



jamk

Keski-Suomi vetytalouden toimintaympäristönä

Petri Tuominen

Opinnäytetyö, ylempi AMK
Maaliskuu 2024
Tekniikan ala
Kestävä energia -tutkinto-ohjelma

Tuominen, Petri

Keski-Suomi vetytalouden toimintaympäristönä

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaliskuu 2024, 131 sivua

Tekniikan ala. Kestävä energia. Opinnäytetyö, ylempi AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Vetytalous on merkittävässä roolissa käynnissä olevassa energiamurroksessa. Vetytaloudesta tavoitellaan muodostuvaksi yhtä ilmastomuutoksen hillitsemisen osatekijää, muiden ratkaisuiden rinnalle. Suomessa vetytalouden investoinnit kohdentuivat pääosin länsirannikolle vahvan teollisuuden vaikutusalueille. Keski-Suomi oli jäänyt investointien osalta vaille sen ansaitsemaa huomiota. Opinnäytetyössä selvitetiin Keski-Suomen alueelta löytyviä vetytalouteen liittyviä tekijöitä ja millaisia arvoketjumahdollisuuksia näistä oli muodostettavissa alueellisen vetytalouden kehittymisen edistämiseksi. Lisäksi tavoitteena oli muodostaa kattava tietolähde kaikille vetytaloudesta kiinnostuneille tahoille hyödynnettäväksi.

Tutkimus tehtiin monimenetelmäisenä tutkimuksena hyödyntäen sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista tutkimusotetta. Tutkimusta edelsi laaja ja monipuolinen aineistokatsaus ilmiön kokonaiskuvan hahmottamiseksi. Tutkimuksen primääriaineisto koostui Keski-Suomen alueellisille toimijoille teetetyn lomakekyselyn tuottamasta aineistosta. Sekundäärisenä aineistona toimi opinnäytetyössä yhteistyötoimijana toimineen Keski-Suomen liiton teettämien teemahaastatteluiden aineistot.

Työn tuloksena muodostettiin tutkimusrajanuksen mukaisesti teknologian ja osaamisen sekä vedyn käytön SWOT-analyysit. Näiden perusteella koottiin arvoketjumahdollisuuksia vedyn liikennekäyttöön, vedyn jalosteisiin ja vetytalouteen liittyvään osaamiseen liittyen.

Tutkimuksen johtopäätöksenä voitiin todeta vetytaloudella olevan monia mahdollisuuksia Keski-Suomessa. Tutkimuksen tulokset ovat hyödynnettävissä alueellisen vetytalouden kehittämisen lisäksi kansallisen ja kansainvälisenkin kehityksen edistämässä. Vetytalouden mahdollisuuksia hyödyntääkseen eri toimijat voivat löytää toimintamahdollisuuksia muodostetuista arvoketjuista.

Tutkimus toi ilmi useita uusia sekä jatkotutkimusaiheita. Tutkimuksessa ilmeni merkittävää tarvetta yritys-toimijoille kohdentuvalle tietoisuuden ja osaamisen lisäämiselle. Jatkotutkimusaiheet liittyivät aiheen eri osa-alueisiin kohdentuviin tarkempiin selvityksiin.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi JAMK, yhteistyötoimijoina toimivat Elomatic Oy ja Keski-Suomen liitto.

Avainsanat (asiasanat)

Vety, vetytalous, vihreä siirtymä, lomakekysely, SWOT-analyysi, arvoketjut

Tuominen, Petri

Central Finland as an operating environment for the hydrogen economy

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, March 2024, 131 pages

Engineering and technology. Master's Degree Programme in Sustainable energy

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The hydrogen economy plays a significant role in the ongoing energy transition. The hydrogen economy aims to become one of the components of climate change mitigation, alongside other solutions. In Finland, investments in the hydrogen economy were mainly targeted at areas affected by strong industry on the west and south coasts. Central Finland had not received the attention it deserved in terms of investments. The Master's thesis investigated factors related to the hydrogen economy found in Central Finland and what kind of value chain opportunities could be formed from them to promote the development of the regional role in hydrogen economy. In addition, the target was to provide a comprehensive source of information for all parties interested in the hydrogen economy to use.

The study was conducted as a multi-method study, utilising both qualitative and quantitative research approaches. The study was preceded by an extensive and diverse data review to outline the overall picture of the phenomenon. The primary data of the study consisted of material produced by a survey commissioned for regional actors in Central Finland. The secondary material was material from thematic interviews commissioned by the Regional Council of Central Finland, which acted as a co-operative actor in the Master's thesis.

As a result of the work, SWOT analyzes of technology and know-how and hydrogen use were formed in accordance with the research scope. Based on these, a value chain of opportunities related to the transport use of hydrogen, hydrogen refined products and expertise related to the hydrogen economy was compiled.

The conclusion of the study was that the hydrogen economy has many opportunities in Central Finland. In addition to developing the regional hydrogen economy, the results of the study can be utilised in promoting national and international development. In order to exploit the opportunities offered by the hydrogen economy, different actors can find opportunities for action in the value chains that have been formed.

The study revealed up several new and further research topics. The study revealed a significant need for awareness and competence raising targeted at business actors. The topics for further research were related to more detailed studies focusing on different areas of the topic.

The client of the Master's thesis was JAMK, and the cooperation actors were Elomatic Oy and the Regional Council of Central Finland.

Keywords/tags (subjects)

Hydrogen, hydrogen economy, green transition, survey, SWOT analysis, value chains

Sisältö

Käsitteitä	4
1 Suuntana vetytalous	5
2 Tutkimusasetelma.....	7
3 Vetytalouden lähtökohdat	9
3.1 Energiamurros.....	9
3.2 Vety	12
3.2.1 Vedyn värimääritelmät	13
3.2.2 Vihreä eli uusiutuva vety	14
3.3 Vetytalous	15
3.4 Suomen suunta vetytaloudessa	18
4 Vedyn tuotanto ja käyttö	19
4.1 Vihreän vetytalouden yksinkertaistettu malli	19
4.2 Vedyn tuotanto	20
4.3 Vedyn potentiaalisimmat käyttökohteet	22
4.4 Vety liikenteen ja liikkumisen käytössä.....	24
4.4.1 Liikenne vedyn käytön ajurina	24
4.4.2 Vedyn käyttö maantieliikenteessä.....	24
4.4.3 Vedyn käyttö meri-, rautatie- ja lentoliikenteessä.....	30
4.5 Energian varastointi, P2X jatkojalosteet ja sivuvirrat.....	33
4.6 Terästeollisuus	38
4.7 Öljynjalostus.....	39
4.8 Muita käyttömahdollisuuksia ja innovaatioita	41
5 Vetytalouteen liittyvä teknologia ja osaaminen	42
5.1 Teknologian ja osaamisen tarpeellisuus.....	42
5.2 Teknologiaa Keski-Suomessa	44
5.3 Keski-Suomen koulutuksen ja osaamisen tarjonta.....	46
6 Arvoketjumalli arvon muodostamisessa.....	51
7 Kehittämistutkimuksen toteutus.....	55
7.1 Tutkimusmenetelmänä kehittämiss tutkimus	55
7.1.1 Kehittämiss tutkimus monimenetelmäisenä tutkimuksena	55
7.1.2 Tutkimusaineiston keruu	57
7.1.3 Tutkimusaineiston analysointi	60
7.2 Työn vaiheet.....	64

7.3	Tutkimusaineiston hankinta.....	65
7.3.1	Aineiston keruu.....	65
7.3.2	Aineiston keruu lomakekyselyillä	66
7.3.3	Aineiston keruu teemahaastatteluilla.....	69
7.4	Aineiston käsittely ja analysointi.....	69
7.4.1	Lomakekyselyn aineisto	69
7.4.2	Teemahaastatteluiden aineisto	70
7.4.3	SWOT-analyysit.....	70
7.5	Arvoketjujen muodostus.....	71
8	Tulokset	72
8.1	Keski-Suomen vetytalouteen liittyvät tekijät	72
8.1.1	Tulosten johtaminen lomakekyselyaineistosta.....	72
8.1.2	Tulosten johtaminen teemahaastattelu aineistosta	83
8.1.3	Teknologian ja osaamisen SWOT-analyysi.....	84
8.1.4	Vedyn käytön SWOT-analyysi	89
8.2	Keski-Suomen vetytalouden arvoketjumahdollisuudet	93
8.2.1	Vetyä hyödyntävä liikenne ja liikkuminen -arvoketju	93
8.2.2	Vedyn jalostus -arvoketju	94
8.2.3	Osaamisen -arvoketjut.....	96
8.2.4	Arvoketjujen summaus	99
9	Johtopäätökset ja pohdinta.....	100
9.1	Johtopäätökset ja jatkotutkimusaiheet.....	100
9.2	Luotettavuus ja eettisyys	103
9.3	Tutkimusprosessin pohdinta	105
	Lähteet.....	108
	Liitteet.....	121
	Liite 1. Lomakekyselyn saateposti.....	121
	Liite 2. Lomakekysely -lomake	122

Kuviot

Kuvio 1. Vedyn värimäärittely.....	13
Kuvio 2. Vedyn tuotantomäärät teknologioittain 2020-2022	16
Kuvio 3. Vihreän vetytalouden malli	20
Kuvio 4. Vedylle potentiaalisimmat käyttösektorit.....	23
Kuvio 5. Vedyn käyttömäärä ajoneuvoluokittain ja alueittain	26
Kuvio 6. Vetykäyttöisten ajoneuvojen määrä ja käyttöalueet	27
Kuvio 7. Suomen TEN-T liikenneverkoston ydinverkosto vuoteen 2030 mennessä ja kattava verkosto 2050 mennessä	29
Kuvio 8. Teräksen valmistus menetelmät	39
Kuvio 9. Ydin osat ja tukitoimet arvojen järjestelmänä	52
Kuvio 10. Suomalainen vetyarvoketju	54
Kuvio 11. SWOT-analyysi	63
Kuvio 12. SWOT-analyysin hyödyntäminen	63
Kuvio 13. Keski-Suomen vetytalouden arvoketjujen rakentuminen.....	71
Kuvio 14. Toimijoiden kiinnostuksen kohdentuminen vetytalouden osa-alueisiin.....	74
Kuvio 15. Toimijoiden ilmaisuista tunnistetut vahvuudet	76
Kuvio 16. Toimijoiden ilmaisuista tunnistetut heikkoudet	77
Kuvio 17. Toimijoiden ilmaisuista tunnistetut mahdollisuudet	78
Kuvio 18. Toimijoiden ilmaisuista tunnistetut uhat	79
Kuvio 19. Keski-Suomen vetytalouteen liittyvät teknologiaan ja osaamiseen kohdistuvat tekijät84	
Kuvio 20. Keski-Suomen vetytalouteen liittyvät vedyn käyttöön kohdistuvat tekijät.....	90
Kuvio 21. Vetyä hyödyntävä liikenne ja liikkuminen -arvoketju	93
Kuvio 22. Vedyn jalostus -arvoketju	95
Kuvio 23. Osaamisella vaikuttaminen -arvoketju.....	97
Kuvio 24. Osaamisella heikkouksista liiketoiminnaksi -arvoketju	98

Taulukot

Taulukko 1. Vetykäyttöiset henkilöautot Suomessa 30.9.2023	28
Taulukko 2. Opinnäytetyön vaiheistus.....	64
Taulukko 3. Vastaajien hyödyntämät tietolähteet.....	75
Taulukko 4. Alueellinen raaka-aineiden tuotanto, käyttö tai muu hyödyntäminen	81

Käsitteitä

- AEL.....Alkaline Electrolysis, alkalinen elektrolyysi
- ARVOKETJU...Kohteena olevan asian tai ilmiön lisäarvoa muodostava tekijöiden ketju
- C.....Hiili
- CH₃OH.....Metanoli
- CH₄.....Metaani
- CO₂.....Carbon dioxide, hiilidioksidi
- CO₂-ekv.....Hiilidioksidiekvivalentti, kasvihuonekaasujen yksikkö. Sisältäen hiilidioksidin, metaanin ja typpioksiduulin painokertoimineen. Painokerroin kertoo aineen vaikuttavuuden kasvihuoneilmiöön verrattuna hiilidioksidiin. Painokertoimet: Hiilidioksidi 1, metaani 25, typpioksiduuli 298 (Hiilidioksidiekvivalentti CO₂ekv n.d.).
- CCUS.....Carbon Capture, Utilisation and Storage, hiilidioksidin talteenotto, käyttö ja varastointi
- EU.....European Union, Euroopan Unioni
- H.....Vety
- H₂O.....Vesi
- IEA.....International Energy Agency, kansainvälinen energijärjestö
- IRENA.....International Renewable Energy Agency, Kansainvälinen uusiutuvan energian järjestö
- IPCC.....Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
- Mt.....Megatons, megatonni (unit, yksikkö)
- N.....Typpi
- NH₃.....Ammoniakki
- O.....Happi
- PEM.....Polymer Electrolyte Membrane tai Proton Exchange Membrane, polymeeri elektrolyysi
- RFNBO.....Renewable Fuels of Non-Biological Origin, muuta kuin biologista alkuperää oleva uusiutuva polttoaine
- SOEC.....Solid Oxide Electrolyzer Cell, vesihöyryelektrolyysi
- SWOT.....Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats. Strategiatyökalu
- VETYTALOUS..Energialoudellinen järjestelmä, joka toimii osatekijänä energiamurroksessa fossiilista ratkaisusta siirryttäessä vähähiilisiin ratkaisuihin

1 Suuntana vetytalous

Vetytalous on noussut käynnissä olevan energiamurroksen, vähähiilisuuden tavoittelun ja kiertotalouden myötä merkittäväksi tulevaisuuden energiaratkaisuiden osatekijäksi. Vedyn ja vetytalouden mahdollisuuksia energiasektorilla ei vielä kokonaisuudessaan tunneta, mutta niistä tiedostetaan olevan merkittävää hyötyä hiilineutraaliuden edistämässä ja siten ilmastonmuutoksen hillitsemisessä (Climate Chance 2023..., 105). Vetytalous valikoitui opinnäytetyön aiheeksi ajankohtaisuuden, uutuusarvon, suuren mahdollistavuuden sekä haastavuuden myötä.

