–11) mukaan liiketoimintamallien suorituskyky jaetaan viiteen staattiseen ja dynaamiseen tekijään.

Staattiset tekijät:

1. Asiakkaan sitoutumisen uudelleen miettiminen. Siinä keskitytään siihen, kuinka liiketoimintamalli liittyy asiakkaisiin ja ottaa asiakkaat huomioon arvontuontiprosessissa. Vaihtoehtoja ovat kustannusten siirto asiakkaalle, asiakkaan sitoutumisasteen nostaminen ja käyttäjälähtöisten innovaatioiden kehittäminen.
2. Ulkoisten riippuvuuksien uudelleen määrittely. Määrittelyssä keskitytään ydinosaan ja strategiseen kumppanuuteen, ja pyritään luomaan elementtejä, joilla asiakas ja kumppanit saadaan uskollisiksi.
3. Optimoimalla sisäisiä prosesseja. Nostamalla aika- ja kustannustehokkuutta ja lyhentämällä markkinoille saamiseen kuluva aika.

Dynaamiset tekijät:

1. Strategisen tietoisuuden kasvattaminen. Kehittämällä mahdollisuuksien tunnistamista ja vaikuttamalla epävarmoihin ympäristöihin.

Ennakoimalla toimintaympäristössä tapahtuvia muutoksia yritykset voivat jopa uudelleen määritellä liiketoiminnan mallit.

2. Uudelleenmäärittämissuorituskyvyn kehittäminen. Organisaation oppimisen helpottaminen ja liiketoimintamalliportfolioiden kehitys. Pelkästään strategisten muutosten tunnistaminen ei riitä vaan yritysten pitää pystyä ajan kuluessa sopeuttamaan liiketoimintamallinsa. (Business Model Innovation, 2017, s. 6–11.)

Osterwalder ym. (2010, s. 15) mukaan liiketoimintamalli kuvaa kuinka organisaatio luo, toimittaa ja saavuttaa arvoa. Kun liiketoimintamallia lähdetään innovoimaan, jokaisen mukanaolijan pitäisi ymmärtää, mikä liiketoimintamalli oikeasti on. Kun kaikilla työssä mukana olleilla on ymmärtävät liiketoimintamallin käsitteen samalla tavalla, tulee siitä yhteinen käsittekieli kaikille osallistujille, minkä avulla voidaan helposti yhdessä kehittää ja muokata liiketoimintamalleja. Liiketoimintamalli on tavallaan yrityksen strategian toteutussuunnitelma, joka toteutetaan organisaation rakenteiden, prosessien ja järjestelmien kautta.

Tähän työhön on valittu Osterwalder ym. (2010 s. 15–20, 22–23, 27, 29–41) mukainen liiketoimintamallin määrittely, jossa liiketoimintamalli perustuu yhdeksään osa-alueeseen, jotka kattavat liiketoiminnan pääalueet, eli asiakkaat, tarjonnan, infrastruktuurin ja taloudellisen elinkelpoisuuden. Nämä yhdeksän osa-aluetta ovat:

1. Asiakassegmentti. Segmenttejä voi olla yksi tai useampia, ja yrityksen pitää päättää, mitä segmenttejä se haluaa palvella. Näin liiketoimintamalli voidaan suunnitella juuri näitä segmenttejä palvelevaksi, ja yrityksellä voi olla syvä ymmärrys asiakkaistaan valituilla segmenteillä.
2. Arvolupaus. Sillä pyritään täyttämään asiakkaan tarpeet ja ratkaisemaan asiakkaan ongelma. Usein arvolupaus on myös se, joka saa asiakkaan valitsemaan juuri tietyn yrityksen. Arvolupaus voi olla innovatiivinen ja tuoda uutta tai erilaista tarjontaa, tai sitten vastata nykyistä tarjontaa mutta tuoda siihen esimerkiksi uusia toiminnallisuuksia. Lisäarvo voi olla määrällistä esimerkiksi hinta tai palvelunopeus tai laadullinen esimerkiksi suunnittelu tai asiakaskokemus.

3. Kanava. Arvolupauksia toimitetaan asiakkaalle kommunikaation, jakelu- ja myyntikanavien kautta. Ne voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin kanaviin sekä yrityksen itse omistamiin ja kumppanien kanaviin. Liiketoimintamallissa on tärkeintä löytää vastaus kysymykseen; mitä kanavia pitkin arvolupaus voidaan parhaiten toimittaa asiakkaalle.
4. Asiakassuhde. Asiakassuhteita luodaan ja ylläpidetään jokaisen asiakassegmentin kanssa, ja yrityksen on tärkeää päättää, kuinka se haluaa kommunikoida ja ylläpitää suhdetta eri segmenteillä. Vaihtoehtoja on monenlaisia aina henkilökohtaisesta asiakassuhteesta täysin automatisoituun asti.
5. Tulovirrat. Tulovirrat muodostuvat asiakkaille onnistuneesti tarjotuista arvolupauksista. Liiketoimintamalli voi muodostua kahdenlaisista tulovirroista; liiketoimiin perustuvat tulovirrat yksittäisistä asiakasmaksuista sekä toistuvaismaksuista. Toistuvaismaksut voivat olla jatkuvia asiakasmaksuja toimitettavasta asiakaslupauksesta tai toimituksen jälkeisiä ylläpitomaksuja, kuten lisenssit ja käyttöoikeusmaksut.
6. Avainresurssit. Avainresursseja on kaikki se fyysinen ja henkinen omaisuus, jota tarvitaan edellä listattujen elementtien toimittamiseen. Avainresurssit voivat olla fyysisiä (esimerkiksi tehdas), taloudellisia, immateriaalisia (esimerkiksi patentit ja osaaminen) tai ihmisiä. Yritys voi vuokrata tai omistaa resursseja, tai hankkia niitä kumppaneiden kautta.
7. Avaintoiminnot. Avaintoimintoihin kuuluvat kaikki ne toiminnot, joita yrityksen tulee suorittaa, jotta liiketoimintamalli toimii. Ne voidaan jakaa kolmeen eri osaan; tuotanto, jolloin toiminnot liittyvät suunnitteluun, valmistukseen ja logistiikkaan, ongelman ratkaisu, jolloin toimintoja voivat olla osaamisen hallinta ja jatkuva oppiminen (esimerkiksi konsulttitoimistot ja sairaalat), sekä alusta/verkosto, jolloin toiminto voi olla esimerkiksi alustanhallinta.
8. Avainkumppanuus. Se kuvaa sen toimittaja- ja kumppaniverkoston, joka tarvitaan liiketoimintamallin toimimiseksi. Osa näistä toiminnoista voidaan ulkoistaa ja osa hankkia yrityksen ulkopuolelta. Kumppanuuksia voidaan solmia kolmesta eri syystä: resurssien optimoimiseksi ja mittakaavaetujen saavuttamiseksi, riskien ja epävarmuuksien vähentämiseksi sekä erityisten resurssien ja toimintojen hankkimiseksi.

9. Kulurakenne. Liiketoimintamallin eri elementit muodostavat sen kustannusrakenteen. Liiketoimintamallin kustannusrakenne voidaan luokitella kustannuslähtöiseen ja arvolähtöiseen malliin. Kustannuslähtöisessä mallissa pyritään minimoimaan kustannukset kaikkialla, missä mahdollista. Arvolähtöisessä mallissa puolestaan keskitytään lisäarvon luontiin kustannusten sijasta.

8 TUTKIMUKSEN LÄHESTYMISTAPA JA TUTKIMUSMENETELMÄT

8.1 Työn lähestymistapa ja tietoperusta

Tutkimuksellinen lähestymistapa tarkoittaa sitä näkökulmaa, josta tutkittavaa asiaa lähestytään, ei menetelmää tai tekniikkaa. Työssä käytettävien lähestymistapojen valintaa määrittää opinnäytetyön kohteena oleva kehittämistehtävä tai tutkimus. Työhön voidaan valita yksi tai useampi lähestymistapa sen mukaisesti, mitä tavoitteita työlle on asetettu. (Ojasalo ym., 2015, s. 25, 36.)

Ojasalo ym. (2015, s. 36–37, 53) esittelee kirjassaan viisi eri lähestymistapaa: tapaustutkimus, toimintatutkimus, konstrukttiivinen tutkimus, palvelumuotoilu ja innovaatioiden tuottaminen. Tapaustutkimusta käytetään, kun tarkoituksena on esimerkiksi luoda työn lopputuloksena kehittämis ehdotuksia, ja tuottaa tutkittua tietoa kohteesta. Siinä vastataan usein kysymyksiin miten ja miksi. Jos tavoitteena ovat konkreettiset tuotokset kuten opas, prosessi tai vastaava, soveltuu siihen paremmin konstrukttiivinen tutkimus. Lähestymistavat eivät kuitenkaan ole toisiaan poissulkevia vaan osittain päällekkäisiä ja sen takia tutkimuksessa voi olla piirteitä monesta eri lähestymistavasta. Lisäksi eri lähestymistavoissa voidaan käyttää samoja menetelmiä.

Ojasalo ym. (2015, s. 39, 94) esittelee myös yhtenä lähestymistapana ennakkoinnin, jonka avulla tuotetaan ja analysoidaan tietoa tulevaisuudesta sekä yritetään varautua ja hahmottaa vaihtoehtoiset tulevaisuudet. Lähestymistapana ennakkointi on hyvin lähellä tulevaisuudentutkimusta. Tulevaisuudentutkimuksessa ja ennakkoinnissa molemmissa käytetään samoja tai hyvin lähellä toisiaan olevia menetelmiä, esimerkiksi tiekartta ja PESTE-analyysi. Toisaalta tulevaisuudentutkimus on oma tieteenalansa. (Aalto ym., 2022, s. 348, 369.) Lähestymistapana tulevaisuudentutkimus voidaan määritellä useilla erilaisilla tavoilla. Yhteistä näille kaikille määritelmille on kuitenkin tulevaisuuden kriittinen ja ennakoiva tarkastelu, tiedon kerääminen ja mahdollisuus vaikuttaa tulevaan. Tulevaisuudentutkimuksen avulla voidaan tunnistaa erilaisia vaihtoehtoja tulevaisuudelle. Sen lähtökohtana on, ettei ole järkevää tutkia vain yhtä

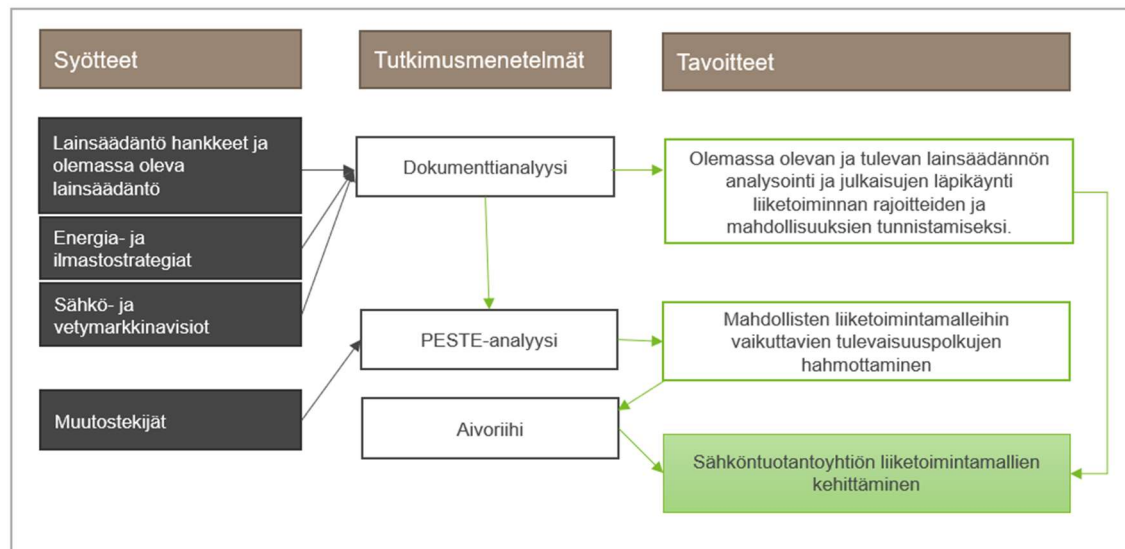
vaihtoehtoista tulevaisuutta ja uskoa sen toteutumiseen. Tulevaisuudentutkimus ei myöskään kykene tarjoamaan ennusteita, mutta sitä voidaan käyttää apuna yrityksen päätöksenteossa. Tulevaisuudentutkimuksessa vastauksia haetaan kysymyksiin millaiset kehityskulut ovat mahdollisia ja millaiset mahdollottomia. (Aalto ym., 2022, s. 11–12, 26, 316.)