Tänä päivänä vedystä ja vetytaloudesta puhuttaessa viitataan lähtökohtaisesti vihreän eli uusiutuvan ja päästöttömän vedyn hyödyntämiseen ja sen mahdollisuuksiin. Tässä opinnäytetyössä termillä ”vety” tarkoitetaan lähtökohtaisesti vihreää vetyä. Käsiteltäessä tai sivuttaessa muita vedyn värimäärittelyjen mukaisia vetyjä kuten sinistä tai harmaata vetyä, se ilmastaan erikseen asian käsittelyn yhteydessä.

Vety alkuaineena on tunnettu jo pitkään ja sitä hyödynnetään esimerkiksi teollisuudessa. Vetytaloustoiminnan tähdätessä ilmastonmuutoksen rajoittamiseen, sen mahdollisuudet ja merkitys korostuvat luonnollisesti tulevaisuutta ajatellen. Siitä kuinka nopeasti ja minkälaisia muutoksia vetytalous tulee tuottamaan on tehty erilaisia skenaarioita ja tutkimuksia. Kuitenkin vasta ajan myötä tapahtuvien konkreettisten toimien ja kehityksen myötä selviää sen todellinen potentiaali. Vetytalouden edistymistä määritetään tyypillisesti investointien perusteella.

Suomeen kaavailut vetytalouden investoinnit ovat keskittyneet enimmäkseen Suomen rannikkoalueille vahvan muun teollisuuden vaikutusalueelle (Suomen vihreät investoinnit 2023). Keski-Suomeen kohdistuneet investointiaikeet ovat vähissä, vaikei sen nähty eroavan alueena rannikkoseuduista muutoin, kuin meren ja siten satamien eli meriliikenneyhteyksien puuttumisella ja vähemmällä raskaan teollisuuden määrällä. Tämä ja investointien Keski-Suomeen saamisen yleinen halu muodostivat tarpeen selvittää, mitä vetytalouteen liittyviä tekijöitä ja mahdollisuuksia Keski-Suomessa on ja millaisia arvoketjumahdollisuuksia niistä olisi muodostettavissa.

Vetytalouden kokonaisuuden laajuus huomioiden oli selvää, että tutkimuksen laajuutta oli rajattava merkittävästi. Tutkimusalue rajattiin kattamaan vedyn käyttö sekä vetyyn liittyvä teknologia

ja osaaminen. Nämä nähtiin ennen tutkimusta Keski-Suomen maakunnan alueen kannalta merkittävimpinä mahdollisuuksia tuottavina osa-alueina. Vedyn tuotanto käsiteltiin tietoperustassa sen merkityksellisyyden vuoksi, mutta sen käsittely jätettiin itse tutkimuksen osuudessa vähäiselle.

Tutkimuksella selvitettiin vastaukset kahteen tutkimuskysymykseen, jotka olivat 1. Mitä tekijöitä Keski-Suomen vetytalouteen liittyy? ja 2. Millaisia arvoketjumahdollisuuksia Keski-Suomen vetytaloustekijöistä voidaan muodostaa?. Tutkimus tehtiin kehittämistutkimuksena hyödyntäen pääosin laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen keinoja, joita tuettiin määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen keinoin. Tutkimuksessa toteutettiin Keski-Suomen alueellisille toimijoille suunnattu lomakekysely, jota täydennettiin Keski-Suomen liiton toteuttamien teemahaastatteluiden aineistoilla. Aineistot koostettiin ja analysoitiin huolellisesti ja niistä muodostettiin kokonaiskuva SWOT-analysein, joiden perusteella muodostettiin arvoketjumahdollisuuksia.

Tutkimus on tärkeässä roolissa Keski-Suomen alueellisen vetytalouden kehittämisen edistämässä. Tutkimuksella tuotiin esiin alueellisia tekijöitä ja mahdollisuuksia, joita voidaan hyödyntää sekä uuden liiketoiminnan muodostamisessa, että vähähiilisyden tavoittelussa. Opinnäytetyö kokonaisuudessaan luo tietoisuutta, lähtökohtia ja mahdollisuuksia vetytalouden ja sen edistämisen parissa. Tutkimuksen tulokset sekä lisä- ja jatkotutkimusaiheet voivat nopeastikin työllistää eri toimijoita aiheen parissa tehtävien toimien kuten investointien ja uusien rakenteiden muodostamisen myötä. Tätä tukee tieto, että Suomen vetyklusterin tuottamassa Suomen vihreän vedyn strategiassa viitatus Guidehousen analyysiraportin mukaan, vetytalouden on arvioitu tuovan Suomeen vähintään 60 000 uutta työpaikkaa vuoteen 2035 mennessä (Clean hydrogen economy... 2023, 6). Näistä uusista työpaikoista osan voi olla mahdollista sijoittua Keski-Suomeen, huomioiden tutkimuksessa ilmi tulleet alueellisten toimijoiden mahdollisuudet.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulu, JAMK. Yhteistyö- ja tukitoimijoina toimivat JAMKin lisäksi asiantuntijaorganisaatio Elomatic Oy ja Keski-Suomen liitto. Sekä toimeksiantaja, että yhteistyötoimijat olivat aktiivisesti mukana ohjausryhmämallisenä toteutuksessa opinnäytetyöprosessin ohjauksessa.

2 Tutkimusasetelma

Vetytaloutta voidaan kuvata ilmiönä ja trendinä, sillä siitä puhutaan ja kirjoitetaan tällä hetkellä paljon ja useassa lähteessä. Pelkästään Ylen verkkosivuilta löytyi 2.1.2024 suoritetulla haulla 52 suomenkielistä artikkelia vuodelta 2023 hakusanalla ”vetytalous” (Yle, artikkelihaku 2024). Uutiskynnyksen ylittäneitä tapauksia ja toimia on siis määrällisesti paljon esillä, mikä kertoo osaltaan asian ajankohtaisuudesta. Vetytalous on muodostunut trendiksi, josta jokainen alan toimija oletustusti mielellään tavoittelee hyötyä.

Vetytalouteen liittyen tehdään paljon laaja-alaisia tutkimuksia ja selvityksiä sekä eri koulutusasteiden opinnäyte- ja diplomitöitä. Simo Matikainen teki 2021 Jyväskylän ammattikorkeakoulun toimeksiantona AMK opinnäytetyön otsikolla Vedyn käyttö energijärjestelmissä. Työssään Matikainen käsitteli kattavasti vedyn valmistuksen ja varastoinnin teknologioita. Matikaisen työn jälkeen 2023 Lauri Kirjavainen teki Jyväskylän ammattikorkeakoulun toimeksiantona AMK opinnäytetyön otsikolla Vedyn tuotanto ja käyttö teollisuudessa. Työssään Kirjavainen raportoi vedyn tuotannosta, käytöstä sekä toiminnan maantieteellisestä sijoittumisesta. (Matikainen 2021; Kirjavainen 2023.) Muun muassa näiden tutkimusten keskittyessä vedyn tuotantotapoihin ja potentiaalsiin maantieteellisiin alueisiin, rajattiin niiden käsittely tämän tutkimuksen ulkopuolelle ja tämä tutkimus tehtiin niiden jatkoksi Jyväskylän ammattikorkeakoulun toimeksiannosta.

Tämän opinnäytetyön tietoperusta koostuu energiamurroksen, vedyn, vetytalouden eri osa-alueiden sekä arvoketjuajattelun perusteista. Energiamurros ja sen merkitys on avattu perusteiden tasolla kokonaisuuden ja asian tärkeyden ymmärtämisen vuoksi. Vedystä itsestään on avattu sen ominaisuudet ja vedyn värit. Vetytalouden osalta tietoperustassa käsitellään vedyn tuotannon, käytön, teknologian ja osaamisen perusteet. Näiden valinta vetytalouden tietoperustan rajaukseen liittyy niiden Keski-Suomen maantieteelliseen sidonnaisuuteen. Lisäksi niillä on merkityksellisyys juuri Keski-Suomen osalta ennalta yleisesti tiedettyjen tekijöiden kuten vahvan teollisuuden ja korkean koulutustason perusteella. Ymmärtämällä edellä mainittujen tekijöiden merkityksen ja vaikutuksen vetytaloudelle, voi asiaa tarkastella perustellummin ja kohdennetummin Keski-Suomen näkökulmasta. Muita vetytalouden asiayhteyksiä kuten talous, juridiikka tai infran rakentaminen jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Nämä aiheet ovat merkittävässä roolissa toimivan vetytalouden näkökulmasta, mutta niiden sidonnaisuus maantieteellisesti Keski-Suomeen ei ole välttämätöntä eikä infran merkitys tavoiteltavien arvoketjumahdollisuuksien kannalta ole ensisijaista.

Varsinaisen toteutetun tutkimuksen osuuteen aihetta rajattiin tietoperustan rajausta tarkemmaksi ja laajuudeltaan pienemmäksi. Tutkimus rajattiin Keski-Suomen alueelliseen vedyn käyttöön, teknologiaan ja osaamiseen liittyviin tekijöihin. Vedyn tuotantoa sivuttiin tutkimuksessa kokonaisuu- den paremman ymmärtämisen vuoksi, mutta siihen liittyvien tekijöiden tutkiminen rajattiin vä- häiseksi. Rajaaminen perustui siihen, että Keski-Suomeen ei ollut rajauksen määrittämisen aikaan julkisesti suunnitteilla vedyn tuotantoa, jolloin sen todellinen hyödyntäminen olisi ajallisesti mah- dollista vasta pitkän ajan kuluttua. Keski-Suomella nähtiin olevan oletettavasti paremmat mahdol- lisuudet muiden osa-alueiden parissa, jolloin niihin panostaminen tuotannon kustannuksella oli perusteltua.

Keski-Suomen maakunnan aluerajausta vetytaloustoiminnan toimintaympäristöksi ei ole perus- teltu tutkimuksellisesti. Rajauksen perustelut määrittivät oletukseen riittävän laajasta ja toisaalta riittävän pienestä maantieteellisestä alueesta. Alueelta tiedetään löytyvän vetytaloustoiminnalle oleellisia tekijöitä kuten uusiutuvan sähköenergian tuotantoa, teollisuutta, kaukolämpöverkostoa ja korkeaa koulutustasoa. Keski-Suomeen ei ollut tutkimuksen teon aikana julkisesti kaavailtu ve- tyyn liittyviä investointeja, selvisi Elinkeinoelämän keskusliiton vihreiden investointien dataikkuna - palvelusta (Suomen vihreät investoinnit 2023). Poikkeuksena tähän oli Vireon Hydrogen yhtiön Jy- väskylään kaavailema vedyn liikenteelle suunnattu tankkausasema, joka on tarkoitus ottaa käyt- töön 2025 (Mainio 2023). Näiden lisäksi alueella tiedostetaan sijaitsevan teknologiaa ja osaamista tarjoavia palveluita.

Käytännön ongelma ja tutkimusongelma

Vetytaloutta eivät kuitenkaan määritä pelkät vetytalouden investoinnit, vaan siihen liittyy valta- vasti muitakin tekijöitä ja toiminta sektoreita. Niin investoinneille, kuin muiden vetytalouteen liit- tyvien tekijöiden kehittymiseen ja muotoutumiseen Keski-Suomeen oli havaittu vaikuttavan se käytännön ongelma, että Keski-Suomen vetytalousmahdollisuuksia ei tunnettu laajasti. Näin ollen todettiin tutkimusongelman olevan se, että vetytalouden mahdollisuuksia ei ollut kartoitettu Keski-Suomen osalta.