Tässä työssä sovelletaan tulevaisuudentutkimusta ja sen metodeja yhdessä tapaustutkimuksen kanssa, koska suurin osa lainsäädännöstä ja markkinoiden muutoksista on vasta tullut voimaan tai luonnosvaiheessa. Lisäksi monet vaihtoehdot ovat vasta analysointivaiheessa kirjoitettuina erilaisiksi visioiksi ja strategioiksi. Tämän vuoksi työ ei perustu pelkästään olemassa olevaan tietoon perehtymiseen ja sen pohjalta tapahtuvaan kehittämiseen vaan myös Euroopan unionin ja Suomen lainsäädännössä oleviin hankkeisiin ja niiden mahdollisiin vaikutuksiin tulevaisuudessa.

Kun työn lähestymistapa on valittu, voidaan seuraavaksi näiden pohjalta valita käytettävät tutkimusmenetelmät. Tutkimusmenetelmät jaetaan kvantitatiivisiin eli määrällisiin ja kvalitatiivisiin eli laadullisiin menetelmiin. Näiden lisäksi tutkimuksessa voidaan käyttää yhteisöllisiä menetelmiä. Eri menetelmien avulla on tarkoitus kerätä tietoa ja erilaisia näkökulmia tutkimuksen tueksi. (Ojasalo ym., 2015, s. 40.) Tämä työ toteutettiin tapaus- ja tulevaisuudentutkimuksena kvalitatiivisia menetelmiä käyttäen.

8.2 Käytettävät tutkimusmenetelmät

Tässä työssä käytettäviä tutkimusmenetelmiä ovat dokumenttianalyysi, PESTE-analyysi sekä skenaariotyökaluista Business Model Canvas -työkalu yhdessä aivoriihen kanssa. Business Model Canvas on strategiajohtamisen työkalu liiketoimintamallien suunnittelun avuksi (Strategyzer, 2020). Kuviossa 8 on kuvattu valitut menetelmät, niiden syötteet ja tavoitteet eri menetelmille sekä työn lopullinen tavoite.



Kuvio 8. Opinnäytetyön tutkimusmenetelmät ja tavoite

Dokumenttianalyysi

Dokumenttianalyysia käytetään, kun halutaan luoda järjestelmällinen kuvaus tutkittavasta kohteesta. Sen tavoitteena on selkeyttää kerätty aineisto tutkimusta varten. Dokumenttianalyysin kohteena voi olla melkein mikä tahansa materiaali esimerkiksi lehtiartikkelit, kuvat, puheet ja piirroukset. Dokumenttianalyysi jakautuu sisällön analyysiin ja sisällön erittelyyn, joista analyysi on sanallista analyysia ja erittely puolestaan numeerista. (Ojasalo ym., 2015, s. 136–137.) Tässä työssä käytetään sisällön analyysia. Dokumenttien sisällön analyysin tarkoitus oli löytää ja määritellä aineistosta yhteiset tekijät, jotka voivat ohjata lainsäädännön sekä sähkö- ja alkuperätakuumarkkinoiden kehitystä eri suuntiin. Dokumenttianalyysia käytetään myös tulevaisuuden tutkimuksessa tunnistamaan megatrendejä ja heikkoja signaaleja. Megatrendit kuvaavat suuria muutoksia, ja heikkojen signaalien avulla pyritään havaitsemaan pitkän aikavälin tulevaisuuden merkkejä nykyisyydessä. (Aalto ym., 2022, s. 111.)

PESTE-analyysi

Sähkömarkkinoihin ja vedyn tuotannon toimintaympäristöön ja arvoketjun muodostumiseen tulvaisuudessa vaikuttavan monet osittain vielä

tuntemattomat tekijä. Näiden tekijöiden, megatrendien ja hiljaisten signaalien analysointiin tarvitaan toimintaympäristön analyysiä. Toimintaympäristön analyysityökaluista tähän työhön valittiin PESTE-analyysi. PESTE-analyysillä karotetaan ja luodaan lista ympärillä olevista muutostekijöistä järjestelmällisellä tavalla. (Laakso, 2016, s. 5; Aalto ym., 2022, s. 106–107.) Johdonmukainen ja systemaattinen muutostekijöiden analysointi oli työn kannalta oleellista, jotta tulevaisuuden markkinoihin ja liiketoimintamalleihin vaikuttavat tekijät tulivat analysoiduiksi ja huomioiduiksi.

PESTE-analyysi on tulevaisuuden tutkimuksen työkalu, jonka avulla luodaan jäsennelty kuva siitä, mitä ympärillä tapahtuu. Se on yksi toimintaympäristöanalyysi työkaluista. Sen avulla pystytään luomaan kuva tutkittavan asian ympärillä tapahtuvista asioista, mihin suuntaan ne ovat menossa, niiden riippuvuuksista sekä ilmiöistä, jotka ovat vasta tulolla. Näin varmistetaan, että kaikki vaikuttavat asiat tulevat huomioiduiksi ja saadaan muodostettua kokonaiskuva. (Aalto ym., 2022, s. 105.) Tässä työssä tarkasteltava toimintaympäristö on sähkömarkkinat Pohjoismaissa ja siihen vaikuttavat toimintaympäristön muutokset, joita ei tule pelkästään Suomen linjauksista vaan hyvin vahvasti EU:n tavoitteista ja kulloisestakin tahtotilasta muokata yhtenäisiä sähkömarkkinoita Eurooppaan.

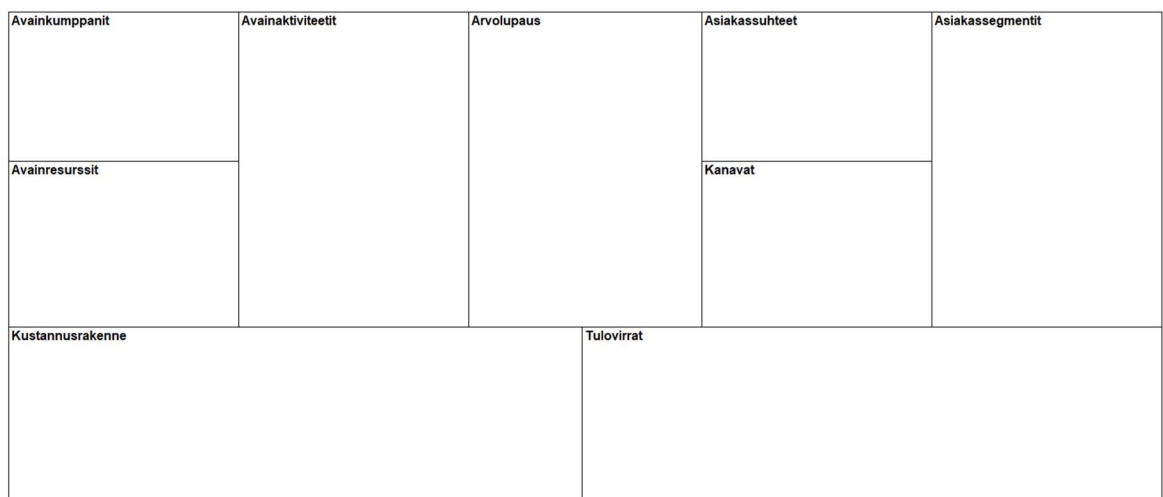
Viisi PESTE-analyysin osatekijää tarkastelevat eri aihealueita, jotka on jaoteltu Aalto ym. (2022 s. 107) mukaan erimerkiksi seuraaviin tämän työn kannalta merkittäviin tekijöihin:

5. poliittiset tekijät: lainsäädäntö, puolueiden ohjelmat ja poliittisten toimijoiden kiinnostuksen kohteet
6. taloudelliset tekijät: talouden kehityssuunta ja vakaus, kilpailukyky, ostovoima, toimialan kehitys ja alueellinen kehitys ja investoinnit
7. sosiaaliset tekijät: asenteet ja kuluttajakäyttäytyminen
8. teknologiset tekijät: teknologian kehitys sekä uudet teknologiat ja niiden käyttöönotto ja saatavuus
9. Ympäristötekijät: Ilmasto, luonnon monimuotoisuus, rakennettu ympäristö ja resurssien käyttö.

Aivoriihi ja Business Model Canvas -työkalu

Aivoriieheä käytetään tässä työssä mahdollisten liiketoimintamallien luomiseksi PESTE-analyysin ja skenaariotyökalulla luotujen tulevaisuuden kuvien ja kehityspolkujen pohjalta. Aivoriihi menetelmänä kuuluu yhteisöllisten ideointimenetelmien joukkoon. Menetelmän tarkoituksena on tuoda joukko asiantuntijoita yhteen uuden luomiseksi. Tämä tapahtuu keräämällä heiltä ideoita ja uusia ajatuksia valitusta aiheesta. Osallistujat voivat olla eri sidosryhmistä yrityksen ulkoa tai sisältä. (Ojasalo ym., 2015, s. 6.) Tässä työssä aivoriihi toteutetaan käyttäen apuna Business Model Canvas -työkalua alan asiantuntijoiden kanssa UPM Energialta ja Fingridiltä.

Business Model Canvas on strateginen työkalu, jossa yhdeksästä liiketoimintamallin osa-alueesta on muodostettu malli, joka auttaa yrityksiä suunnittelemaan ja visualisoimaan liiketoimintamallinsa yhdellä sivulla. Työkalua voidaan myös käyttää eri liiketoimintamallivaihtoehtojen luomiseen. Työkalu muistuttaa taidemaalarin tyhjää taulua, joka on jaettu yhdeksään osaan. Kuviossa 9 oleviin osa-alueisiin listataan mahdolliset eri vaihtoehdot tai sitten sen liiketoimintamallin vaihtoehdot, joita työkalulla halutaan käsitellä. (Osterwalder ym., 2010, s. 42.)