Tutkimuskysymykset ja tavoite

Tutkimusongelman ratkaisemiseksi muotoiltiin kaksi tutkimuskysymystä. Ensimmäiseen kysymykseen ”Mitä tekijöitä Keski-Suomen vetytalouteen liittyy?” vastaamalla oli tavoite kartoittaa ja tehdä tunnetuksi niitä tekijöitä, joita Keski-Suomesta vetytalouteen liittyen jo löytyy tai on kehitteillä. Toiseen kysymykseen ”Millaisia arvoketjumahdollisuuksia Keski-Suomen vetytaloustekijöistä voidaan muodostaa?” vastaamalla oli tavoite löytää Keski-Suomen vetytaloutta edistäviä, kehittäviä ja arvoa tuottavia arvoketjuja, jotka tuovat ilmi vetytalouden mahdollisuuksia. Näistä arvoketjumahdollisuuksista tiedottamalla, niitä esittelemällä ja jatkojalostamalla nähtiin Keski-Suomella olevan paremmat mahdollisuudet edetä ja kehittyä vetytalouden toimintaympäristönä.

Alueellisia vetytalouden tekijöitä ja muodostuvia arvoketjumahdollisuuksia arvioitiin olevan mahdollista hyödyntää jatkossa Keski-Suomen lisäksi soveltaen myös muilla alueilla lähtökohtina ja tietoperustana. Lisäksi tutkimuksen tuloksista, erityisesti arvoketjumahdollisuuksista arvioitiin olevan mahdollisuus toteuttaa lisäarvoa tuottavia jatkotutkimuksia. Konkreettisenä lopputuloksena arvioitiin saavutettavan käytännössä analysoitu listaus alueellisista vetytalouden tekijöistä ja arvoketjumahdollisuuksista perusteluineen. Näiden lisäksi laajan aineistokatsauksen ja työn kokonaisuuden nähtiin toimivan tietolähteenä muille vetytaloudesta kiinnostuneille ja työn kokonaisuuden olevan hyödyksi vastaavia tutkimuksia tai selvityksiä tekeville tahoille.

3 Vetytalouden lähtökohdat

3.1 Energiamurros

Energiamurros toimii vetytalouden voimakkaana ajurina. Energiamurrosta ohjaavat ilmastonsuojelamista varten luodut sopimukset ja ohjelmat. Merkittävimpiä näistä ovat Pariisin ilmastopimus vuodelta 2015, EU:n 2019 käynnistämä Green Deal kehitysohjelma ja sille jatkumona Eurooppalaisessa ilmastolaissa EU:n ilmastotavoitteesta tehty oikeudellinen velvoite nimellä Fit For 55 eli 55-valmiuspaketti. (Sivill, Bröckl, Semkin, Ruismäki, Pilpola, Laukkanen, Lehtinen, Takamäki, Vasara & Patronen 2022, 19; 55-valmiuspaketti 2023.) Pariisin ilmastopimuksen tavoitteena on pitää ilmaston lämpeneminen enintään 2 °C:ssa verrattuna esiteolliseen aikaan ja edistää lämpötilan laskun pysymistä alle 1,5 °C:ssa verrattuna esiteollistumista edeltävään aikaan, ilmastomuutoksen aiheuttamien riskien vuoksi (Paris Agreement 2015, Article 2).

EU:n ajallinen hiilineutraalisuustavoite perustuu Green Deal -sopimukseen, joka tähtää hiilineutraaliuteen vuoteen 2050 mennessä (COM(2019) 640 Final 2019, 2). Fit for 55 -ohjelma saavuttaa sen tavoitteesta, joka on vähentää kasvihuonekaasujen nettopäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä. Paketin on määrä saattaa EU:n lainsäädäntö tavoitteen mukaiseksi. (55-valmiuspaketti 2023.) Ilmaston muutoksen vastaiset vahvat poliittiset toimet voidaan näin ollen todeta antavat mahdollisuuksia ja tukea vetytalouden kehittymiselle ja vaikuttavuuden laajentumiselle. Oleellista on, että energiamurroksen perusteet, lähtökohdat ja tavoitteet on tiedostettava, jotta sitä voidaan edistää erilaisilla osatekijöillä kuten vetytaloudella.

Valtioneuvoston julkaisemassa selvityksessä energiamurrosta kuvataan koko energiasektorin uudelleen rakentumiseksi eritoten uusiutuvan energian käytön osalta. Koko yhteiskunnan energiaraakenne on uudistumassa, mistä kertoo merkittävä kehitys jo yleisessä asenteessa ja mielipiteissä. Poliittinen ohjaus, lainsäädäntö ja eri tasoiset virkakoneistot ovat kehittäneet toimintaansa kuluttajien ja markkinoiden mukana. Teknisessä kehityksessä ollaan jo päästy kokonaisuuksia kattaviin ratkaisuihin. Yleistä kehitystä ovat edesauttaneet ajantasainen kansainvälinen poliittinen ohjaus ja energiasektorilla käytettyjen fossiilisten polttoaineiden aiheuttamien hiilidioksidikuormien negatiiviset ilmastolliset vaikutukset. Energiamurroksen kehitys on edennyt uusien teknologioiden käyttöönoton vaikutuksesta erityisesti uusiutuvien energioiden tuotannossa, mikä on osaltaan parantanut niiden kannattavuutta. Uusia teknologioita ja ratkaisuja kehitetään jatkuvasti, mikä myötä vaikuttaa osaltaan energiasektorin jatkuvaan kehitykseen. (Peura, Hiltunen, Haapanen, Auvinen, Soukka, Törmä, Kujala, Pohjola, Mäkiranta, Välisuo, Grönman, Kumar, Rasi, Lehtonen & Anttila 2017, 7.)

Energiamurrokseen liittyy oleellisesti haasteita, joiden taustalla on myös luonnollisia tekijöitä kuten suurten toimijoiden liiketoiminnan suojaamiseen liittyvät reaktiot. Uusiutuvien energioiden teknologioiden käyttöönotto on haasteellista erityisesti infrastruktuurin muutosta vaativilla osa-alueilla, joilla liiketoiminta on kannattavaa jo vanhan käytössä olevan teknologian mahdollistamana. Oman haasteensa energiamurroksen etenemiseen luo vaikutusten laaja-alaisuus sen kossuissa käytännössä ihan jokaista energian hyödyntäjää. Uusiutuvien ja fossiilisten energiamuotojen kilpailun tasapuolisuutta syövä erityisesti julkinen tuki, jota ohjautuu globaalisti uusiutuvien energioiden tukemiseen verrattuna yli kymmenkertainen määrä fossiilisten energioiden arvoketjujen tukemiseen. Tuki ei tarkoita pelkästään rahoitusta, vaan muun muassa verotuksellisia tekijöitä.

Huomionarvoista on, että ilman mitään tukitoimia, huomioiden aiheutuvat ympäristö- ja terveys-haittavaikutukset, olisi uusiutuva energia edullisin energian muoto. (Peura ym. 2017 7-8.)

Energiamurroksessa on kyse kilpailusta ilmastonmuutosta vastaan. Energian tuotannolla ja kuluksella on merkittävä vaikutus maapallon lämpenemisen pysäyttämiseen. Ilmastonmuutosta vauhdittavat maailmanlaajuiset hiilidioksidipäästöt kertyvät enimmäkseen neljästä päätekijästä, joista väestön kasvu ja talouskasvu kasvattavat tuotettavan ja käytettävän energian määrää. Energiamurroksen vaikutuspiiriin kuuluvat myös kaksi jälkimmäistä tekijää eli asukaskohtainen energiankulutus ja jokaista tuotettua energiayksikköä kohden syntyneet hiilidioksidipäästöt. Merkittävän maapallon lämpenemisen pysäyttämisen haasteesta tekee se, että ensimmäiset kaksi päätekijää lisäävät energian kokonaistarvetta. (Mikä ihmeen energiamurros? N.d..)

Energiamurros ei kuitenkaan tarkoita pelkkää uusiutuvaan energiaan siirtymistä, vaan kokonaisjärjestelmää, jossa energian eri muotoja käsitellään ja hyödynnetään teknologisten ratkaisuiden avulla tehokkaasti. Eri energia-alalla toimivien sektoreiden välistä yhteistyötä kutsutaan sektori-integraatioksi, mikä korostuu erityisesti uusiutuvan sähkön tuotannon vaihtelun vuoksi. Näin ollen uusiutuvan sähkön tuotanto on kuitenkin yksi merkityksellisin osa energiajärjestelmää ja energiamurrosta. (Uusi energiajärjestelmä n.d..) Näistä tekijöistä voidaan helposti havaita energiamurroksen laaja-alaisuus ja merkityksellisyys jo lähitulevaisuuden kehityksen kannalta.

Vetytaloutta edistää osaltaan Fit For 55 paketti (Ks. edellä), joka koostuu useista EU:n politiikkaa tarkistavista ja päivittävästä osa-kokonaisuuksista. Yksi näistä on Euroopan neuvoston 28.3.2023 vahvistama vedyn ja hiilettömän kaasun markkinoiden lainsäädäntöpaketti. (55-valmiuspaketti 2023.) Kaasupaketti koostuu ehdotuksista uusiutuvien kaasujen, maakaasujen ja vedyn sisämarkkinasäännöt vahvistavista asetuksesta ja direktiivistä. Ehdotuksissa on nostettu esiin erityisesti vetytaloutta koskettavat vetyinfrastruktuurilliset ja -markkinaan liittyvät toimet. Kaasupaketin asetus ehdotuksella on tavoitteena muun muassa helpottaa vedyn käyttöönottoa EU:n kaasumarkkinoilla. Asetuksen myötä on tarkoitus perustaa valtion rajat ylittävää vetyinfrastruktuuria ja muun muassa teknisiä sääntöjä edistävä ja ylläpitävä vetyverkonhaltijoiden eurooppalainen verkosto ENNOH (European Network of Network Operators for Hydrogen). Direktiiviehdotuksen vaikutus vetytalouteen liittyy vetyverkkojen lisäämisenä kaasuverkkojen periaatteiden piiriin. (Kaasupaketti: jäsenmaat määrittivät... 2023; Commission proposes new... 2021.)

Edellä esitetyt sopimukset ja ohjelmat koskettavat luonnollisesti myös Suomea. Suomen ilmastotavoitteet on päivitetty ilmastolain uudistuksessa, joka astui voimaan 1.7.2022 ja siinä asetetaan kunnianhimoiset päästövähennystavoitteet sekä hiilineutraalisuustavoite. Suomen päästövähennystavoitteet verrataan vuoden 1990 tasoon ja tavoitteet on asetettu tulevien vuosikymmenten vaihteille. Tavoitteena vuoteen 2030 mennessä vähentää päästöjä 60 %, 2040 mennessä 80 % ja 2050 mennessä 90 %, kuitenkin tavoitellen 95 % päästövähennystä. Laki edellyttää Suomen hiilineutraaliuden jo vuoteen 2035 mennessä. (Ilmastolaki 423/2022, 2 §.)

3.2 Vety

Vety on yhden atomin sisältävä alkuaine, jonka kemiallinen merkki on H, ja se on jaksollisen järjestelmässä järjestysnumerolla 1. Vedyn ollessa kaasun muodossa, se koostuu kahdesta vetyatomista jolloin sen molekyylikaava on H_2 . Vety on kaasuista kevyin, ja se on väritön, hajuton, mauton sekä myrkytön. Vetykaasu syttyy erittäin helposti ja sen itsesyttymislämpötila on $560\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vety ei ole sellaisenaan terveydelle haitallista, mutta suurina pitoisuuksina se syrjäyttää hapen. (Vety 2022.)

Maailmankaikkeuden kaikesta massasta 75 % on vetyä ja kaikista maailman atomeista 90 % on vetyatomeja (Facts about hydrogen n.d.). Vetyä ei esiinny ympäristössä sellaisenaan, vaan se on aina sitoutuneena johonkin muuhun aineeseen. Tyypillisiä ja yleisimpiä vedyn sidoksia muodostuu hapen (O) kanssa muodostaen vettä eli H_2O , hiileen (C) muodostaen metaania CH_4 tai typpeen (N) muodostaen ammoniakkia NH_3 . Näin ollen vety on aina irrotettava muista aineista sen käyttöön saattamiseksi. Sidosten purkamiseen kuluu luonnollisesti energiaa ja purkamisesta aiheutuu sivuvirtoina esimerkiksi mainittuja happea, hiiltä tai typpeä, joista ilmastollisesti kuormittavin on hiili. Vety ei siis itsenäisenä ole varsinainen polttoaine tai energialähde, vaan energian kantaja, jonka avulla energiaa voidaan varastoida ja vapauttaa sitä tarpeen tullen. (Portillo 2022.)

3.2.1 Vedyn värimääritelmät

Tässä opinnäytetyössä vedystä puhuttaessa tarkoitetaan lähtökohtaisesti vihreää vetyä ja muista väreistä puhuttaessa tai niitä tarkoittaessa ilmaistaan vedyn alkuperä. Vedyn värillä ilmaistaan sen tuotannon muoto ja vaikutus kasvihuonekaasupäästöjen määrään, vaikka vety aineena on tuotantomuodosta huolimatta väritöntä. Global Energy Infrastructure (GEI) tuottamassa kuviossa 1 jaetaan vedyn värit tuotantomuodon mukaan vihreästä mustaan, ilmaistaan käytetty teknologia, energialähde ja aiheutuva kasvihuonekaasupäästöjen kokoluokka. (Hydrogen - data telling a story 2021.)

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

*GHG footprint given as a general guide but it is accepted that each category can be higher in some cases.

Kuvio 1. Vedyn värimäärittely (Hydrogen - data telling a story 2021).

Kuviossa jaetaan vedyt alkuperän mukaan tuotetuiksi sähköllä tai fossiilisilla polttoaineilla. Sähköllä tuotettujen vedyn värit ovat vihreä, purppura/pinkki ja keltainen ja ne tuotetaan elektrolyysitekniikoilla, jolloin niiden kasvihuonekaasupäästöt ovat maltillisia. Vihreän vedyn tuotantoon käytettävä sähkö on peräisin uusiutuvista tuotantomuodoista, jolloin sen kasvihuonekaasupäästöt ovat pienimmät mahdolliset. Fossiilisista lähteistä tuotettavat vedyt ovat kasvihuonekaasujen määrän suhteen nousevassa järjestyksessä väreiltään sininen, turkoosi, harmaa, ruskea ja musta.

Näistä sininen, turkoosi ja harmaa ovat tuotettu reformointi, kaasutus ja pyrolyysitekniikoilla lähtökohtaisesti kaasuista, joista yleisin on maakaasu. Sinisen ja harmaan vedyn ero liittyy hiilidioksidin käsittelyyn tuotantoprosesseissa. Kaasusta vetyä tuottaessa hiilidioksidin päästäminen ilmaan tekee vedystä väriltään harmaata ja CCUS (Carbon capture, utilisation and storage) -tekniikalla talteen ottamalla hiilidioksidia, vedyn väri on sininen. Merkittävimmät määrät kasvihuonekaasuja tuottavat ruskea ja musta vety, jotka tuotetaan kaasuttamalla hiiltä hallitsematta hiilidioksidin päästämistä ilmakehään. (Hydrogen - data telling a story 2021.)

3.2.2 Vihreä eli uusiutuva vety

Euroopan komissio määrittelee uusiutuvan vedyn yksityiskohtaisin säännöin delegoiduissa asetuksissa (EU) 2023/1184 ja (EU) 2023/1185. Asetuksissa määritetyillä säännöillä varmistetaan, että uusiutuva vety on tuotettu uusiutuvilla energialähteillä ja sillä saavutetaan 70 % kasvihuonepäästöjen vähennystavoite verrattuna fossiilisesti tuotettuun vetyyn (Hydrogen delegated acts 2023). Asetuksen mukaan esimerkiksi vedyn tuotantoon käytettävä sähkö on oltava peräisin uusista uusiutuvan sähkön tuotantolaitoksista. Uudella tarkoitetaan tässä enintään 36 kuukautta ennen vedyn tuotantolaitoksen käynnistymistä käynnistynyttä sähkön tuotannon laitosta. Tällä estetään jo olemassa olevan uusiutuvan sähköntuotannon ohjaamista kustannus- tai muista syistä pois nykyisestä käytöstään, jolloin sen tarvitsema sähkö saatettaisiin korvata fossiilisesta alkuperästä olevalla sähköllä.

Uusiutuvan vedyn määritelmän vuoksi vedyn tuottajalta edellytetään sähkönhankintasopimusta uuden uusiutuvan sähkön tuottajan kanssa. Vedyn vihreyden takaamiseksi on useita seikkaperäisiä määrittelyjä kuten että vedyn tuotantoon käytettävä sähkö on oltava tuotettu saman kalenterikauden aikana, kuin jona kyseinen vety tuotetaan. Riippumatta, tuotetaanko uusiutuva vety Euroopan unionin alueella vai sen ulkopuolella, asetuksen sääntöjä olisi sovellettava. (Commission delegated regulation (EU) 2023/1184, 11-13.)

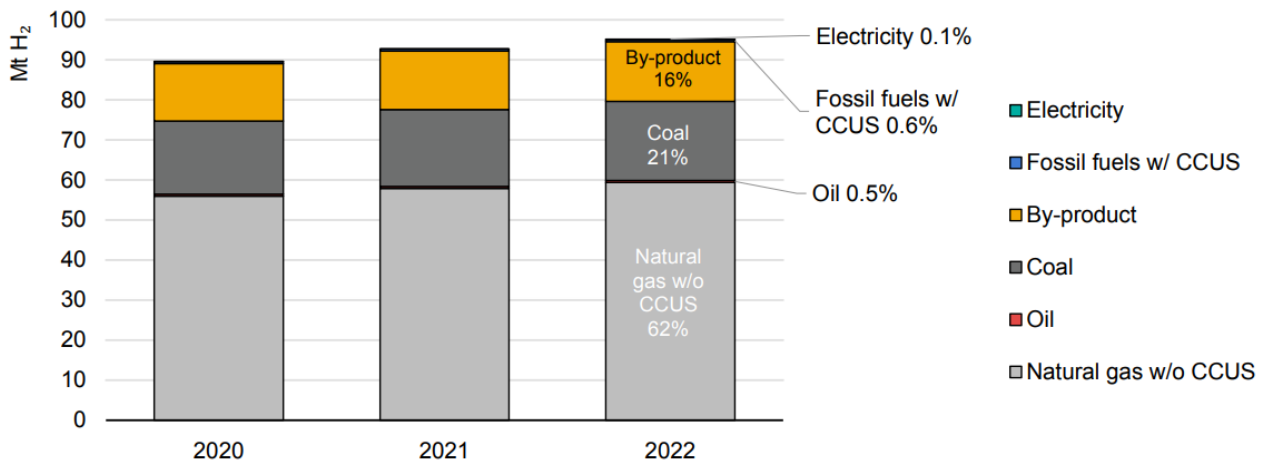
Euroopan unionin priorisoituna tavoitteena on kehittää vihreään eli uusiutuvaan vetyyn liittyvää toimintaa sekä vuoteen 2030 mennessä EU:n alueella tuottaa uusiutuvaa vetyä 10 miljoonaa tonnia ja alueella käytettäväksi tuoda ulkopuolelta 10 miljoonaa tonnia uusiutuvaa vetyä. Elektrolyysiprosessilla vedestä tuotettu uusiutuva vety määritellään olevan renewable fuels of non-biological origin (RFNBO) eli muuta, kuin biologista alkuperää oleva uusiutuva polttoaine. (Hydrogen n.d..)

3.3 Vetytalous

Vetytalouden laajuuden vuoksi sen yksiselitteinen määrittely on hankalaa. Huomioitavaa on, että nykyään vetytaloudesta puhuttaessa tarkoitetaan lähtökohtaisesti vihreän tai erittäin vähäpäästöisen vedyn mahdollistamaa toimintaa. Sivill ja muut (2022, 14) määrittelevät Vetytalous -mahdollisuudet ja rajoitteet -julkaisussa vetytalouden olevan ”Talousjärjestelmä, jossa fossiilisista energianlähteistä tai raaka-aineista siirrytään puhtailla tai vähähiilillä energianlähteillä tuotettuun vetyyn energiantantajana tai raaka-aineena”.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change:n raportissa Climate Change 2023 Synthesis Report (2023, 105) esitetään puhtaan tai vähähiilisen vedyn ja sen jatkojalosteiden kuten ammoniakin ja sähköpolttoaineiden olevan vaikeasti sähköistettävien teollisuuden ja raskaan tie-, meri- ja lentoliikenteen kannalta keino alentaa ilmaston lämpenemistä aiheuttavien päästöjen muodostumista. Siirtyminen vedyn ja sen jalosteiden käyttöön vaatii kuitenkin kehitystä ja kustannuksia toteutuakseen. Alentaminen edistää Pariisin ilmastopimuksessa asetettuihin ilmaston lämpenemiseen liittyvien tavoitteiden saavuttamista. Tätä ilmastopimuksen tavoitteisiin tähtäävää toimintaa käsitellään myös Sivill ja muiden (2022, 106) selvityksessä, jossa todetaan teollisuuden hiilestä irtautumisen eli dekarbonisaation olevan ylivoimaisesti suurin vedyn käyttökohde Euroopassa vetytalouden alkuvaiheessa.

International Energy Agency (IEA) 2023 tekemän vetyä käsittelevän raportin mukaan vedyn tuotantomäärä on kasvanut 3 % 2021 vuodesta vuoteen 2022. Kuviossa 2 esitetään vuosien 2020-2022 vedyn maailmanlaajuiset tuotannon määrät teknologioittain. 2022 95 Mt (megatonni) vedyn tuotantomäärästä 62 % tuotettiin maakaasusta, 21 % hiilestä, 16 % muodostui sivutuotteena ja loput öljy- ja sähköperusteisia lähteitä hyödyntäen (Global Hydrogen Review... 2023, 64).



IEA. CC BY 4.0.

Note: CCUS= carbon capture, utilisation and storage.

Kuvio 2. Vedyn tuotantomäärät teknologioittain 2020-2022 (Global Hydrogen Review... 2023, 64).

Vetyä, joka ei ole tuotantomääritelmältään vihreää, käsitellään ja hyödynnetään maailmalla valtavia määriä pääosin öljynjalostuksessa ja ammoniakkin tuotannossa. Näin ollen vety aineena ja sen käsittely tunnetaan ja hallitaan jo. (Sivill ym. 2022, 20.) Tästä voidaan todeta, että vety raaka-aineena ja käsiteltävänä aineena ei sinällään ole uusi asia, sen käytön mittakaava on vaan kasvamassa merkittävästi tulevaisuudessa, mikä luo osaltaan tarvetta tutkimukselle ja kehittämiselle.

Vetytaloutta käsitellään tällä hetkellä jokaisessa teknologiaa ja kehitystä seuraavassa tietolähteessä. Vetytaloustoimintaa käsiteltäessä esiin nousevat teemat liittyvät useasti vetyelektrolyysiin, vedyn siirtoon, käyttöön ja hyödyntämiseen. Vetytalous on kuitenkin yleistä oletusta laajempi ja merkityksellisempi kokonaisuus, kuin mitä siitä on totuttu lukemaan ja näkemään yleisimmistä tietolähteistä. Katsontakannat ja käsiteltävät seikat rajautuvat oletettavasti tiedon puutteen ja sen olemassaolon vähyydestä johtuen. Vielä ei edes tiedetä mitä kaikkea vetytalous voi tulevaisuudessa kattaa, mahdollistaa ja mihin se voi kaiken kaikkiaan esimerkiksi taloudellisesti vaikuttaa.

Suomen mahdollisuudet vetytaloudessa nähdään vahvana vihreän kasvun osatekijänä. Vihreän vedyn hyödyntäminen terästeollisuudessa, synteettisten lannoitteiden ja polttoaineiden valmistuksessa sekä vaihtoehtoisen ruokaproteiinin valmistuksessa antavat Suomelle merkityksellisiä taloudellisia ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen mahdollisuuksia. Vedyn hyödyntäminen erityisesti asumisen, ruoan ja matkailun toimialoilla, jotka tuottavat noin 80 % globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä on merkittävässä roolissa, sillä niiden määrällinen rajaaminen päästöjen

leikkaamiseksi on vaikeaa. (Ibounig, Saarela, Belt, Inovaara, Wilkko, Kangas, Kaskinen, Turkki 2023, 10, 30.)

Vetytalous perustuu pitkälti vedyn ja sähkön liittymiseen toisiinsa. VTT toimitusjohtajan Antti Vasaran (2023) mukaan uusiutuvalla sähköllä tuotettua energiaa alkaa olla niin paljon tarjolla, että sitä on mahdollisuus varastoida ja tähän varastointiin vety on erinomainen ratkaisu. Vedyn merkitystä energijärjestelmässä korostaa myös energiayhtiö Helenin vetyliiketoiminnasta vastaava Tuukka Hartikka (2023) ilmaisten uusiutuvan vedyn olevan hiilineutraalin energijärjestelmän puuttuva palanen, joka tulee näkymään kuluttajalle näkyvimmin vetykäyttöisten raskaiden ajoneuvojen ilmestymisenä liikenteeseen sekä vedyn tuotannosta syntyvän hukkalämmön hyödyntämisenä kotien lämmityksessä.

Vedyn ja vetytalouden erilaisia mahdollisuuksia selvitetään ahkerasti Suomessakin ja sovellutukset voivat olla varsin laajoja. Vetytalouden merkitystä ruokaketjulle ja siihen liittyviin toimintoihin kuten lannoitteiden valmistukseen, maatalouskoneiden polttoaineisiin ja elintarvikemuovipakkauksiin tutkitaan Seinäjoen ammattikorkeakoulun, Vaasan ja Tampereen yliopistoiden 1.2.2023 alkaneessa selvityshankkeessa. (Laasasenaho, Viholainen, Mäki, Karirinne, & Valden 2023.)