Kuvio 9, Business Model Canvas -pohja aivoriiehen työkaluksi (mukaillen Osterwalder ym., 2010, s. 44)

Osterwalder ym. (2010, s. 16–41) mukaan kuvion 9 eri osa-alueilla pyritään vastaamaan esimerkiksi seuraaviin kysymyksiin:

1. Asiakassegmentit: Kenelle yritys tuottaa arvoa?
2. Arvolupaus: Mitä arvoa yritys tarjoaa asiakkailleen?
3. Kanavat: Miten yritys tavoittaa asiakkaansa?
4. Asiakassuhteet: Millaisia suhteita yritys ylläpitää asiakkaidensa kanssa?
5. Tulovirrat: Miten yritys ansaitsee rahaa?
6. Avainresurssit: Mitä resursseja liiketoimintamalli vaatii?
7. Avainaktiviteetit: Mitä keskeisiä toimintoja liiketoimintamalli edellyttää?
8. Avainkumppanit: Ketkä ovat yrityksen tärkeimmät kumppanit?
9. Kustannusrakenne: Mitkä ovat liiketoimintamallin kustannukset?

Strategisen työkalun lisäksi Business Model Canvas on visuaalinen työkalu, joka helpottaa liiketoimintamallin kommunikointia tiimille ja sidosryhmille, koska se auttaa näkemään kokonaiskuvan ja tekemään tietoon perustuvia päätöksiä. Työkalua voidaan käyttää myös analysoimaan olemassa olevien liiketoimintamallien vahvuuksia ja heikkouksia. (Osterwalder ym., 2010, s. 15.)

9 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN JA TULOKSET

9.1 Dokumenttianalyysin ja PESTE-analyysin suorittaminen ja tulokset

Opinnäytetyössä dokumenttianalyysin avulla kerättiin tietoa eri julkaisuista liittyen sähkömarkkinoiden ja alkuperätakuiden kehitykseen tulevaisuudessa CO₂-vapaaan vedyn ja sähköntuottajan näkökulmasta. Sisältöanalyysissä käytiin läpi aiheeseen liittyviä Euroopan unionin ja Suomen lainsäädäntöhankkeita, komission, ministeriön ja muiden vastaavien tahojen visioita ja julkaisuja. Lisäksi analysoitiin erilaisten asiantuntijaorganisaatioiden, sähkömarkkinatoimijoiden ja muiden vastaavien julkaisemia artikkeleita. Näiden dokumenttien analysointi oli tärkeää, jotta ymmärretään reunaehdot liiketoiminnalle sekä osataan varautua liiketoimintamalleihin vaikuttaviin muutoksiin

Dokumenttianalyysia käytettiin työn teoriapohjan lisäksi tuomaan toimintaympäristöanalyysiin näkemyksiä sähkö- ja vetymarkkinoihin kohdistuvista odo- tuksista. Sen avulla pyrittiin löytämään megatrendit ja hiljaiset signaalit jo tiedossa olevien muutosten lisäksi. Nämä tekijät kirjattiin mukaan PESTE-analyysiin. PESTE-analyysissä tunnistetut tekijät ja niiden todennäköiset vaikutukset, siltä osin kuin vaikutukset ja niiden todennäköisyydet pystyttiin tunnistamaan, listattiin osa-alueittain. Osassa tekijöistä vaikutuksien oli vielä vaikea arvioida tai mahdollisuuksia oli niin monia, että vain tekijät jätettiin listalle.

Poliittiset tekijät (esimerkiksi puolueiden ja poliitikkojen ohjelmat, kiinnostuksen kohteet ja lainsäädäntö):

- Suomen ilmastostrategian hiilidioksidipäästöjen nettonollatavoite 2035, jossa halutaan edistää uusiutuvan energian ja puhtaan vedyn tuotantoa. Tämä lisää todennäköisesti investointien määrää molempiin merkittävästi Suomessa.
- Euroopan unionin tavoite olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä, johtaa tuki- ja lainsäädäntömekanismeihin toteutettuun suureen määrään uutta puhtaan vedyn tuotantoa.
- Lainsäädäntö ja standardit vedyn tuotannolle ovat vielä kesken.

- Ydinvoiman hyväksyttävyyys sähköpolttoaineiden tuotannossa vasta keskustelussa Euroopassa.
- Saksan ydinvoimavastaisuus, ei välttämättä poliittista hyväksyntää sillä tuotetulle puhtaalle vedylle.
- Poliittisen intervention riski suuri johtuen sähkömarkkinoiden suuresta hintavolatiliteetista. Keskusteluissa eritoten Euroopassa ovat esimerkiksi hintaleikkurit tai hintakatot sähkönhinnalle.
- Mahdollinen kapasiteettimekanismi sähkömarkkinoille Suomeen ja Ruotsiin sähkön riittävyyden ja päästöttömän sähkön tuotannon varmistamiseksi kylminä ja tuulettomina ajanjaksoina.
- Fossiilittoman jouston tukimekanismi Suomeen tasoittamaan hinnanvaihteluita ja tuomaan lisää päästötöntä joustoa sääriippuvan tuotannon lisääntymisen myötä. Työ- ja elinkeinoministeriön johtaman työryhmän selvitystyö käynnissä.
- Kulutusjouston tulo sähkömarkkinoille laajassa mittakaavassa lainsäädännön tukemana.
- Euroopan unionissa halutaan lisätä kuluttajien tietoisuutta ja valinnanvaraa lainsäädännön kautta, tekemällä esimerkiksi alkuperätakuut pakolliseksi kaikelle käytetylle sähkölle.
- Energy Only -markkina häviää ja muuttuu enemmän keskusohjatuksi kapasiteettimarkkinaksi.
- Tavoite yhteiseurooppalaisesta sähkömarkkinasta muuttuu kansalliseksi tai alueelliseksi nodaalimarkkinoiksi.
- Venäjän sodan jatkuminen Ukrainassa ja maailman epävakaa tilanne jatkuu.
- Trumpin valinta USA:n presidentiksi vaikuttaa Euroopan talouteen ja Suomen talouteen kielteisesti
- Päästökauppa laajennetaan lainsäädännöllä koskemaan meri- ja lentoliikennettä, mikä nostaa päästöoikeuksien hintaa. Tämä taas voi lisätä alkuperätakuiden sekä vähempipäästöisten polttoaineiden kysyntää.

Taloudelliset tekijät (esimerkiksi talouden vakaus, kehityssuunta, toimialan investoinnit ja toimialan kehitys):

- Aggregaattoreiden ja akkujen lisääntyminen joustojen tarjoajana sähkömarkkinoille aiheuttaa kannibalisaatiota joustomarkkinoiden hinnoissa.
- Mahdollisen kapasiteettimarkkinamallin vaikutus sähköhintoihin vielä epäselvä. Riippuen valitusta mallista, vaikutus hintoihin ja sähkömarkkinoihin voi olla pieni tai todella merkittävä.
- Lisääntyvä sähköntuotantokapasiteetti laskee sähkön keskihintoja ja sähköntuotannon kannattavuutta.
- Ruotsin suunnitelmalla lisätä suuret määrät ydinvoiman tuotantoa alueellaan voi olla vaikutusta sähköhintoihin pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla.
- Sääriippuvaisen tuotannon (aurinko- ja tuulivoima) lisääntyminen lisää hintavolatiliteettia ja äärihintoja.
- Yhteistuotantolaitosten kannattavuus jatkossa epävarmaa, mikä voi johtaa laitosten alasajoon ja joustavan tuotantokapasiteetin laskuun sähköntuotannossa.

Sosiaaliset tekijät (esimerkiksi kuluttajien asenteet ja käyttäytyminen):

- Kuluttajien ja sijoittajien ympäristötietoisuus ja huoli ilmastonmuutoksesta. Painostus yritysten ympäristövastuullisuuteen, ja sitä kautta puhtaasti sähkön käyttöön teollisessa tuotannossa.
- Hintavolatiliteetti ja äärihinnat kasvavat, jolloin paine kuluttajilta päättäjiä kohtaan muuttaa sähkömarkkinoita kasvaa.
- Kuluttajat näkevät ympäristömerkit sähköntuotannon ja alkuperätakuun esimerkiksi kuluttamalleen sähkölle tai lopputuotteen tuotannossa kilpailuetuna.

Teknologiset tekijät (esimerkiksi teknologian kehitys, käyttöönotto ja saataavuus):

- Sääriippuvaisen tuotannon (aurinko- ja tuulivoima) lisääntyminen ja sitä kautta hintavolatiliteetin ja äärihintojen lisääntyminen.
- Elektrolysaattoriteknologian kehitys ja hintatason lasku.

- Vetyvarastojen kehitys tulevaisuudessa. Jos varastointi helpottuu tai yleistyy, voi elektrolysaattori ja sähköntuotanto joustaa markkinoilla ilman sen vaikutusta lopputuotteen tuotantoon.
 - Vedyn siirtolinjojen rakennus Suomessa, ja Suomesta Keski-Eurooppaan. Suomessa rakennustyöt on jo aloitettu, mutta Keski-Euroopan linjan rakennuksessa on mahdollisesti suuria riskejä.
 - Akkuteknologian kehitys ja akkuvarastojen yleistyminen.
 - Merituulivoiman lisääntyminen tulevaisuudessa.
 - Kuluttajien pienten kulutuskohteiden ja aurinkopaneeleiden tulo joustomarkkinoille esimerkiksi aggregaattoreiden kautta.
 - Teollisuuden laajamittainen sähköistäminen jatkuu. Jossain dokumenteissa on jopa nimetty tulevaisuus ”sähkön aikakaudeksi”.
 - Sähköpolttoaineiden tuotannon lisäys lisää tarvetta alkuperätakuiden ja tuotannon tuntikohtaiselle korrelaatiolle viimeistään vuonna 2030.
 - Digitalisaatio lisääntyy mutta vielä on epäselvää, kuinka se tapahtuu.
- Mahdollisia ovat:
- reservimarkkinoiden automatisointi lohkoketjuteknologian avulla
 - alkuperätakuiden ja tuotannon tunnin sisäinen korrelaation seuranta ja kaupankäynti toteutetaan lohkoketjulla tai muulla teknologialla toteutettavalla järjestelmällä.
 - IOE, internet of electricity -ratkaisut.

Ympäristötekijät (esimerkiksi ilmasto, rakennettu ympäristö ja resurssien käyttö):

- Suomen sähkönkulutus kasvaa datakeskusten, sähköistämisen ja esimerkiksi vedyn tuotannon kautta.
- Vedyn tarve lisääntyy Euroopassa ja Suomessa sähköpolttoaineiden tuotannon ja teollisuuden vähähiilisyystavoitteiden saavuttamiseksi.
- Norjan tavoite olla puhtaan vedyn tuottaja voi muuttaa heidät alkuperätakuiden nettotuojaksi eli ostajaksi esimerkiksi Ruotsista ja Suomesta.
- Pohjois-Ruotsin sähkönkulutuksen lisääntyminen ja kääntyminen sähköntuojaksi Suomesta.

- Ilmastonmuutos etenee ja Golf-virta pysähtyy, jolloin Suomen keskilämpötila laskee ja sähköntuotanto uusiutuvilla tuotantomuodoilla vaikeutuu.

Näistä PESTE-analyysissä tunnistetuista toimintaympäristön muutoksista valittiin ne, joiden toteutumisen todennäköisyyden uskottiin työryhmässä olevan korkein. Taulukko valintoineen on nähtävissä liitteessä 1. Tätä taulukkoa käytettiin aivoriihessä työryhmän liiketoimintamallin osa-alueiden vaihtoehtojen kehityksen pohjana.

9.2 Aivoriihi Business Model Canvas -työkalua käyttäen

Mahdollisuuksia Business Model Canvas -työkalun eri osa-alueisiin ideointiin työpajassa viiden hengen työryhmässä, johon osallistui opinnäytetyön tekijän lisäksi neljä henkilöä eri organisaatioista:

- Vetyasiantuntija (Fingrid)
- Reservimarkkinoiden asiantuntija (Fingrid)
- Sähkömarkkinoiden asiantuntija (UPM)
- Power-to-X asiantuntija (UPM).

Aivoriihi suoritettiin kasvokkain kolme tuntia kestäneessä työpajassa. Osallistujat oli valittu sen mukaan, että ryhmään tuli mukaan mahdollisimman kattavasti sekä sähkö- ja reservimarkkinoiden että vedyn ja vedyn arvoketjun eri osa-alueiden asiantuntijoita.

Ennen työpajaan osallistumista osallistujat saivat luettavakseen otteen työn teoriaosuudesta. Työpajan aluksi käytiin läpi teoriaosuudessa kerättyä tietoa, liiketoimintamallin käsitteet sekä PESTE-analyysi. Osallistujien kanssa valittiin PESTE-analyysistä ne tekijät, joiden yhteisten keskustelujen jälkeen uskottiin suurimmalla todennäköisyydellä toteutuvan seuraavan 5–10 vuoden aikahorisontilla tulevaisuudessa.

Tehtyjen analyysien ja valittujen tulevaisuuden todennäköisyyksien perusteella aivoriihessä ideoitiin ja kirjattiin ylös mahdolliset liiketoimintamallien eri

osa-alueiden vaihtoehdot. Vaihtoehdot on kuvattu Osterwalder ym. (2010, s. 44) Business Model Canvas -pohjaa mukailevassa kuviossa 10.

Avainkumppanit (6)	Avainaktiviteetit (5)	Arvolupaus	Asiakassuhteet (3)	Asiakassegmentit (1)
Vedyn tuottajat	Sähkö- ja joustomarkkinaosaaminen ja kaupankäynti	Takaa alkuperän ja luotettavan sähköntoimituksen	Vedyn tuottajien kanssa tehdyt markkinapohjaiset PPA sopimukset, jolloin asiakassuhde jää kevyeksi	Vedyntuottaja elektrolyysin tai hiilidioksidin talteenoton avulla
Alkuperätakuiden omistajat ja Finextra	Alkuperätakuu osaaminen ja kaupankäynti	Ennustettava ja vakaa sähkönhinta	Pikäaikaiset kumppanuussuhteen vedyn tuottajan kanssa	Puhtas vety / RFNBO / päästöttömät polttoaineet
Verkkoyhtiö(t) / Fingrid	Asiakasmyynti ja -suhteet	Ennustettava ja vakaa alkuperätakuuhinta ja toimitus	Markkinapaikkojen kautta tapahtuva alkuperätakuiden tai PPA-sopimusten myynti	TSO (reservit)
Sähköpörssi / sähköntuotantokanavat	Sopimusten hallinta	Hankkii hyvän "hinnan" ylituotannolle ja joustolle		Alkuperätakuiden tarvitsijat
	Regulaatio-osaaminen ja lainsäädännön seuranta, analysointi ja vaikutus			
	Digitalisaatio ja optimointi			
Avainresurssit (4)			Kanavat (2)	
Sähköntuotanto			Sähköverkon ja toimituksen logistiikka sähköntoimitukselle	
Henkinen pääoma			Perinteinen B-to-B myyntityö ja yhteistyökumppaneiden etsintä	
Sähkömarkkinaosaaminen			Alkuperätakuut markkinapaikan kautta	
Regulaatio-osaaminen ja lainsäädännön seuranta ja analysointi -> vaikuttaminen			PPA-sopimusten markkinapaikat	
Digitalisaatio / automatisointi -> AI?				
Kustannusrakenne (7)		Tulovirrat (4)		
Tuotannon rajahinta / muuttuvat kustannukset		PPA (sähkö)		
Uuden tuotannon kohdalla rakennuskustannus / pääomakustannus		Alkuperätakuut		
Henkilöstö ja digikustannukset/järjestelmäkustannukset		Joustomarkkinat (reservit)		
Mahdolliset tilanteet missä tuotantoa ei ole saatavilla kuten aiemmin sovittu/tarjottu		Siirtojenhallinta (maantieteellisesti kaukana toisistaan sijaitsevat kulutus ja tuotanto voivat osallistua paikallisesti eri tavoin siirtojenhallintaan)		

Kuvio 10. Aivoriivessä ideoidut vaihtoehdot liiketoimintamallin eri osa-alueille

Aivoriivessä käytiin vilkasta keskustelua eri liiketoimintamalleista, niiden rajoitteista ja mahdollisuuksista. Tämän keskustelun pohjalta valittiin vaihtoehdot eri liiketoimintamallien osa-alueille. Seuraavaksi käydään läpi tarkemmin eri osa-alueet ja niihin ideoidut vaihtoehdot.

Asiakassegmentit – eli ne kenelle tuottaa lisäarvoa ja ketkä ovat potentiaalisia asiakkaita puhtaan vedyn tuotannon arvoketjussa:

- Yleisesti vedyn tuottajat elektrolyysin tai hiilidioksidin talteenoton avulla (vihreä, pinkki ja sininen vety).
- Puhtaan vedyn tuottajat (vihreä ja pinkki vety).
- Uusiutuvan vedyn tuottajat sähköpolttoaineiden tuotantoon (RFNBO).
- Puhtaan vedyn tuottajat päästöttömien polttoaineiden tuotantoon.
- Kantaverkkoyhtiöt joustomarkkinoilla.
- Alkuperätakuiden tarvitsijat puhtaan vedyn tuotantoon.

Arvolupaus – lisäarvo, jonka yritys lupaa ja tuottaa asiakkailleen:

- Asiakkaalle taataan alkuperätakuut ja luotettava sähkön toimitus.
- Asiakkaan ostama sähkönhinta on ennustettava ja vakaa.
- Alkuperätakuiden hinta on ennustettava ja vakaa sekä niiden toimitus varmaa.
- Sähkö- ja joustomarkkinoilta saadaan paras hinta ylituotannolle ja joustolle.

Kanavat – ne keinot ja myynti- ja toimituskanavat, joiden kautta yritys tavoittaa edellä määritellyt asiakkaansa:

- Sähkö toimitetaan aina sähkönsiirtoverkon kautta tai liitynnällä suoraan vedyn tuotantolaitokseen. Sähkön toimitukseen ei tässä tapauksessa liity perinteistä toimitusketjua.
- Alkuperätakuiden kaupankäynti tehdään joko kahdenvälisillä virtuaalisilla PPA (power purchase agreement) -sopimuksilla tai niille olemassa olevien markkinapaikkojen kautta. Alkuperätakuiden käyttö ja toimitus tapahtuu lainsäädännön määräämällä tavalla.
- Vedyn tuottajat voidaan tavoittaa perinteisen B-to-B myyntityön kautta eli käymällä yhteistyöneuvotteluja potentiaalisten asiakkaiden kanssa.
- Lisäksi PPA-sopimuksille on olemassa markkinapaikkoja, joissa voidaan tehdä sähkötoimitussopimuksia alkuperineen mutta tällöin ei puhuta pitkäaikaisista kumppanuuksista.

Asiakassuhteet – kuvaavat sitä, millaisia suhteita yritys ylläpitää valittujen asiakkaidensa kanssa:

- Tehtäessä vedyn tuottajien kanssa markkinapohjaisia PPA-sähkötoimitussopimuksia tai virtuaalisia PPA-sopimuksia alkuperätakuista, asiakassuhde jää hyvin kevyeksi.
- Vedyn tuottajan kanssa voidaan solmia pitkäaikaisia kumppanuussuhteita. Suhde voi vaihdella sähkön ja alkuperätakuiden myynnistä tietyiltä tuotantolaitoksilta, asiakkaan sähkö- ja alkuperäportfolion hallintaan tai jopa joustomarkkinoilla toimintaan ja koko tuotantoketjun optimointiin.
- Silloin kun alkuperätakuiden myynti tai PPA-sopimusten teko tapahtuu markkinapaikkojen kautta, asiakassuhteita ei muodostu välttämättä

ollenkaan, esimerkiksi alkuperätakuinen markkinapaikalla kauppaa käydään anonyymisti.

Tulovirrat – se miten yritys ansaitsee rahaa valituilla asiakassegmenteillä:

- Sähkön ja alkuperätakuiden PPA-sopimuksista saatavat pitkäaikaiset vakaat tulovirrat. Riippuen PPA-sopimuksen luonteesta hintariski ja tuotantoriski voivat olla ostajalla tai myyjällä.
- Alkuperätakuista saatavat tuotot markkinoiden kautta.
- Joustomarkkinoilta saatavat tuotot tuotantolaitoksella ja mahdollisesti esimerkiksi hyödynjakosopimus, jos elektrolysaattori voidaan tarjota markkinalle, tai jopa optimoida koko arvoketjua sähköntuotannosta vedyn tuotantoon ja vetyvarastoon saakka.
- Lisätulot siirtojenhallintatuotteista, esimerkiksi maantieteellisesti kaukana toisistaan sijaitsevat kulutus ja tuotanto voivat osallistua paikallisesti eritavoin siirtojenhallintaan.

Avainresurssit – mitä resursseja valitut liiketoimintamallit vaativat:

- Jotta voidaan olla osa puhtaan vedyn arvoketjua, tarvitaan puhdasta sähköntuotantoa (aurinko-, tuuli- tai ydinvoima).
- Yrityksellä tulee olla henkistä pääomaa eli vahvaa osaamista. Sitä tarvitaan sekä eri sähkö- ja joustomarkkinoista että monimutkaisista vedyn eri käyttökohteita ja tuotantomuotoja koskevista lainsäädännöistä nyt ja tulevaisuudessa.
- Tarvitaan henkilöstöä seuraamaan ja analysoimaan lainsäädäntöä, ja koska tulevilla muutoksilla on iso merkitys yrityksen liiketoiminnan kannattavuuteen ja mahdollisuuksiin tulevaisuudessa. Tarvitaan myös osaamista vaikuttamisesta.
- Tarvitaan digitalisaation ja automatisoinnin apua, jotta pystytään toimimaan yhä lyhyemmällä ajanjaksoilla ja useimmilla markkinapaikoilla. Mahdollisesti myös AI-ratkaisuista on hyötyä.

Avainaktiviteetit – ne keskeiset toiminnot, joita valitut liiketoimintamallit edellyttävät:

- Yritykseltä vaaditaan vahvaa asiantuntijaorganisaatiota koskien sähkö- ja joustomarkkinaosaamista sekä osaamista alkuperätakuista ja niiden markkinoista.
- Osassa ideoiduista liiketoimintamalleista yrityksellä täytyy olla myös organisaatio, joka hoitaa myyntiä asiakkaille ja yhteistyömallissa varsinkin pitkiä asiakassuhteita.
- Yritykseltä vaaditaan lakiteknistä osaamista ja sopimusten hallintaa. Tätä vaaditaan kaikissa muissa malleissa paitsi toimittaessa täysin markkinapaikkojen kautta anonyymisti.
- Asiantuntijaorganisaation lisäksi tarvitaan henkilöstöä, jolla on osaamista lainsäädännöstä ja vaikuttamisesta tulevaan kehitykseen.
- Alkuperätakuiden tunnin aikajakso tulevaisuudessa ja useat eri sähkö- ja joustomarkkinapaikat vaativat yritykseltä digitalisaation ja optimoinnin hallintaa.