Vetytaloustoiminnan mahdollisuuksia ja vaikuttavuutta on merkityksellistä tarkastella monesta näkökulmasta ja eri asiayhteyksistä. Näin voidaan havaita uusia kokonaisuutta edistäviä seikkoja ja asioiden välisiä yhteyksiä. Näitä tunnistamalla on mahdollista löytää uutta tietoa ja lisätä yleistä tietoisuutta aiheesta. Laajasta vaikuttavuudesta huolimatta vetytalous ei ole yksi ja ainut ratkaisu energiamurroksessa ja vihreässä siirtymässä, vaan se on nähtävä yhtenä osatekijänä muiden toimintojen ja tekijöiden rinnalla.

Suomen potentiaali vetytalouden kärkimaiden joukossa Ruotsin ja Tanskan ohella perustuu monen vaikuttavaan tekijään. Tärkeimpinä tekijöinä toimivat vihreän sähkön ja sen lisärakennuspotentiaalinen mahdollisuus ja puhtaiden suurten vesivarantoja hyödyntäminen. Näiden lisäksi fossiilivapaat bioperäiset hiilidioksidilähteet sekä kattava kaukolämpöverkosto, johon vedyn tuotannon elektrolyysin aiheuttama hukkalämpö pystytään hyödyntämään, edesauttavat vetyteollisuuden kasvua monessa kohteessa Suomessa. Nämä yhdistettynä vahvaan tutkimus- ja kehitysosaamiseen mahdollistavat Suomelle hyvän paikan vetytalouden toimijakentässä.

Haasteita Suomellakin luonnollisesti on. Suomi ei sijaitse vetytalouden päämarkkinan lähellä, eikä Suomella nähtävästi ole taloudellista kykyä vastata investointien suuruudessa Euroopan kärkimailla. Sivill ja muut viittaavat henkilöiden Ueckerdt, Bauer, Dirnaichner, Everall, Sacchi ja Luderer tekemään vuonna 2021 julkaistuun tutkimukseen, jossa vetytalous itsessään nähdään viivyttävän siirtymistä pois fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Lisäksi vetytaloudella voi olla negatiivisia vaikutuksia biodiversiteettiin. Näitä voi ilmentyä vetytalouden tarvitseman infrastruktuurin vaati- malla maa-alalla sekä raaka-aineiden hankinnan ja käytön vaikutusalueella. Vaikutukset biodiversi- teettiin tulee huomioida niiden mahdollisesti aiheuttamien negatiivisten vaikutusten poistamiseksi. (Hartikainen 2022; Sivill ym. 2022, 110-111; Pörtner, Scholes, Agard, Archer, Arneht, Bai, Barnes, Burrows, Chan, Cheung, Diamond, Donatti, Duarte, Eisenhauer, Foden, Gasalla, Handa, Hickler, Hoegh-Guldberg, Ichii, Jacob, Insarov, Kiessling, Leadley, Leemans, Levin, Lim, Ma- haraj, Managi, Marquet, McElwee, Midgley, Oberdorff, Obura, Osman, Pandit, Pascual, Pires, Popp, ReyesGarcía, Sankaran, Settele, Shin, Sintayehu, Smith, Steiner, Strassburg, Sukumar, Trisos, Val, Wu, Aldrian, Parmesan, Pichs-Madruga, Roberts, Rogers, Díaz, Fischer, Hashimoto, Lavorel, Wu & Ngo 2021, 18.)

3.4 Suomen suunta vetytaloudessa

Suomella ei ole varsinaista virallista vetystrategiaa, mutta Valtioneuvosto on 9.2.2023 antanut pe- riaatepäätöksen vedystä. Päätöksen tavoitteena on kasvattaa Suomeen uusi teollisuuden ala ve- dyn ja sen jatkojalosteiden ympärille, mikä edistää ja tukee alan erityisesti valmistavan teollisuu- den uudistumista ja yrityksiä. Julkaisun mukaan Suomella on edellytyksiä toteuttaa vahvoja uusia vetytalouden arvoketjuja, perustuen omiin vahvuksiimme. (Valtioneuvoston periaatepäätös ve- dystä 2023, 11-12.)

Suomessa tuotetaan tällä hetkellä, vuonna 2023, vetyä 140 000 – 150 000 tonnia vuodessa eli energiasisällöltään 4,7 - 5,0 TWh. 99 % vedystä tuotetaan maakaasusta ja tuotetusta vedystä 88 % käytetään öljyn ja biopolttoaineiden jalostukseen. Sivutuotteena vetyä muodostuu metsäteollisuu- den ja kemianteollisuuden tuotannossa. Vedyn käytön odotetaan kasvavan merkittävästi lähivuo- sina ja uusia käyttösektoreita löytyy erityisesti kemian- ja metalliteollisuuden alalla sekä liikenteen uudistumisen ratkaisuista. (Valtioneuvoston periaatepäätös vedystä 2023, 9; Laurikko, Ihonen, Ki- viaho, Himanen, Weiss, Saarinen, Kärki, Hurskainen 2020, 21-22.) Vastaavia lukuja ja näkemyksiä vedyn käytön määrästä ja käyttökohteista antavat VTT:n teollisuus ja vety -tutkimusalueen johtaja

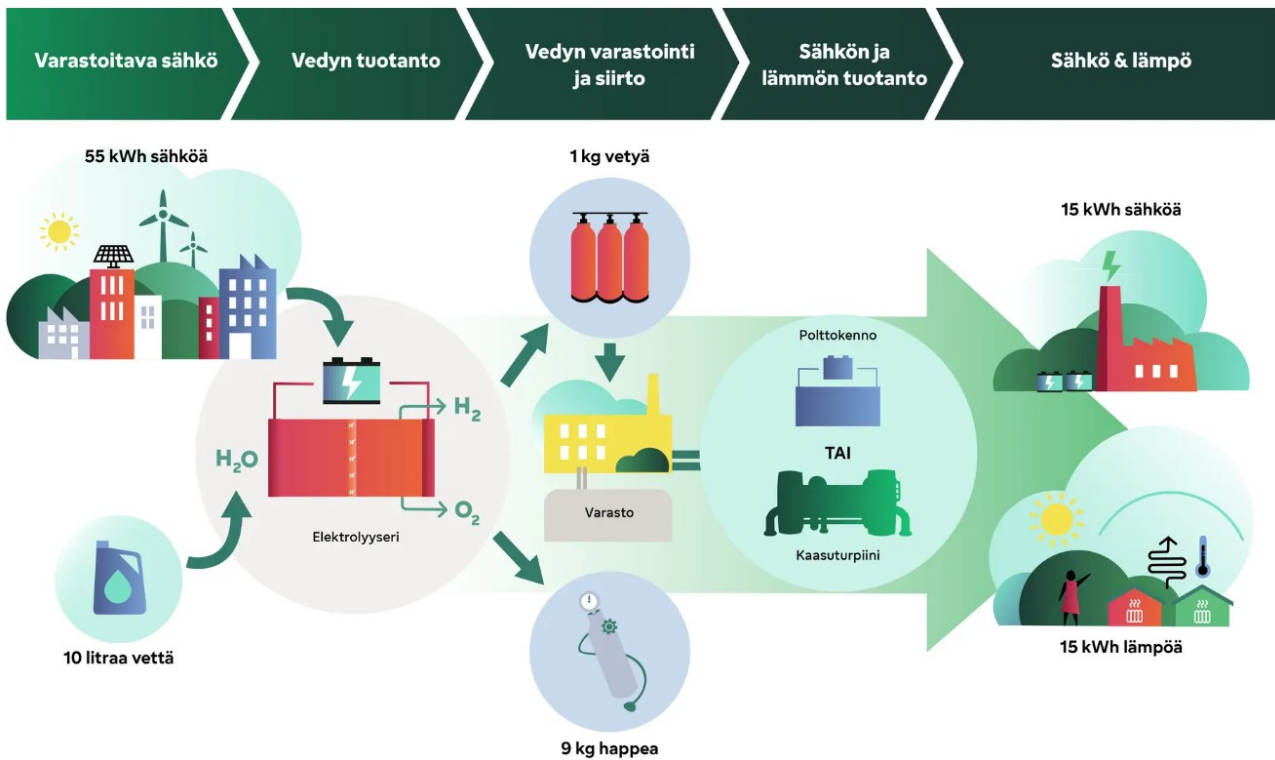
Antti Arasto tutkimus professori Jari Kiviahon kanssa vetyyn liittyvässä artikkelissaan. (Arasto & Kiviaho 2023.) Vedyn käytön nähdään Suomelle tehtyjen skenaarioiden mukaan kasvavan 2030 mennessä 3,7-7,9 TWh:iin ja 2050 mennessä 6,4-132,9 TWh. Suuri vaihteluväli johtuu skenaarioiden välisistä linjavedoista vedyn ja sähköpoltoaineiden viennin osalta. Merkityksellisintä Suomen hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi on, että suurimpien kulutuskohteiden käyttämä harmaa vety saataisiin korvattua puhtaalla tai vähähiilisellä vedyllä. (Sivill ym. 2022, 158.)

NCES The National Climate and Energy Strategy eli Kansallinen ilmasto- ja energiastrategia sisältää myös vetystrategian, jonka perusteella Suomelle ensisijaista on kehittää kotimaisen vedyn arvoketjua ja toissijaisena vedyn vientimahdollisuuksia. Strategiassa huomioidaan Suomen vahvuudet vetyyn liittyvässä tutkimus- ja kehitystoiminnassa sekä kansainvälisessä yhteistyössä. Lisäksi esiin nostetaan Suomen kansainvälisestikin mitattuna korkea koulutusjärjestelmä. (Finland 2023 – Energy... 2023, 33-35.)

4 Vedyn tuotanto ja käyttö

4.1 Vihreän vetytalouden yksinkertaistettu malli

Kuviossa 3 esitetään periaatteellisella tasolla vihreän vedyn tuotanto, varastointi ja käyttö. Vihreä vety valmistetaan uusiutuvan sähköenergian avulla hajottamalla puhdasta vettä elektrolyysiprosessissa vedyksi ja hapeksi. Valmistusaineiden suhteelle toimii yleisellä tasolla lähtökohta, että 10 litrasta puhdasta vettä saadaan 55 kWh:lla muodostettua elektrolyysissä 1 kg vetyä ja 9 kg happea. Vedyn tuotannossa happi on sivuvirta, jonka hyödyntäminen muussa käytössä kasvattaa prosessin hyötysuhdetta. Vety voidaan käyttää polttamalla se polttokennossa sähköksi tai kaasuturbiinissa tai muussa polttolaitteessa lämmöksi tai liike-energiaksi. Sekä elektrolyysissä että vedyn käytössä muodostuvan hukkalämmön hyödyntäminen on merkittävässä roolissa kokonaishyötysuhteen kasvattamisessa. (Vartiainen, 2020.)



Kuvio 3. Vihreän vetytalouden malli (Vartiainen, 2020).

4.2 Vedyn tuotanto

Vihreän vedyn tuotannolla on merkittävä rooli vetytaloudessa. Tässä vedyn tuotannosta puhuttaessa tarkoitetaan ja viitataan vihreän eli uusiutuvan vedyn tuotantoon. Vihreän vedyn tuotannossa käytetään yleisimmin elektrolyysimenetelmää, jossa tarvitaan uusiutuvaa sähköenergiaa ja puhdasta vettä. Elektrolyysimenetelmiä on kolme yleisimmin tunnettua ja käytettyä, joissa vettä hajotetaan sähköenergian avulla vedyksi ja hapeksi. Menetelmät ovat alkalinen elektrolyysi eli Alkaline Electrolysis (AEL), polymeeri elektrolyysi eli Proton exchange membrane (PEM) ja vesihöyryelektrolyysi eli Solid Oxide Electrolyzer Cell (SOEC). Valmistusprosessin hyötysuhteen nostamiseksi elektrolyysissä muodostuvan hapen ja hukkalämmön hyödyntäminen voidaan toteuttaa keräämällä happi kaasuna talteen ja siirtämällä lämpö muuhun prosessiin tai kaukolämpöverkkoon. Vedyn siirto tuotantolaitokselta kulutuskohteeseen voidaan toteuttaa vetyputkistolla tai säiliökuljetuksilla. Luonnollisesti paikallinen tuotanto vähentää siirron ja kuljetuksen osuutta. Näin ollen monipuolisesti hyödynnettävä infra parantaa alueen vetytaloudellisia mahdollisuuksia.