Avainkumppanit – yrityksen tärkeimmät kumppanit liiketoimintamallin toteutuksessa.

- Vedyntuottajat sähkön ja alkuperätakuiden ostajina ovat avainkumppaneita. Ovatko sitä kaikki puhtaan vedyn tuottajat, vai vain esimerkiksi sähköpolttoainetuotantoon menevän vedyn tuottajat, riippuu siitä, mihin asiakassegmenttiin liiketoimintamallissa halutaan keskittyä.
- Alkuperätakuiden osalta avainkumppani on myös Finextra, joka myöntää alkuperätakuut Suomessa sekä markkinapaikkojen ylläpitäjät.
- Joustomarkkinoiden osalta avainkumppani on kantaverkkoyhtiö eli Fingrid
- Sähköpörssit ja toiset sähkönmyyjät toimivat kumppaneina ylijäämä sähkönmyynnissä sekä mahdollisessa hankinnassa, jos puhtaan vedyn tuottajalle on mahdollista myydä toisistaan erillään sähköä ja alkuperätakuuta.

Kustannusrakenne – mistä muodostuvat valittujen liiketoimintamallien kustannukset.

- Operatiiviset kustannukset muodostuvat henkilöstö- ja järjestelmäkustannuksista.

- Tuotetulla sähköllä on myös muuttuvakustannus riippuen tuotantomuodoista. Vaikka polttoainekustannus olisi nolla, kuten se usein uusiutuvalla sähkötuotannolla on, lasketaan tuotannolle usein kustannus kuitenkin niin sanotun rajahinnan kautta.
- Kustannuksia aiheutuu myös sopimustyypeistä ja liiketoimintamalleista riippuen oman tuotannon tilalle hankittavasta korvaavasta sähköstä esimerkiksi huoltojen ja rikkoontumisten aikana.
- Markkinapaikoilla on myös omat kaupankäyntikustannuksensa ja Finextra perii maksua alkuperätakuiden myöntämisestä.
- Uuden tuotannon kohdalla rakentamiskustannukset ja pääomakustannukset ovat merkittäviä.

9.3 Tutkimuksessa kehitetty kumppanuusliiketoimintamalli sähköntuottajalle

Euroopan unionin ja Suomen ilmastostrategiat tähtäävät hiilidioksidineutraaliuteen. Tällä hetkellä jo tullut sekä suunnitteilla oleva lainsäädäntö, kansalliset sekä Euroopan unionin tukimekanismit keskittyvät vahvasti päästöjen vähentämiseen uusiutuvan energiantuotannon lisäämisellä sekä puhtaan vedyn tuotannolla. Toiseksi yhtenä isona päästöjen tuottajana on vielä liikenne ja polttoaineet.

Jotta CO₂-vapaata vetyä voidaan tuottaa, tarvitaan puhdasta sähköntuotantoa ja alkuperätakuut. Lainsäädäntö varsinkin sähköpolttoaineiden ja erityisesti RFNBO-polttoaineen tuotantoon käytettävän vedyn sähkön tuotantomuotojen ja hyväksyttävyyden osalta on erittäin tiukka. Koska CO₂-vapaan vedyn tuotannon uskotaan lisääntyvän todella merkittävästi, tarvitaan siihen valtavat määrät puhdasta sähköä. Tämän vuoksi sähköntuottajan liiketoimintamalliksi valikoitui malli, jossa tehdään tiivistä yhteistyötä CO₂-vapaan eli puhtaan vedyn tuottajien kanssa (kuvio 11). Mallin valinta ja kehitys tapahtui lopputyön tekijän toimesta teoriaosuuden, dokumenttien sisältöanalyysin ja PESTE-analyysin pohjalta. Liiketoimintamallin kehityksessä käytettiin myös aivoriihessä teorian ja PESTE-analyysin pohjalta ideoituja liiketoimintamallin osa-alueita.

Avainkumppanit (8)	Avainaktiviteetit (7)	Arvolupaus (2)	Asiakassuhteet (4)	Asiakassegmentit (1)
Vedyn tuottajat Alkuperätakuiden omistajat ja Finextra Verkkoyhtiö(t) / Fingrid Sähköpörssi / sähkön hankintakanavat	Sähkö- ja joustomarkkinaosaaminen ja kaupankäynti Alukuperätaaku osaaminen ja kaupankäynti Asiakasmyynti ja -suhteet Sopimusten hallinta Regulaatio-osaaminen ja lainsäädännön seuranta, analysointi ja vaikutus Digitalisaatio ja optimointi	Takaa luotettavan, varman ja vakaan sekä ennustettavan alkuperätakuiden ja sähkön toimituksen ja hinnan	Piikäaikaiset kumppanuussuhteen vedyn tuottajan kanssa Kanavat (3) Sähköverkon ja toimituksen logistiikka sähkötoimitukselle Perinteinen B-to-B myyntityö ja yhteistyökumppaneiden etsintä	Puhtas vety / RFNBO / päästöttömät polttoaineet Kantaverkkoyhtiö (TSO eli Fingrid)
Avainresurssit (6) Sähkön tuotanto Henkinen pääoma Sähkömarkkinaosaaminen Regulaatio-osaaminen ja lainsäädännön seuranta ja analysointi -> vaikuttaminen Digitalisaatio / automatisointi				
Kustannusrakenne (9) Tuotannon rajahinta / muuttuvat kustannukset Uuden tuotannon kohdalla rakennuskustannut / pääomakustannus Henkilöstö ja digikustannukset/järjestelmäkustannukset Mahdolliset tilanteet missä tuotantoa ei ole saatavilla kuten aiemmin sovittu/tarjottu			Tulovirrat (5) PPA (sähkö) Alkuperätakuut Joustomarkkinat (reservit) Siirtojenhallinta (maantieteellisesti kaukana toisistaan sijaitsevat kulutus ja tuotanto voivat osallistua paikallisesti eri tavoin siirtojenhallintaan)	

Kuvio 11. Kumppanuusliiketoimintamallin osa-alueet

Tätä mallia kuvaa parhaiten termi kumppanuusmalli eli malli, jossa tehdään tiivistä yhteistyötä asiakkaan kanssa. Kumppanuusliiketoimintamallissa sähköntuottaja ottaa huolehtiakseen asiakkaan vedyn tuotantoon tarvittavan sähkön ja alkuperätakuiden hankintasopimuksista.

On hyvä huomata myös, että polttoainetta voidaan tuottaa myös silloin, kun käytetty vety ei täytä RFNBO:n vaatimuksia. Näin elektrolysaattorille ja vetyä käyttävälle sähköpolttoaineen tuotantolaitokselle saadaan korkeampi käyttöaste. Tällöin voidaan tuottaa päästötöntä polttoainetta, jonka tuotantoon voidaan käyttää vähähiilistä vetyä, eli vihreää, violetta tai sinistä vetyä, joka ei RFNBO:n säädösten mukaan kelpaa sen tuotantoon. Lainsäädäntö on kuitenkin tämän osalta vielä kesken ja ydinvoiman hyväksyttävyyden tulevaisuudessa avoinna.

9.3.1 Kumppanuusliiketoimintamallin asiakassegmentit ja arvolupaus

Asiakassegmentti johon kumppanuusliiketoimintamallissa keskitytään ovat CO₂-vapaan vedyn tuottajat Suomessa sähköpolttoaineiden tuotantoon, jotka ottavat sähkönsä ainakin osittain sähkönsiirtoverkosta. Tällä hetkellä

sähkölaitteiden ja varsinkin RFNBO hyväksyttävän sähkön lainvaatimukset ovat tällä hetkellä hyvin tiukat. Parhaassa tapauksessa asiakas voi tuottaa RFNBO:ta silloin, kun kriteerit täyttävää vedyn tuotantoa on saatavilla ja lopun ajan päästötöntä tai vähäpäästöistä polttoainetta. Näin vedyn tuotanto ja myös jatkojalostus pystyisivät käymään parhaalla käyntiasteella. Tällöin kumppanuusmallissa sähköntuottaja pystyisi myös huolehtimaan sähkön alkuperien hankinnasta esimerkiksi silloin, kun vedyn tuotantoon PPA-sopimuksella omistettu tuulipuisto ei tuota sähköä ja mahdolliset akkuvarastot ovat tyhjiä. Kumppanuusmallissa sähköntuottaja voi hankkia itselleen omasta tuotannosta ja PPA-sopimuksilla portfolion, jolla hän voi taata vedyn tuottajalle aina ja kaikissa tilanteissa vihreää sähköä. Tuottaja voi solmia asiakkaiden puolesta useita omia PPA-sopimuksia, jotka pitävät sisällään tietyn laitoksen tuotannon ja alkuperätakuut, ja myydä ylijäämän markkinoille.

Liiketoimintamallin arvolupaus on se lupaus, jonka liiketoimintamallissa yritys lupaa toimittaa asiakkailleen. Kumppanuusliiketoimintamallissa yritys lupaa asiakkailleen sähköntoimituksen ja alkuperätakuut CO₂-vapaan vedyn tuotantoon aina kun asiakas niitä tarvitsee. Koska mallissa asiakkaan kustannuksia hallinnoidaan PPA-sopimusten kautta, luvataan asiakkaalle näin myös ennustettava ja vakaa hinta sekä sähkölle että alkuperätakuille.

Asiakassegmentin valintaa tukee myös Euroopan unionin ja Suomen ilmastostrategian päästöttömyystavoitteet, ja tavoite vedyn tuotannon lisäämisestä keinona tavoitteeseen pääsemiseksi. Myöskin päästökaupan laajeneminen polttoainesektorille lisää tarvetta puhtaille sähköpolttoaineille ja puhtaalle vedylle laskennallisten päästöjen vähentämiskeinona.

9.3.2 Kanavat, joiden kautta asiakas tavoitetaan ja arvolupaus toimitetaan sekä asiakassuhteen luonne

Kun liiketoimintamalliin oli valittu asiakassegmentti ja arvo, jota asiakkaalle yritys haluaa tuottaa, määriteltiin tutkimuksessa seuraavaksi kanavat, joita pitkin asiakkaat halutaan tavoittaa ja toimittaa arvolupaus asiakkaalle. Sähköntoimitus ja markkinat ovat logistiikaltaan helppoja, koska sähkö toimitetaan aina

kantaverkon ja jakeluverkkojen kautta asiakkaalle verkkoyhtiöiden toimesta, jolloin sähkönmyyjän ja -tuottajan ei tarvitse huolehtia logistiikasta ollenkaan. Koska asiakassegmenttinä on sähkönsiirtoverkosta CO₂-vapaan vedyn tuotantoon sähkön ottavat asiakkaat Suomessa, sähkö siirtyy verkon kautta. Asiakkaalla voi olla myös omaa uusiutuvaa tuotantoa, mutta valitussa kumppanuusliiketoimintamallissa sitä ja sen alkuperätakuuta hallinnoidaan sähköntuottajayrityksen toimesta samalla tavalla osana portfolioa kuin muutakin PPA-sopimuksilla hankittua tuotantoa. Alkuperätakuiden hallinnointi ja peruutus asiakkaan hyväksi tapahtuu lainsäädännön edellyttämällä tavalla Finextran kautta.

Potentiaaliset asiakkaat pyritään tavoittamaan perinteisen B-to-B eli yritykseltä yritykselle tapahtuvan myyntityön kautta, esimerkiksi olemalla suoraan heihin yhteydessä ja käymällä alan tapahtumissa. Koska tavoitteena on saavuttaa pitkiä, jopa kymmeniä vuosia kestäviä asiakassuhteita CO₂-vapaan vedyn tuottajan kanssa, on suhteen oltava laadultaan kumppanuussuhde, josta molemmat osapuolet hyötyvät pitkällä tähtäimellä. Suhteen edellytyksenä on myös yhteistyö, jossa toimintaa kehitetään molemmin puolin lainsäädännön, markkinoiden ja muiden vastaavien vaatimusten kehittyessä. Pelkkä sähkön ja alkuperätakuiden myynti hyvään hintaan PPA-sopimuksella ei riitä, vaan valitussa mallissa sähköntuottaja on pitkäaikainen yhteistyökumppani vedyn tuottajalle.

9.3.3 Tulovirrat, joiden kautta puhtaan sähkön tuottaja saa rahaa sekä tarvittavat avainresurssit tulojen hankkimiseen

Kumppanuusliiketoimintamallissa sähköntuottaja saa tuloa useammasta eri lähteestä. Pääasiallinen tulonlähde on pitkäaikaiset sähkön ja alkuperätakuiden hankinta- ja myyntisopimukset asiakkaalle. Näistä saatava tulovirta riippuu myyjän kyvykkyydestä hallinnoida RFNBO:n vaatimaa omaa uusiutuvaa sähköntuotantoa alkuperätakuineen sekä hankkia PPA-sopimuksilla muilta tuottajilta vaatimukset täyttävää sähköntuotantoa ja alkuperätakuuta. Sähköntuottaja eli myyjä voi luoda sopimuksilla itselleen useamman tuotantolaitoksen tuotannoista ja alkuperätakuista PPA-portfolioita. Portfolion sopimukset voivat olla

täysin myyjän hallussa tai asiakkaan lukuun tehtyjä. Sopimusten ja portfolioiden määrittelyssä täytyy kuitenkin muistaa, että RFNBO:n tuotantoon tuotetun vedyn tuotantoon käytetyn sähkön pitää olla PPA-sopimuksella kohdennettu sähköntuotantolaitokseen ja sen alkuperätakuisiin.

Myyjän omia sekä vedyn tuottajan mahdollisesti omia uusiutuvan sähkön tuotantolaitoksia voidaan tarjota joustomarkkinoille ja näin saada lisätuloa sekä myyjälle että asiakkaalle. Jos asiakkaalla tai asiakkaan asiakkaalla on vetyvarastoja, myyjä voi tarjota myös elektrolysaattorin sähkönkulutuksen näille samoille markkinoille ja näin optimoida koko tuotantoketjua varastoon saakka. Tällaisessa mallissa voidaan käyttää erilaisia hinnoittelumenetelmiä asiakkaan kanssa, esimerkiksi hyödynjakoa markkinatuloista asiakkaan resursseilla tai kiinteää palveluveloitusta. Mahdolliset tulovirrat joustomarkkinoilta riippuvat hyvin pitkälti asiakkaan kanssa sovitusta yhteistyömallista. Vastaavasti joustoa voidaan tarjota myös kantaverkkoyhtiö Fingridin siirtojenhallintaan. Varsinkin, jos sähköntuotantolaitos ja elektrolysaattori, jota käytetään sijaitsevat kaukana toisistaan ja voivat näin kompensoida toisiaan siirtorajoitteiden yli.

Asiakkaan eli vedyn tuottajan sähkön ja alkuperätakuiden sekä niihin liittyvien PPA-sopimusten portfolion hallinnalla myyjä saa tulovirtoja sekä omasta tuotannostaan, portfolion hallinnasta tai myyntimarginaaleista sekä joustomarkkinoille osallistumisesta. Myyjä voi myydä ylimääräiset alkuperätakuut ja sähkön markkinoille, joko omaan lukuunsa tai asiakkaan lukuun riippuen taas valitusta yhteistyömallista.

Hallitakseen koko portfolioa ja markkinoilla oloa sähkön tuotantoyhtiön avainresursseja ovat osaava henkilöstö ja kyky käyttää hyväkseen digitalisaatiota ja automatisaatiota. Automatisaatiota tarvitaan jo nyt, koska sähkömarkkinat toimivat suurimmaksi osaksi 15 minuutin aikajaksossa. Automatisaation merkitys kuitenkin korostuu vuoden 2030 jälkeen, kun sähkön alkuperätakuiden ja 15 minuutin välein laskettavan nettotuotannon pitää kohdata samalla tunnilla uusiutuvan sähkön tuotantolaitoksen tuotannon ja RFNBO:n käytetyn vedyn tuotannon kanssa.

Avainresurssi henkilöstön ja automaation lisäksi on yrityksen henkinen pääoma. Toimiakseen yhteistyökumppanina vedyn tuottajalle CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa yrityksellä täytyy olla osaava henkilöstö, joka hallitsee sähkömarkkinat ja siellä olevat eri markkinapaikat aina sähköpörssin tuotteista joustomarkkinoihin. Koska sekä sähkömarkkinat, CO₂-vapaan vedyn tuotanto ja sähköpolttoaineiden tuotanto on hyvin vahvasti säädelty niin eurooppalaisella kuin suomalaisellakin lainsäädännöllä, vaaditaan henkilöstöltä myös vahvaa lainsäädännön osaamista. Olemassa olevan lainsäädännön lisäksi täytyy pystyä myös ennakoimaan tulevia lainsäädännön muutoksia ja mahdollisesti vaikuttamaan niihin. Koska kumppanuusliiketoimintamallissa on kyseessä pitkät yhteistyösopimukset asiakkaiden kanssa, on molempien liiketoiminnan kannalta tärkeää ymmärtää tulevaisuuden vaikutus valittuihin toimintamalleihin ja sopimuksiin.

9.3.4 Avainaktiviteetit ja tarvittavat avainkumppanit kumppanuusliiketoimintamallin toimintaan

Työssä kehitetyn kumppanuusliiketoimintamallin toteuttamiseksi ja tulovirtojen saavuttamiseksi yritys tarvitsee sekä kumppaneita että liiketoimintamallin toteuttamista varten olevia toimintoja. Keskeisimmät toiminnot kehitetyssä liiketoimintamallissa ovat:

- sähkö- ja joustomarkkinoilla kaupankäynti
- alkuperätakuiden hallinnointi ja kaupankäynti
- myyntiorganisaatio asiakassuhteiden hankintaan ja ylläpitoon
- sopimusten hallinta (sekä asiakassopimukset mutta myös PPA-sopimukset tuotanto- ja alkuperätakuuportfolion hallintaan)
- vahva asiantuntijaorganisaatio (sähkömarkkinat, alkuperätakuut, lainsäädäntö, vaikuttaminen)
- automatisaatio- ja optimointijärjestelmien hallinta ja kehitys.

Osa yllä luetelluista keskeisistä toiminnoista kannattaa olla yrityksellä itsellään, mutta osan kohdalla yrityksen kannattaa miettiä voisiko esimerkiksi järjestelmäosaamista hankkia ulkopuolelta. Toisaalta osaamisen pitäminen omassa hallinnassa voidaan nähdä kumppanuusmallissa myös kilpailuetuna.

Mikään yritys ei toimi yksin vaan tarvitsee myös kumppaneita toimintaansa. Näin on myös tässä liiketoimintamallissa. Kehitetyn liiketoimintamallin keskeisimpiä kumppaneita ovat CO₂-vaapaan vedyn tuottajat, vaikka ovat samaan aikaan myös asiakkaita. Heidän kanssaan yrityksen tulee kehittää liiketoimintaa yhteistyössä molemmille osapuolille suotuisaan suuntaan. Toisella puolella kumppaneina ovat päästöttömän sähkön tuotantolaitosten omistajat, jotka ovat osa yrityksen PPA-portfoliota. Lisäksi kumppaneita ovat sähköpörssit ja Fingrid sähkö- ja joustomarkkinoilla toiminnan mahdollistajana. Vaikka markkinoilla toimitaankin automaation kautta, on heihin hyvä pitää yllä suhteita tulevaisuuden ja nykyisten toimintamallien kehittämiseksi ja ymmärtämiseksi.

9.3.5 Kustannusrakenne valitussa kumppanuusliiketoimintamallissa

Kumppanuusliiketoimintamallissa, jossa hallinnoidaan omaa tuotantoa sekä sähkön- ja alkuperätakuiden hankintaportfoliota asiakkaan tarvetta vasten, kustannukset muodostuvat henkilöstö- ja järjestelmäkustannuksista. Järjestelmäkustannukset muodostuvat olemassa olevien järjestelmien ylläpidosta ja lisensseistä, mutta myös niiden kehityksestä esimerkiksi automatisaation, tekoälyn tai muun vastaan osa-alueen käyttöönottoa harkittaessa.

Uusiutuvalla sähköntuotannolla kuten aurinko-, tuuli- ja vesivoima ei yleensä ole polttoainekustannuksia, jotka muodostaisivat muuttuvia kustannuksia. Niille voidaan kuitenkin muodostaa kustannus tuotannon rajahinnan ja menetetyt tuotannon kautta. Lisäksi kustannuksia voi muodostua esimerkiksi korvaavan tuotannon hankinnasta laiterikkojen tai muiden vastaavien tilanteiden takia, joissa sovittua tuotantoa ei ole saavilla. Jos yritys puolestaan rakentaa omaa uutta tuotantoa, muodostuu sille kustannuksia esimerkiksi rakentamisesta ja mahdollisesti tarvittavan pääoman hankinnasta.

Muuttuvia kustannuksia liiketoimintamallissa muodostuu useista eri lähteistä. Esimerkiksi alkuperätakuiden hallinta ja kaupankäynti eri sähkön markkinapaikoilla aiheuttaa muuttuvia kustannuksia, samoin sähkön siirto sähkön tuotantolaitoksilta kantaverkkoon toimitettavaksi asiakkaalle. Lisäksi

sähköntuotannolle ja kulutukselle sekä tasesähkölle kohdistetaan kustannuksia kantaverkkoyhtiön puolelta. Kaikki nämä on otettava huomioon kassavirtoja laskettaessa ja kumppanuusliiketoimintamallia eteenpäin kehitettäessä.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET, TULOSTEN HYÖDYNNETTÄVYYS JA TUTKIMUKSEN ARVIOINTI

10.1 Opinnäytetyön tavoite ja tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön tavoitteena oli tunnistaa liiketoimintamahdollisuudet, ja kehittää sähköntuottajalle Suomessa liiketoimintamalli CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa. Tätä tavoitetta varten asetettiin päätutkimuskysymys ja neljä apukysymystä: minkälaisilla liiketoimintamalleilla sähköntuotantoyritys voi toimia CO₂-vapaan vedyn tuotannon arvoketjussa, millä tuotantomuodoilla ja missä tuotettua sähköä voidaan käyttää CO₂-vapaan vedyn tuotantoon, kuinka alkuperätakuu- ja sähkömarkkinat toimivat CO₂-vapaan vedyn tuotannossa, miten osoitetaan vedyn tuotannossa käytetyn sähkön alkuperä ja millä sähkön joustomarkkinoilla sähköntuottaja voi toimia lainsäädännön rajoitteet huomioiden. Työssä saatiin kattavat vastaukset kaikkiin tutkimuskysymyksiin ja liiketoimintamahdollisuuksien avulla pystyttiin kehittämään liiketoimintamalli uusiutuvan sähkön tuottajalle.