Keski-Suomestakin vedyn tuotantoa mahdollistavia tekijöitä löytyy useita. Keski-Suomen tuulivoimahankkeet mahdollistavat paikallisen uusiutuvan sähkön tuotannon. Suomen tuulivoimayhdistyksen tuottamista ja 29.6.2023 julkaistuista tilastoista selviää, että Keski-Suomen maakunnan alueella oli kesäkuussa 2023 yhteensä 50 tuulivoimalaa, joiden yhteenlaskettu teho oli 248,8 megawattia (MW) (Tuulivoimatilastot 6/2023 2023). 2023-2025 aikana rakenteilla olevia tuulivoimaloita Keski-Suomessa on 38, joiden yhteenlaskettu teho on 221 MW (Rakenteilla olevat hankkeet 2023). Lisäksi Keski-Suomeen on suunnitteilla 30 eri projektikehityksen vaiheessa olevaa hanketta, joiden voimalamäärä on toteutuksista riippuen vähintään 243 voimalaa ja jotka ovat teholtaan vähintään 1806,6 MW. Kaikille hankkeille ei ole vielä määritettynä toteutusaikataulua. (Suunnittelussa olevat hankkeet 2022.)

Keski-Suomen tuulivoimakehitystä tukee voimakkaasti Keski-Suomen liiton tuottama maakunta-kaavan uudistus, jonka tavoitteena on luoda Maakuntakaava 2040, joka uudistaa voimassa olevaa maakuntakaavaa juurikin tuulivoiman tuotannon ja liikenteen osalta. Maakuntakaava 2040 kaavaehdotuksen selosteesta (2023, 25-26) selviää, että Keski-Suomen edellinen maakuntakaava on vuodelta 2012, jonka jälkeen tuulivoimateknologia on kehittynyt merkittävästi, jolloin uuden kaavan luonti tuulivoiman osalta on ollut välttämätöntä. Ehdotuksessa nostetaan tuulivoiman tuotannon kasvattaminen tärkeäksi osaksi maakunnan strategisen hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisessa vuoteen 2030 mennessä. Keski-Suomessa on siis merkittävää kasvua tuulivoiman tuotannossa, mikä osaltaan edesauttaa vetytalouden alueellista kehitystä.

Fingridin kantasähköverkko ja muiden Keski-Suomen alueella toimivien verkkoyhtiöiden sähköjakeluverkko on alueellisesti kattava ja sitä kehitetään jatkuvasti, mutta sen vahvuus ja kokoluokka on rajallinen lisääntyvän tuulivoimantuotannon edistämiseksi. Kantaverkkoyhtiö Fingrid määrittelee pitkälti mihin ja miten uutta sähköntuotantoa voidaan kantaverkkoon liittää. Tähän yhdistettynä teknologian kehityksen myötä kasvaneet tuulivoimaloiden tehot nostavat tuulivoimahankkeiden nimellistehoja niin korkeiksi, ettei ole teknisesti järkevää liittää niitä 110 kV jakeluverkkoon, vaan liityntä on järkevämpää tehdä suoraan 400 kV kantaverkkoon, jolloin alueverkkoyhtiöiden rooli tuulivoimatuotannon siirrossa mitätöityy. Verkkojen kehittämisessä on huomioitava myös muiden tekijöiden kuin tuulivoimatuotannon vaikutukset sähköverkkoon. (Sähkönsiirron selvitys osana... 2022, 27-30.)

Suomen uusiutuvan sähkön tuotantoalueet painottuvat pohjoiseen ja sähkön kulutuskohteet painottuvat etelään. Näin ollen näiden välisiä Keski-Suomen läpi kulkevia sähkön siirtoyhteyksiä on kehitettävä voimakkaasti. Tämä näkyy mittavina hankkeina Fingridin kantaverkon kehityssuunnitelma 2024-2033:ssa voimajohto- ja sähköasemahankkeina Keski-Suomen alueella. (Kantaverkon kehityssuunnitelma 2024-2033 2023, 17, 56-57.) Tämä mahdollistaa luonnollisesti paremmat voimajohtoon liittymismahdollisuudet Keski-Suomen vetytalouteen liittyviä investointeja ajatellen.

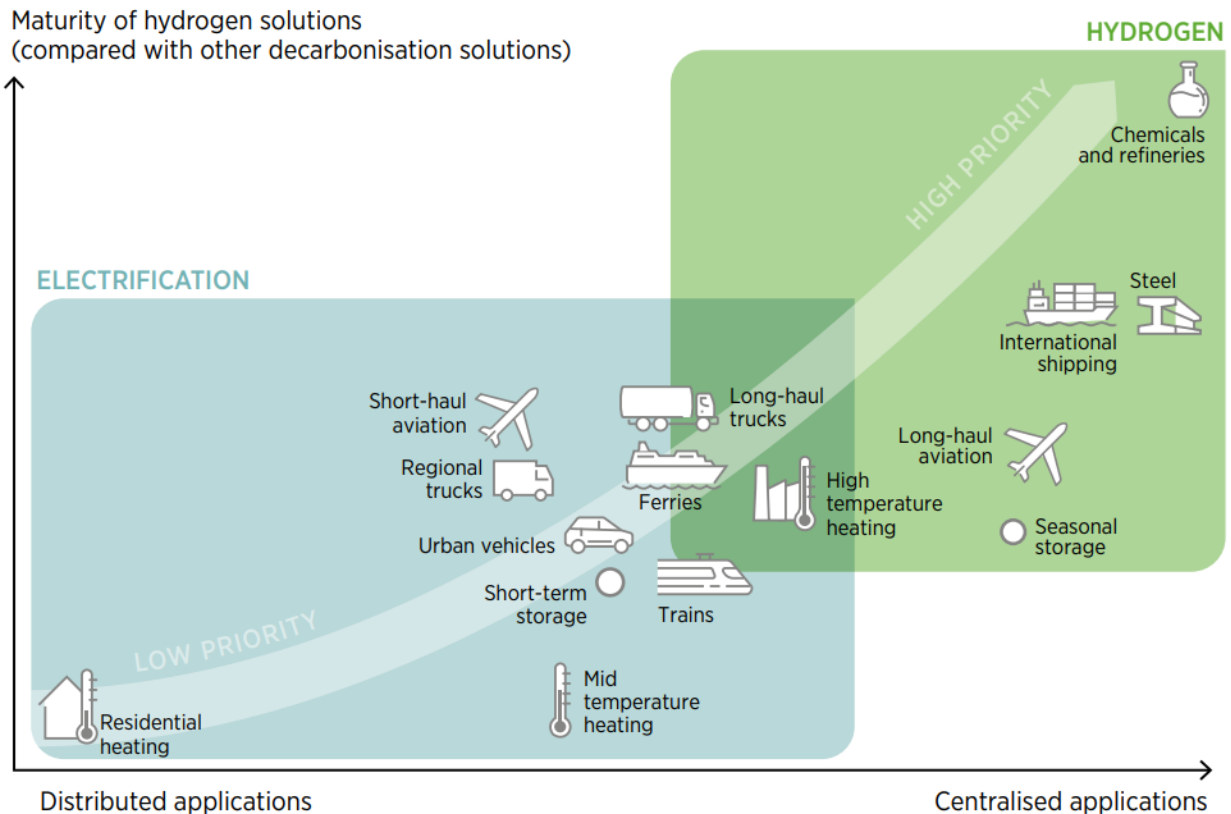
Fredrik Jonssonin ja Andrea Miljanovicin tutkimuksen (2022, 56-57) mukaan AEL elektrolyysin hyötysuhde pystyttiin nostamaan tutkimuskohteessa 64,54 prosentista 88,39 prosenttiin hyödyntämällä elektrolyysiprosessissa muodostuvaa hukkalämpöä kaukolämpöverkossa. Tutkimuksessa osoitettiin vastaavan hyötysuhteen nousun olevan tutkimuskohteessa PEM elektrolyysissä 76,66 prosentista 94,7 prosenttiin. (Jonsson & Miljanovic 2022, 56-57.) Kaukolämpöverkot keskittyvät usein pääosin kaupunkien ja niiden lähialueille, jolloin vedyn tuotantolaitoksen liittyminen kaukolämpöverkkoon ei ole itsestään selvyyttä tai ainakaan helppoa. Keski-Suomesta kaukolämpöverkosta löytyy pääosin Jyväskylän kaupungin alueelta ja sen lähiympäristön lisäksi eri pitäjien lämpölaitosten tarjoamana. Geopoliittisen tilanteen vuoksi kriittiseksi infraksi luokitellun kaukolämpöverkon tarkat tiedot eivät ole kattavasti julkisesti saatavilla. Hyötysuhteen nostamiseksi elektrolyysissä muodostuva happi voidaan ottaa talteen, prosessoida tarpeen mukaan ja käyttää esimerkiksi teollisuuden-, lääketieteen- ja biokasvatusprosessien lisäksi palamishyötysuhteen kasvattamisessa (Sivill ym. 2022, 135).

4.3 Vedyn potentiaalisimmat käyttökohteet

Vedyn potentiaalisimpia käyttökohteita yhdistää seikka, että ne ovat vaikeasti sähköistettäviä. Tätä sähköistettävyyden haastetta vetytalouden ajurina vahvistavat edellä 3.3 Vetytalous -luvussa IPCC ja Sivill kumppaneineen omilla raportoinneissaan. Kuviossa 4 esitetään IRENA:n julkaisema näkemys vedyn merkityksellisimmistä hyödyntämiskohteista havainnollistaen samalla sähköistettävät toiminta-alueet. Kuvioista on havaittavissa, että hajautetut alueelliset toiminnot ovat sähköistettävissä ja keskittyneet laaja-alaiset toiminnot ovat merkityksellisemmässä roolissa vedyn käytön ja vetytalouden edistymisessä.

Kuvion 4 mukaan potentiaalisimmat vedyn käyttökohteet keskittyvät raskaisiin pitkänmatkan kuljetuksiin, korkeaa lämpötilaa vaativiin sovelluksiin, kausivarastointiin, teräksen tuotantoon sekä

jatkojalosteiden ja jalostamoiden toimintaan. Energiategollisuuden toimialajärjestö kuvaa IRENA:n esitystä vastaavasti vedyn tarjoavan ratkaisuja vaikeasti hiilineutralisoitaville sektoreille (Vety-markkinat n.d.). Vanhanen työryhmänsä kanssa ilmaisevat, että EU:n hiilineutraaliutta ei uskota saavutettavan ilman vedyn ja siitä muodostettavien jatkojalosteiden laajaa käyttöönottoa (Vanhanen, Pulkkinen, Salmi, Beniard, Järvinen & Lehtomäki 2022, 41). Seuraavissa luvuissa perehdytään tarkemmin näihin vedyn ja siitä muodostettavien jalosteiden käyttökohteisiin.



Kuvio 4. Vedylle potentiaalisimmat käyttösektorit (Geopolitics of the... 2022).

4.4 Vety liikenteen ja liikkumisen käytössä

4.4.1 Liikenne vedyn käytön ajurina

Vedyn käyttö liikenteessä mahdollistaa niin vedyn kulutusmäärän eli kysynnän kasvun kuin liikenteen kasvihuonekaasu päästöjen pienenemisen. Kysynnän kasvu liikenteen käytössä edistää sekä vedyn tuotantoa että vedyn tankkaukseen ja jakeluun liittyviä toimintoja. Vedyn liikennekäyttö voidaan nähdä yhtenä puhtaan vedyn käytön ensimmäisistä ajureista, johon panostaminen on tärkeää vetytalouden edistämisen kannalta. Erityisesti raskasliikenne ja muut vaikeasti sähköistettävät toiminnot ovat vetytalouden kehitykselle ja laajenemiselle tietävästi eduksi.

Liikenne ja liikkuminen on Keski-Suomen kannalta erittäin merkittävässä roolissa vetytalouden edistymisessä. Keski-Suomi on useiden Suomen valtateiden kuten 4-, 9-, 13- ja 18-teiden solmu-kohta, jossa yhdistyy lisäksi useat rautateiden pääväylät ja niitä tukevat muut rataverkot. Tikkakosken lentokenttä antaa Keski-Suomelle myös ilmailuliikenteen hyödyntämisen mahdollisuuden. Vedyn hyödyntämistä liikkumisessa kuvataan kattavasti seuraavissa luvuissa.

4.4.2 Vedyn käyttö maantieliikenteessä

Statista tilastopalvelun (2023) tuottaman julkaisun mukaan vuonna 2022 maantieliikenteen aiheuttamat maailmanlaajuiset CO₂ päästöt olivat miltei 8 Gt eli 8000 Mt. Tämä on hieman yli viidennes, tarkemmin ottaen 20,2 % kaikista maailman kyseisen vuoden CO₂ päästöistä. Vuotuisen määrän ennustetaan kasvavan vuoteen 2025 asti, kunnes kasvun ennustetaan taittuvan. Päästöt aiheutuvat lähtökohtaisesti fossiilista alkuperää olevien polttoaineiden polttamisesta ajoneuvojen voimanlähteenä. (Transportation emissions worldwide... 2023.) Liikenteen CO₂ päästöistä hieman alle puolet (48 %) muodostui ajoneuvomäärällisesti suurimman edustuksen eli henkilöautojen ja pakettiautojen päästöistä. Seuraavaksi suurimman osan eli 35 % muodostivat rahtiin ja toimitukseen luettavat raskaat ja keskiraskaat rahtiajoneuvot sekä kansainväliseen kuljetukseen käytetyt toimitusmuodot. Näiden päästöjen osuuden entistä merkityksellisemmäksi tekee niiden aiheuttamien ajoneuvojen määrällinen osuus, joka on luonnollisesti pienempi kuin henkilöautojen ja pakettiautojen osuus. (Tiseo 2023.)