Alun perin apututkimuskysymyksiin oli otettu mukaan myös alkuperämarkkinoiden toimiminen mutta varsin pian tutkimuksen edetessä havaittiin, että markkinoiden toiminnalla ja alkuperätakuiden myönnöllä on hyvin vähän merkitystä CO₂-vapaan vedyn tuotantoon kelpaavan sähköntuotannon ja sen kautta liiketoimintamallin määrittelyssä. Malliin vaikuttaa hyvin vahvasti se, millä ehdoilla sähköntuotanto ja sille myönnettyt alkuperätakuut hyväksytään eri vedyn värien tuotantoon ja erityisesti sähköpolttoaineiden tuotantoon. Tämän takia itse alkuperämarkkinoita ja niiden toimintaa ei käsitelty työssä laajemmin.

10.2 Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus

Tähän työhön valittiin tutkimustavaksi kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta kuvataan uskottavuuden, luotettavuuden ja eettisyyden avulla. Kun tutkimuksen lukevat kollegat, sidosryhmä ja

laajempi yleisö pitävät tutkimustuloksia todenmukaisena ja luottavat aineiston hyvän tutkimustavan mukaiseen keräykseen ja analysointiin voidaan tutkimusta pitää uskottavana. Luotettavuudessa tarkastellaan tutkijan kykyä käyttää oikeanlaista lähestymistapaa ja oikeanlaisia tutkimusmenetelmiä tutkimuksen toteutuksessa ja tutkimusongelman ratkaisussa. Eettisyyteen taas vaaditaan tutkijalta eettisten periaatteiden noudattamista tutkimustyön aikana. (Puusa ym., 2020, s. 167.)

Tutkimuksessa käytiin läpi kattavasti lainsäädäntöä ja asiantuntijoiden sekä Euroopan komission ja muiden vastaavien tahojen julkaisemia dokumentteja aiheesta. Tutkimuksessa noudatettiin eettisen tutkimuksen periaatteita. Tutkimusmenetelmät valittiin tulevaisuuden tutkimuksen puolelta, jotta pystyttiin ymmärtämään eri osatekijöitä, mitä voi olla tulossa sen lisäksi, että tutkimuksessa käytiin läpi jo olemassa oleva lainsäädäntö ja dokumentaatiota. Tosin osa siitäkin on vielä niin uutta, että varsinaiset tulkinnat ja käytännön sovellukset vielä puuttuvat.

Aivoriihi yhdessä Business Model Canvas -työkalun ja PESTE-analyysin kanssa oli erittäin hyödyllinen tulevaisuuden hiljaisten signaalien ja todennäköisyyksien tunnistamiseen. PESTE-analyysi yhdistettynä dokumenttianalyysiin antoi kattavan ja järjestelmällisen kuvan tulevaisuuteen vaikuttavista osatekijöistä, samalla varmistaen, ettei mikään osa-alue jäänyt käsittelemättä.

10.3 Tutkimuksen johtopäätökset ja kehitysideoita

Sähkömarkkinat ovat valtavassa muutoksessa sääriippuvan tuuli- ja aurinkovoiman lisääntymisen myötä, kun samalla perinteistä polttoteknologiaan perustuvaa sähköntuotantokapasiteettia häviää markkinoilta. Samaan aikaan sekä Euroopan unionin että Suomen ilmastotavoitteissa asetetaan korkeita tavoitteita päästöjen vähentämiseksi ja uusiutuvan energian tuotannon lisäämiseksi. Yhtenä merkittävimpänä tekijänä hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä ja nettonollatavoitteissa on puhtaan vedyn tuotannon lisääminen ja erityisesti sähköpolttainien käyttöönotto.

Perinteisesti vety valmistetaan maakaasusta, mutta CO₂-vapaa vety valmistetaan sähköstä elektrolyysin avulla käyttäen joko uusiutuvilla tuotettua sähköä tai päästötöntä sähköä eli ydinvoimaa. Tuotannossa käytetty sähkö pitää varmentaa alkuperätakuilla. Alkuperätakuuta voidaan hankkia alkuperätakuu-markkinoilta, mutta erityisesti RFNBO-polttoaineiden tuotannossa käytettävän vedyn tuotantoon kelpaavan sähkön tuotannolle ja alkuperätakuille on lainsäädännössä asetettu erittäin tiukat kriteerit, jotka ovat myös tällä hetkellä vielä tulkinnanvaraiset. Lisäksi Euroopassa käydään laajalti keskusteluja ydinvoiman hyväksyttävyydestä vedyn tuotannossa.

Tässä työssä analysoitiin näitä rajoitteita ja kehitettiin liiketoimintamalli, jolla uusiutuvan sähkön tuottaja voisi toimia tulevaisuudessa osana CO₂-vapaan vedyn arvoketjua. Sähköntuottajalla on toki muitakin liiketoimintamahdollisuuksia ja malleja, joista valita. Sähkö ja alkuperätakuut voidaan myydä pitkillä sopimuksilla sähköpolttoaineiden tai muille CO₂-vapaan vedyn tuottajille joko suoraan, välittäjien kautta tai alkuperätakuu-markkinapaikkojen kautta. Tällä tavalla hankitut alkuperätakuut eivät kuitenkaan kelpaa RFNBO-polttoaineen tuotantoon tuotettavan vedyn tuotantoon, koska tuotantolaitos ja alkuperätakuut tulee olla korvamerkattuja toisiinsa ja korreloida nyt kuukausitasolla ja vuodesta 2030 eteenpäin tuntitasolla.

RFNBO-polttoainetuotannon vedyn tuottaja voi hankkia tarvittavaa uusiutuvaa sähköntuotantoa varten oman PPA-portfolion ja hallinnoida kaikkea siihen liittyvää itse. Vaihtoehtona on myös tuottaa hyväksyttävää vetyä vain silloin, kun hyväksytty sähkön tuotantolaitos akkuvarastoineen on tuotannossa. Analyysissä paras liiketoimintamahdollisuus uusiutuvan sähkön tuottajalle, jolla on vahvaa osaamista niin markkinoista kuin järjestelmistä on tuottaa lisäarvoa vedyn tuottajille hallinnoimalla heidän puolestaan PPA-portfoliota. Toisaalta, jos lohkoketjuteknologiaan perustuvat ratkaisut lisääntyvät, voivat laitteet tulevaisuudessa käydä kauppa keskenään ja kohdentaa alkuperät kulutuksen mukaan, jolloin rooli muuttuisi enemmän takaisin perinteiseksi sähköntuottajaksi.

Mikäli yritys haluaa lähteä kehittämään liiketoimintamallia pidemmälle, tarvitaan tarkempia analyysejä yrityksen omista vahvuuksista ja mahdollisuuksista toimia eri rooleissa markkinoilla. Myös syvällisempi markkina-analyysi eri asiakassegmenteistä vedyn tuotannossa on tarpeellinen sekä laskelmat markkinoiden kannattavuudesta. Lisäksi liiketoimintamallia kehitettäessä eteenpäin yrityksen on hyvä käydä vielä tarkemmin läpi mahdolliset sopimus- ja hyödynjakomallit, mitä asiakkaitten kanssa halutaan käyttää.

Tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksiin CO₂-vapaan vedyn arvoketjussa vaikuttaa hyvin vahvasti ydinvoiman hyväksyttävyyys puhtaan vedyn tuotannossa. Ydinvoiman osalta keskustelut ovat kuitenkin vielä kesken Euroopassa, ja kanta sen hyväksyttävyyteen vaihtelee maittain, joten nähtäväksi jää, mikä on sen asema uusiutuvan sähköntuotannon rinnalla CO-vapaan vedyn tuotannossa.

Sekä lainsäädäntö että sähkömarkkinat ovat vahvasti kehittymässä, samoin kuin Euroopan taloustilanne, joka aiheuttaa paljon epävarmuustekijöitä markkinoiden kehittymiseen. Tällä hetkellä niin sähköntuottajat, vedyn tuottajat kuin teollisuuskin tuntuvat odottavan toisiaan ennen varsinaisia investointipäätöksiä, mutta poliittinen paine ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi on kova ja voi saada investoinnit liikkeelle. Uusiutuvan sähköntuottajan kannattaakin kehittää ja analysoida mahdollisia itselleen sopivia liiketoimintamalleja jo etukäteen.

Työtä voidaan hyödyntää tulevaisuuden yritys kohtaisten liiketoimintamallien suunnittelussa, yrityksen strategiatyössä sekä liiketoiminnan päätösten tukena, kun mietitään mihin suuntaan yrityksen omaa toimintaa tulisi kehittää. Työn avulla voidaan saada myös suuntaviivat sille, miltä tulevaisuuden sähkömarkkinat voisivat näyttää, jos energia- ja ilmastostrategioissa määritellyt tavoitteet ja toisaalta lainsäädännön rajoitteet toteutuvat vedyn käytön ja tuotannon osalta.

LÄHTEET

Aalto, H-K., Heikkilä, K., Keski-Pukkila, P., Mäki, M. & Pöllänen, M. (2022). Tulevaisuudentutkimus tutuksi – Perusteita ja menetelmiä.

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-249-563-1>

Ajanovic, A., Sayer, M. & Haas, R. (2022) The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. International journal of hydrogen energy. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319922007066>)

Business model innovation. (2017). Emerald Publishing Limited.

Energiavirasto. (n.d.). Sähkömarkkinat. Haettu 9.4.2023 osoitteesta

<https://energiavirasto.fi/sahkomarkkinat>

Energinet, Fingrid, Statnett & Svenska Kraftnät (n.d.). Wind and Solar in the Nordic Reserve Markets: Challenges and Possibilities of Weather Dependent Production. Haettu 15.6.2024 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/julkaisu-wind-and-solar-in-the-nordic-reserve-markets-id-431541.pdf>

European Commission: Directorate-General for Climate Action. (2019). Going climate-neutral by 2050: a strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2834/02074>

European Commission. (2023). Q&A implementation of hydrogen delegated act. Version 14.3.2024. https://energy.ec.europa.eu/document/download/21fb4725-7b32-4264-9f36-96cd54cff148_en?file-name=2024%2003%2014%20Document%20on%20Certification.pdf

European Commission (n.d.). Renewable energy directive targets and rules. Haettu 10.4.2023 osoitteesta https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (uudelleenlaadittu) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018L2001-20231120>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/2413, 18.10.2023, direktiivin (EU) 2018/2001, asetuksen (EU) 2018/1999 ja direktiivin 98/70/EY muuttamisesta uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisen osalta sekä neuvoston direktiivin (EU) 2015/652 kumoamisesta.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413&qid=1699364355105>

Fingrid. (2023). Johdanto sähkömarkkinoihin. Haettu 9.4.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/johdanto-sahkomarkkinoihin/#paivansisaiset-markkinat>

Fingrid. (2024a). Reservilajit. Haettu 5.9.2024 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservilajit>

Fingrid. (2024b). Suomen päästöjen lasku mahdollistaa puhtaan polttoaineet. Haettu 27.10. osoitteesta [Suomen päästöjen lasku mahdollistaa puhtaat polttoaineet - Fingrid-Lehti \(fingridlehti.fi\)](https://www.fingrid-lehti.fi/ajankohtaista/suomen-paastojen-lasku-mahdollistaa-puhtaat-polttoaineet-fingrid-lehti)

Fingrid. (2024c). Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät. Haettu 27.10.2024 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-q3-2024-fingrid.pdf>

Gaur, N. (2018). Hands-on blockchain with hyperledger: Building decentralized applications with hyperledger fabric and composer (1st edition.). Packt Publishing

Hancher, L. & Hancher, L. (2022). Capacity mechanisms in the EU energy markets: Law, policy, and economics. Oxford University Press.

van Hoek, R., Fugate, B., Davletshin, M. & Waller, M.A. (2020). Integrating blockchain into supply chain management: a toolkit for practical implementation. Kogan Page [Skillsoft version]

Hänti, S. (2021). Asiakkaista ansaintaan: Asiakaskeskeinen liiketoimintamalli. Alma Talent.

Komission delegoitu asetus (EU) 2023/1184, 10.2.2023, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2018/2001 täydentämisestä ottamalla käyttöön unionin menetelmä, jossa vahvistetaan muuta kuin biologista alkuperää olevien uusiutuvien nestemäisten ja kaasumaisten liikenteen polttoaineiden tuotantoa koskevat yksityiskohtaiset säännöt <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1184&qid=1704969010792>

Laakso, A. (2016). Tulevaisuutta Tekemään. Haettu 18.11.2022 osoitteesta <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/07/N%C3%84KY-k%C3%A4sitteit%C3%A4-ja-metodeja.pdf>

Laki energian alkuperätakuista 1050/2021. Haettu 24.1.2023 osoitteesta <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20211050>

Lumme Energia (2023). Mikä on alkuperätakuu? Haettu 10.4.2023 osoitteesta <https://www.lumme-energia.fi/yriyksille/blogi/mika-on-alkuperatakuu>

Nemo Committee (2019). Euphemia Public Description – Single Price Coupling Algorithm. Haettu 12.2.2024 osoitteesta https://www.nemo-committee.eu/assets/files/190410_Euphemia%20Public%20Description%20version%20NEMO%20Committee.pdf

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. (2015). Kehittämistyön menetelmät: Uudenlaista osaamista liiketoimintaan (3.–4. painos.). Sanoma Pro Oy.

Orlov, A. (2017). Blockchain in the electricity market: Identification and analysis of business models. Master theses, Norwegian School of Economics & HEC Paris.

Osterwalder, A., Pigneur, Y., Clark, T., Smith, A. & Pijl, P. v. d. (2010). Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers. John Wiley & Sons.

Pahkala, T., Uimonen, H. & Väre, V. (2018). Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä; Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Valtioneuvosto <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-346-7>

Puusa, A., Juuti, P. & Aaltio, I. (2020). Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. Gaudeamus.

Sivill, L., Bröckl, M., Semkin, N., Ruismäki, A., Pilpola, H., Laukkanen, O., Lehtinen H., Takamäki S., Vasara P., Patronen J. & AFRY Management Consulting Oy. (2022). Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. Valtioneuvoston kanslia <http://www.urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-413-2>

SML 588/2013. Sähkömarkkinalaki. Haettu 9.4.2023 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>

Strategyzer. (2020). Canvas. Haettu 10.4.2023 osoitteesta <https://www.strategyzer.com/canvas>

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022). Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto ja energiastrategia. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0>

Työ- ja elinkeinoministeriö (2023). Kapasiteettimekanismit. Haettu 15.8.2024 osoitteesta https://tem.fi/documents/1410877/163667670/Kapasiteettimekanismit_TEM+30052023.pdf/adafb1b2-4bd8-185d-9e79-5e5276b2f872/Kapasiteettimekanismit_TEM+30052023.pdf?t=1685951733668

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2024). Miten luodaan kustannustehokas kapasiteettimekanismi? Haettu 10.10.2024 osoitteesta <https://wecfinland.fi/wp-content/uploads/2024/09/Tatu-Pahkala.pdf>

Työ- ja elinkeinoministeriö. (n.d.). Sähkömarkkinat. Haettu 9.4.2023 osoitteesta <https://tem.fi/sahkomarkkinat>

UPM Energy. (2023a). Haettu 2.1.2023 osoitteesta <https://www.upmenergy.com/fi/>

UPM Energy. (2023b). Sähköntuotanto. Haettu 2.1.2023 osoitteesta <https://www.upmenergy.com/fi/sahkontuotanto/>

VTT Energia. (1999). Energia Suomessa – Tekniikka, talous ja ympäristövai-
kutukset. Edita.

Vyas, N., Beije, A. & Krishnamachari, B. (2019). Blockchain and the supply chain: concepts, strategies and practical applications. Kogan Page [Skillsoft version].

LIITE 1: PESTE-ANALYYSIN TODENNÄKÖISYYDET

Polittiset tekijät	Taloudelliset tekijät	Sosiaaliset tekijät	Teknologiset tekijät	Ympäristötekijät
Suomen ilmastostrategian hiilidioksidipäästöjen nettonolla tavoite 2035.	Aggregaattoreiden ja akkujen lisääntymisen aiheuttaa kannibalisaatiota joustomarkkinoiden hinnoissa.	Kuluttajien ja sijoittajien ympäristötietoisuus ja huoli ilmastonmuutoksesta. Painostus yritysten ympäristövastuullisuuteen ja sitä kautta puhtaan sähkön käyttöön teollisessa tuotannossa.	Sääriippuvaisen tuotannon (aurinko- ja tuulivoima) lisääntyminen ja sitä kautta hintavolatiliiteetin ja äärihintojen lisääntyminen.	Suomen sähkönkulutus kasvaa datakeskusten, sähköistämisen ja esimerkiksi vedyn tuotannon kautta.
Euroopan unionin tavoite olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä johtaa tuki- ja lainsäädäntö mekanismeihin toteutettuun suureen määrään uutta tuuli- ja aurinkovoimaa sekä puhtaan vedyn tuotantoa.	Mahdollisen kapasiteettimarkkinamallin vaikutus sähkönhintoihin vielä epäselvä. Riippuen valitusta mallista vaikutus hintoihin ja sähkömarkkinoihin voi olla pieni tai todella merkittävä.	Hintavolatiliiteetti ja äärihinnat kasvavat, jolloin paine kuluttajilta päättäjiä kohtaan muuttaa sähkömarkkinoita kasvaa.	Elektrolysaattoriteknologian kehitys ja hintatason lasku.	Vedyn tarve lisääntyy Euroopassa ja Suomessa sähköpoltoaineiden tuotannon ja teollisuuden vähähiilisyystavoitteiden saavuttamiseksi.
Lainsäädäntö ja standardit vedyn tuotannolle ovat vielä kesken.	Lisääntyvä sähköntuotantokapasiteetti laskee sähkökeskihintoja hintoja ja sähköntuotannon kannattavuutta.	Kuluttajat näkevät ympäristömerkit sähköntuotannolle ja alkuperätakuut kuluttamalleen sähköille tai lopputuotteen tuotannossa kilpailuena.	Vetyvarastojen kehitys tulevaisuudessa. Jos varastointi helpottuu tai yleistyy, voi elektrolysaattori ja sähköntuotanto joustaa markkinoilla ilman sen vaikutusta lopputuotteen tuotantoon.	Norjan tavoite olla puhtaan vedyn tuottaja voi muuttaa heidän alkuperätakuiden nettotuojaksi eli ostajaksi esimerkiksi Ruotsista ja Suomesta.
Ydinvoiman hyväksyttävyyden sähköpoltoaineiden tuotannossa vasta keskustelussa Euroopassa.	Ruotsin suunnitelmalla lisätä suuret määrät ydinvoiman tuotantoa alueellaan voi vaikuttaa sähkönhintoihin pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla.		Vedyn siirtolinjat Suomessa ja Suomesta Keski-Eurooppaan.	Pohjois-Ruotsin sähkönkulutuksen lisääntyminen ja kääntyminen sähköntuotajaksi Suomesta.
Saksan ydinvoimavastaisuus, ei välttämättä poliittista hyväksyntää tulevaisuudessakaan ydinvoimalla tuotetulla sähköllä tehdyille puhtaalle vedylle.	Sääriippuvaisen tuotannon (aurinko- ja tuulivoima) lisääntyminen lisää hintavolatiliiteettiä ja äärihintoja.		Akkuteknologian kehitys ja akkuvarastojen yleistäminen.	Ilmastonmuutos etenee ja Golf-virta pysähtyy, jolloin Suomen keskilämpötila laskee ja sähköntuotanto uusiutuilla tuotantomuodoilla vaikeutuu.
Polittisen intervention riski suuri johtuen sähkömarkkinoiden suuresta hintavolatiliiteetistä. Keskusteluissa eritoten Euroopassa ovat esimerkiksi hintaleikkurit tai hintakatot sähkönhinnalle.	Yhteistuotantolaitosten kannattavuus jatkossa epävarmaa, mikä voi johtaa laitosten alasajoon ja joustavan tuotantokapasiteetin laskuun sähköntuotannossa.		Merituuvoiman lisääntyminen tulevaisuudessa.	
Mahdollinen kapasiteettimekanismi sähkömarkkinoille Suomeen ja Ruotsiin sähkön riittävyyden ja päästöttömän sähkön tuotannon varmistamiseksi kylminä ja tuulettomina ajanjaksoina.			Kuluttajien pienten kulutuskohteiden ja aurinkopaneelien tulo joustomarkkinoille esim. aggregaattoreiden kautta.	
Fossiilittoman jouston tukimekanismi Suomeen tasoittamaan hinnanvaihteluita ja tuomaan lisää päästöttömää joustoa sääriippuvan tuotannon lisääntymisen myötä. Työ- ja elinkeinoministeriön johtaman työryhmän selvitystyö käynnissä.			Teollisuuden laajamittainen sähköistämisen jatkuu. Jossain dokumenteissa on jopa nimetty tulevaisuus "sähkönaikakaudeksi".	
Kulutusjouston tulo sähkömarkkinoille laajassa mittakaavassa lainsäädännön tukemana.			Sähköpoltoaineiden tuotannon laajus lisää tarvetta alkuperätakuiden ja tuotannon tuntikohtaiselle korrelaatiolle viimeistään vuonna 2030.	
Euroopan unionissa halutaan lisätä kuluttajien tietoisuutta ja valinnanvaraa lainsäädännön kautta esimerkiksi tekemällä alkuperätakuut pakolliseksi kaikelle käytetylle sähkölle.			Digitalisaatio lisääntyy mutta epäselvää kuinka, mahdollisia ovat esimerkiksi alla olevat vaihtoehdot	
Energy Only -markkina häviää ja muuttuu enemmän keskusohjatuksi kapasiteettimarkkinaksi.			o Reservimarkkinoiden automatisointi lohkoketjuteknologian avulla.	
Tavoite yhteiseurooppalaisesta sähkömarkkinasta muuttuu kansalliseksi tai alueelliseksi nodaalimarkkinoiksi.			o Alkuperätakuiden ja tuotannon tunnin vastaavuus, mahdolliset lohkoketju tai muulla teknologialla toteutettavat kaupankäyntijärjestelmät.	
Venäjän sodan jatkuminen Ukrainassa. Maailman epävakaa tilanne jatkuu.			o IOE, internet of electricity -ratkaisut.	
Trumpin valinta USA:n presidentiksi vaikuttaa Euroopan ja Suomen talouteen kielteisesti				
Päästökauppa laajennetaan lainsäädännöllä koskemaan meri- ja lentoliikennettä, joka nostaa päästöoikeuksien hintaa. Tämä taas voi lisätä alkuperätakuiden sekä vähempipäästöisten polttoaineiden kysyntää.				

- o Vihreä = todennäisesti toteutuu
- o Keltainen = todennäköisyys toteutumiselle heikko
- o Punainen = todennäköisesti ei toteudu