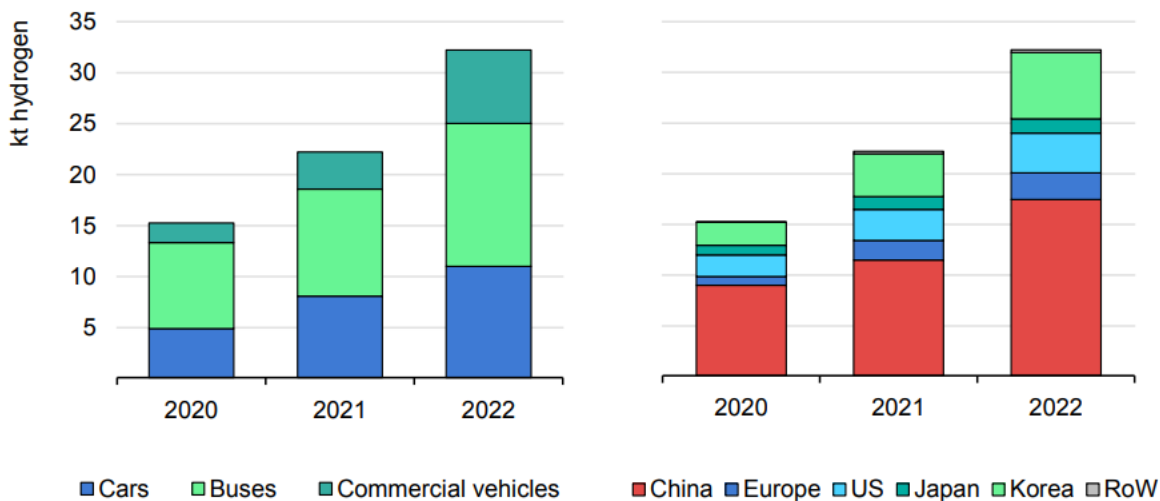
Suomen liikenteen päästöt ovat pysyneet viime vuosina hyvin tasaisesti noin 10 miljoonassa hiilidioksidiekvivalenttonnissa (Mt CO₂-ekv). Vuonna 2021 Suomen kokonaispäästöt olivat 37,6 Mt hiilidioksidiekvivalenttia ja liikenteen osuus oli tästä 27 % ollen täten hyvin lähellä 10 Mt CO₂-ekv.. (Finland 2023 – Energy... 2023, 42-43.) Suomen tieliikenteen päästöt ovat viime vuosina tyypillisesti koostuneet noin 60 prosenttisesti henkilö- ja pakettiautojen päästöistä ja reilu 30 prosenttisesti raskaiden ajoneuvojen päästöistä. Jäljelle jäävä osuus koostuu muiden, kuten linja-autojen päästöistä. Rautatieliikenteen päästöt ovat olleet jo vuosia alle prosentin liikenteen kokonaispäästöistä rautateiden sähköistymisen myötä. Vesiliikenteen, mukaan lukien kalastusalusten päästöt ovat olleet muutaman prosentin luokkaa kokonaispäästöistä. (Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutus 2022.) Luvuista voidaan helposti ymmärtää suurimman päästövähennysmahdollisuuden kohdistuvan tieliikenteen ja erityisesti henkilö- ja pakettiautoihin sekä raskaan liikenteen ajoneuvoihin.

Suomi on ottanut liikenteen päästövähennystavoitteekseen vähentää liikenteen päästöjä 2030 mennessä 50 % verrattuna vuoden 2005 tasoon. Vuonna 2005 liikenteen päästöt olivat 12,5 Mt CO₂-ekv, joten vuonna 2030 päästöt olisivat tavoitteen toteutuessa ainoastaan 6,25 Mt CO₂-ekv. Liikenteen hiilineutraaliutta Suomi tavoittelee vuoteen 2045 mennessä. Vuonna 2021 julkaistun tiedon mukaan silloisilla toimenpiteillä päästöjen ennustettu putoavan 37 % 2030 mennessä ja 50 % 2045 mennessä. (Fossiilittoman liikenteen tiekartta 2021, 10-11.) Asetetut tavoitteet ovat näin ollen erittäin kunnianhimoisia ja tarvitaan merkittäviä tehostuksia nykyisiin toimiin sekä uusia toimia tavoitteiden saavuttamiseksi. Liikenne- ja viestintäministeriön Fossiilittoman liikenteen tiekartta -julkaisussa (2021, 48) vedyn ja siitä jalostettavien synteettisten polttoaineiden mahdollisuudet nähdään erittäin suurena ja hiilineutraaliustavoitteiden kannalta tärkeinä ratkaisuin.

Liikenteen päästöjen vähentämisen tarpeeseen ilmastonlämpenemisen rajoittamiseksi on toki jo havahduttu. VTT:n erikoistutkija Marko Paakkisen mukaan liikenteen voimanlähteenä perinteisesti käytettyä fossiilista alkuperää olevia polttoaineita on jo pitkään korvattu sähköistämällä niitä liikenteen ja liikkumisen osa-alueita, joissa se on ollut helppoa. Vaikeasti sähköistettävien kohteiden kuten raskaiden ja pitkänmatkan kuljetusten käyttövoimana vety ja siitä jalostettavat synteettiset polttoaineet nähdään potentiaalisena keinona päästöjen vähentämisessä. (Jokela 2021.) Synteettisten polttoaineiden etuna on niiden jakeluun osittain valmiina oleva jakeluinfra. Synteettisistä polttoaineista kerrotaan tarkemmin jäljempässä P2X jatkojalosteita käsittelevässä luvussa. Vetyä

polttoaineenaan käyttävien ajoneuvojen etuna on ajallisesti nopea tankkaus, toimintaetäisyys ja päästöttömyys.

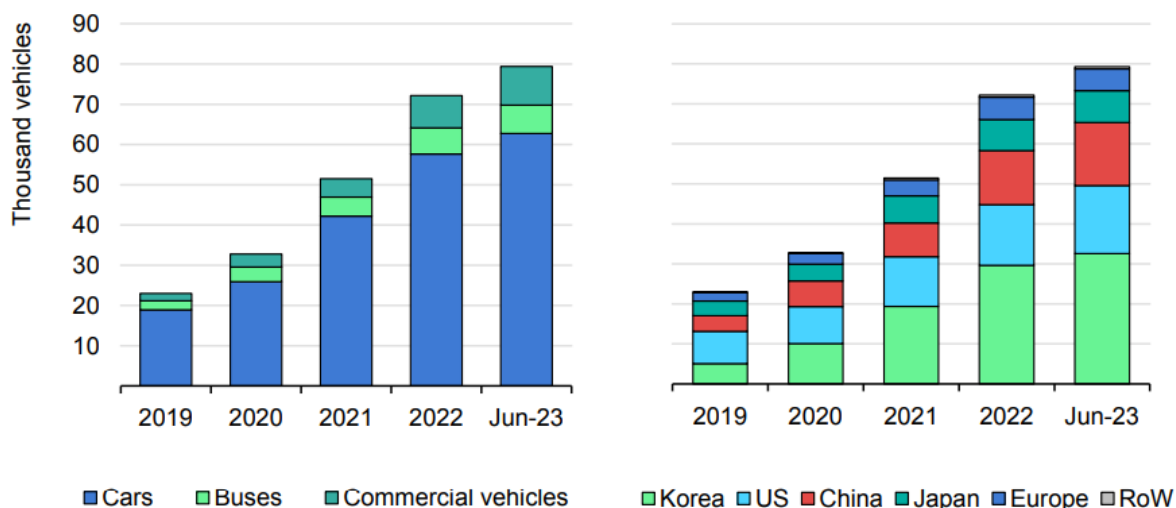
Liikenteen siirtymistä vetyä käyttövoimanaan käyttävään teknologiaan edistää edellä energiamurrosta käsittelevässä luvussa esitellyt fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyvät päästöjen hillitsemiseksi jo asetetut ja kaavailut rajoitukset. Vedyn käytölle liikenteessä potentiaalisemmaksi nähdään vaikeasti sähköistettävät osa-alueet eli raskaat ja pitkänmatkankuljetuksiin keskittyneet ajoneuvot. Tämä on myös vedyn kulutuksen ja täten tuotannon tarpeen kannalta kokonaiskehitystä eteenpäin vievä tekijä. Kuviossa 5 on esitetty viime vuosien vedyn käyttömäärä ajoneuvotyypeittäin. Kulutuksen kasvu on huomattavaa jokaisella osa-alueella, mutta suurinta kulutuksen kasvu on ollut juurikin hyötyajoneuvojen kuten raskaan kuljetuksen kaluston käytössä. Alueena Kiina on selkeästi suurin vedyn käyttäjä liikennesektorilla. (Global Hydrogen Review... 2023, 30.)



Kuvio 5. Vedyn käyttömäärä ajoneuvoluokittain ja alueittain (Global Hydrogen Review... 2023, 30).

Vedyn kulutusta ajoneuvoluokittain suhteutettuna ajoneuvojen määrään voidaan tulkita kuvion 6 avulla. Kuviossa esitetään vetykäyttöisten ajoneuvojen määrät ja alueelliset sijoittumiset. Ajoneuvomäärästä suhteessa edellisen kuvion (Kuvio 5.) vedyn kulutukseen voidaan havaita selkeästi, että vaikka henkilö- ja pakettiautoja on määrällisesti huomattavasti enemmän kuin hyötyajoneuvoja,

niiden kuluttama vetymäärä on suhteessa paljon pienempi. Kuviosta selviää myös Korean suurin osuus ajoneuvojen määrästä. Kiina tulee ajoneuvomäärässä vasta kolmantena Yhdysvaltojen jälkeen, vaikka sillä on edellisen kuvion (Kuvio 5.) mukaan eniten vedyn kulutusta liikennekäytössä. Tämä viittaa nimenomaan suurkulutteisten ajoneuvojen suureen määrään.



Kuvio 6. Vetykäyttöisten ajoneuvojen määrä ja käyttöalueet (Global Hydrogen Review... 2023, 31).

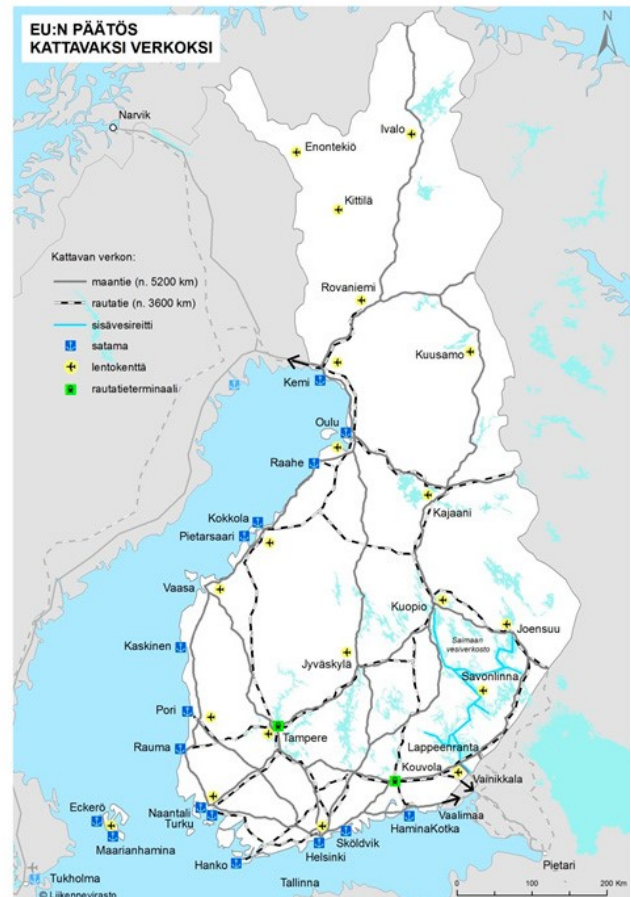
Euroopan osuus vetykäyttöisistä ajoneuvoista on edellisen kuvion (Kuvio 6.) mukaan varsin pieni, mutta antaa kuitenkin tärkeän signaalin myös Euroopan alueellisen vetypohjaisen liikkumisen synnystä ja kehityksestä. Myös Suomi on piskuisesti mukana nostamassa Euroopan osuutta ajoneuvojen määrää kuvaavissa palkeissa kuviossa 6. Taulukossa 1 on esitetty 30.9.2023 Suomessa liikennekäytössä olevien käyttövoimanaan vetyä käyttävien henkilöautojen määrä ja ensirekisteröinnin vuosi. Muita vetyä käyttövoimanaan käyttäviä ajoneuvoja kuin henkilöautoja ei Suomessa ole liikennekäytössä. Taulukko alkaa vuodelta 2013 jolloin Suomeen ensirekisteröitiin historian ensimmäinen vetyä käyttövoimanaan käyttävä henkilöauto. Jälkimmäinen autoista ensirekisteröitiin vuonna 2021. (Traficom 2023.)

Taulukko 1. Vetykäyttöiset henkilöautot Suomessa 30.9.2023 (Traficom 2023).

	Vety											
	Yhteensä	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
MANNER-SUOMI	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Vedyn käytön laajenemista liikenteen polttoaineena varjostaa kuitenkin sen saatavuuden ja jakeluinfraan puuttuminen. Vedyn tankkausasemia oli kesäkuussa 2023 maailmanlaajuisesti noin 1100. Asemista noin 25 % eli noin 300 sijaitsi Kiinassa ja reilu 20 % eli noin 250 sijaitsi Euroopassa. (Global Hydrogen Review... 2023, 34.) Euroopassa sijaitsevat vetytankkausasemat eivät tällä hetkellä lähtökohtaisesti sovellu raskaiden ajoneuvojen tankkaukseen (Regulation (EU) 2023/1804, 35§). Suomessa vedyn tankkausasemia ei vielä ole, mutta suunnitteilla olevista ensimmäisten olisi määrä tulla käyttöön vuoden 2024 aikana. Euroopassa jakeluverkoston kattavuutta ja kehitystä edistetään kansainvälisellä jakeluverkostokehityksellä, joka pohjautuu Euroopan laajuisen liikenneverkosto TEN-T:n kehittämiseen.

TEN-T liikenneverkolla tarkoitetaan Euroopan laajuista liikennejärjestelmää, jonka tarkoitus on edistää tavaroiden ja ihmisten liikkumista EU:n alueella. Verkostoon luetaan kuuluvaksi kaikki liikennemuodot: maantie-, ilma-, sisävesi-, meri- sekä erilaisia liikennemuotojen yhdistämisen mahdollistavat alustat. Liikenneverkkoa kehitetään Eurooppa Neuvoston TEN-T-suuntaviiva-asetuksella. Suuntaviiva-asetuksella määritetään liikenneverkolle muun muassa asetettavat vaatimukset ja kehittämisen kohteet. Suuntaviiva-asetusta ollaan päivitetty viime ja kuluneen vuoden aikana ja päivityksen on määrä tulla käyttöön aikaisintaan 2024 alusta. Uusimmassa määrittelyssä kuvataan TEN-T verkon kehityksen askeleet tavoitevuosille 2030 ja 2050. Tavoitteena 2031 mennessä rakennettavaksi tärkeimmät yhteydet ja solmukohdat kattava ydinverkosto (core network) ja vuoteen 2050 mennessä ydinverkkoa laajempi kattava verkosto (comprehensive network). Suomen osalta kyseiset verkostot kuvattu kuviossa 7. Suomessa tavoitteen mukaista kattavaa verkostoa on kaikkiaan hieman alle 9000 km, josta ydinverkostoon kuuluisi noin 2500 km. (Euroopan laajuinen liikenneverkko... 2023.)



Kuvio 7. Suomen TEN-T liikenneverkoston ydinverkosto vuoteen 2030 mennessä ja kattava verkosto 2050 mennessä (Euroopan laajuinen liikenneverkko... 2023).

Vetytankkausasemien sijoittuminen TEN-T liikenneverkon alueella tulevaisuudessa määritellään Euroopan parlamentin ja neuvoston 13.9.2023 antamalla asetuksella (EU) 2023/1804 vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta ja direktiivin 2014/94/EU kumoamisesta. Asetuksen 6 artiklassa määritetään tieliikenneajoneuvojen vetytankkausinfrastruktuuria koskevat tavoitteet. Tavoitteen mukaan 31.12.2030 mennessä TEN-T verkon varrella tulee olla asetuksen määrityksen mukainen vetytankkausasema 200 km välein, sekä jokaisessa kaupunkisolmukohdassa (Regulation (EU) 2023/1804, Article 6). Suomen kaupunkisolmukohdiksi on määritetty Helsinki ja Turku (Regulation (EU) 1315/2013, Annex II). Valtionrajojen ylityksessä kyseisten valtioiden on varmistettava ettei 200 km enimmäisetäisyys ylitä (Regulation (EU) 2023/1804, Article 6). Asetuksen (Regulation (EU) 2023/1804) 35 pykälässä lisäksi määritetään, että TEN-T verkon varrella käyttöönotettavien vetytankkausasemien on sijaittava reitin varrella tai enintään kymmenen kilo-

metrin etäisyydellä (ajomatka) lähimmästä TEN-T verkkoon kuuluvasta poistumisliittymästä. Asetuksella määritellään yleisesti myös asemien saavutettavuuteen ja käytettävyyteen liittyviä seikkoja.

Suomeen on suunnitteilla useita vedyn tankkausasemia. Tankkausasemia suunnittelee muun muassa teknologia-yhtiö P2X Solutions, energiayhtiö Helen sekä kehitys-yhtiö Vireon Hydrogen, joka 2023 osti suomalaisen vetytankkaus-yhtiö HydRe Oy:n. Asemia on suunnitteilla ympäri Suomea keskeisille liikenteen ja liikkumisen alueille. Esimerkkeinä projekteista toimivat P2X Solutionsin edistämä vetytankkausasema Järvenpään palvelemaan erityisesti Etelä-Suomen raskasta liikennettä. Tavoitteena yhtiöllä ottaa kyseinen asema käyttöön jo syksyllä 2024. Helen suunnittelee vetytankkausasemaa Helsingin Vuosaareen, mutta laitoksesta ei vielä ole tehty investointipäätöstä. Norjalaisomisteinen Vireon Hydrogen suunnittelee Suomeen useita vetytankkausasemia muun muassa Lietoon ja Tornioon sekä Jyväskylän Seppälänkankaalle. (P2X Solutions rakentaa Järvenpään... 2023 ; Korhonen 2023 ; Sipola 2023 ; Marja-aho 2023.) Jakeluverkoston kehittäminen edistää osaltaan merkittävästi vetytalouden etenemää niin vedyn kulutuksen kuin hyödyntämisen osalta.

4.4.3 Vedyn käyttö meri-, rautatie- ja lentoliikenteessä

Meriliikenne

Meriliikenteessä on tyypillisesti käytetty polttoaineena fossiilista alkuperää olevia polttoaineita kuten nesteytettyä maakaasua (liquefied natural gas, LNG), raskasta polttoöljyä (Heavy Fuel Oil, HFO) sekä kevyitä polttoöljyjä kuten meriliikenteen kaasuöljyä (Marine gas oil, MGO) ja meriliikenteen dieselöljyä (Marine diesel oil, MDO). Nämä ovat kaikki fossiilisen alkuperänsä takia merkittäviä kasvihuonekaasulähteitä erityisesti huomioiden niiden suuren kulutuksen pitkien etäisyyksien ja suurten kuljetusmäärien vuoksi. (Koivuniemi 2021, 11-14, 16-18.) Meriliikenteen päästöjä voidaan leikata hyödyntämällä uusiutuvia polttoaineratkaisuja kuten bioöljyjä, metanolia ja vetyperäisiä synteettisiä polttoaineita sekä uusia teknologisia ratkaisuja (Andersson, Wideskog & Frostell 2021). Synteettisistä polttoaineista kerrotaan tarkemmin jäljempässä P2X jatkojalosteita käsittelevässä luvussa.

EU:n merenkulkualan vähähiilisyttä ohjataan edellä energiamurrosta käsittelevässä luvussa esitellyn 55-valmiuspaketin merenkulkua ohjaavalla FuelEU maritime -aloitteen mukaisella Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksella (EU) 2023/1805. Asetuksen keskeisinä tavoitteina on lisätä uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden hyödyntämistä ja vähentää kasvihuonekaasujen muodostumista varmistaen alan sujuva toiminta ja sisämarkkinoiden vääristymisen välttäminen (FuelEU maritime initiative... 2023). Asetuksen kohdassa 26 määritellään kannustinjärjestelmän luonti ja sen tärkeys muuta kuin biologista alkuperää oleville uusiutuville polttoaineiden käyttöönotolle. Erityisesti synteettisillä polttoaineilla nähdään olevan jopa 100 prosenttinen säästöpotentiaali kasvihuonekaasupäästöissä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna, mutta niiden kustannukset ovat merkittävästi fossiilisia polttoaineita korkeammat. Tällöin kannustinjärjestelmän luonti nähdään edistymisen kannalta välttämättömänä. (Regulation (EU) 2023/1805, §26.) Kasvihuonekaasujen muodostuksen vähentäminen kuvataan aloitteen artiklassa 4. Artiklassa määritetään kasvihuonekaasuintensiteetin vähentäminen tietyin ehdoin alkaen 1.1.2025 2 prosentista aina vaiheittain 1.1.2050 asti, jolloin kasvihuonekaasuintensiteetti tulee olla vähentynyt laskutavan mukaisesti 80 prosenttia. (Regulation (EU) 2023/1805, Article 4.) Asetuksen kohdassa 7 määritetään meriliikenteen harjoittajien ja satamien välisen toiminnan tasapuolisuuden tarpeen varmistus yhdenmukaisilla säännöillä (Regulation (EU) 2023/1805, §7). Asetuksen 1 artiklassa asetetaan yleisten sääntöjen kohde ja tavoite, joihin kuuluu meriliikenteen sujuvan toiminnan varmistus ja vääristyneiden sisämarkkinoiden ehkäisy (Regulation (EU) 2023/1805, Article 1).

Rautatieliikenne

Vetyä on alettu hyödyntää myös rautatieliikenteen polttoaineena niin matkustaja- kuin tavarakuljetuksissa. Merkittävimmät edistymiset rautatieliikenteen vetykäyttöisyydessä on tulleet Euroopan osalta Saksasta, missä vetyjunien testaamisesta on edetty jo käyttöönottovaiheeseen, sekä Espanjasta, missä vetykäyttöistä rautatiekalustoa testataan käyttöönotettavaksi. Kiina, Japani, Kanada ja Italia ovat esittäneet myös aktiivisia toimia vetykäyttöisen raideliikennekaluston käytön edistämiseksi. Raideliikenteessä vedyn käytön yleistymistä hidastaa kuitenkin taloudellisesti kilpailukykyisempien sähköjunien käyttö. (Global Hydrogen Review... 2023, 36-37.)

Lentoliikenne

Kuten meriliikenteen, myös lentoliikenteen vähähiilistymistä ohjataan 55-valmiuspakettiin kuuluvalla ilmailualan ReFuelEU Aviation -aloitteella, joka toimii edistäjänä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukselle (EU) 2023/2405. Asetuksella määritetään muun muassa 2025 alkaen käytettävien kestävien lentopolttoaineiden vähimmäisosuus ja 2030 alkaen käytettävien synteettisten polttoaineiden vähimmäisosuus. Asetuksen mukaan vetyperäisiä lentopolttoaineita voidaan käyttää vähimmäisosuuskriteeriksi. Asetukseen sisältyy myös määräys EU:n lentoasemilla hyödynnettävän vedyn käytön edistämisestä. (Council and Parliament... 2023.) Traficom teettämän vetylentämistä koskevan selvityksen mukaan Suomen jokaisella lentoasemalla voidaan vedyn jakeluinfra rakentaa joko nestemäisen vedyn rekkakuljetusten ja paikallisen varastoinnin varaan tai tuottaa vety lentoasemalla paikallisella tuotannolla (Huhta, Heininen, Mäntynen & Pajarre 2023, 19, 42). Näin ollen myös siis Keski-Suomessa sijaitseva Tikkakosken lentoasemalla, huomiota ottaen kuitenkin paikallisesti tarvittavan infran kuten sähköverkon tarve.

Vetyperäinen synteettinen kerosiini nähdään tällä hetkellä pisimmälle edenneenä teknologiana lentoliikenteen polttoaineista muodostuvien päästöjen vähentämisessä. Aine on riittävän samankaltaista fossiiliperäisen kerosiinin kanssa, jotta sitä pystytään käyttämään ilman moottoriin tehtäviä muutoksia, mikä edistää sen käyttöönottoa. Synteettisen kerosiinin hinta ja saatavuus kuitenkin hidastavat sen käytön yleistymistä. Vedyn ja sen jatkojalosteiden käyttöä lentoliikenteen käyttöön tutkitaan ja kehitetään useiden lentoteknologia toimijoiden toimesta. (Global Hydrogen Review... 2023, 37-38.)

Muita liikkumisen muotoja

Vetyä käyttövoimanaan käyttäviä laitteita ja koneita kuten trukkeja, kaivoskoneita, kaivureita ja nostureita on kehitetty, testattu ja käyttöönotettu viime vuosina enenevässä määrin. Laitteissa ja koneissa käytetään tyypillisesti polttokennotekniikka, jossa vety muutetaan sähköksi. Vedystä muodostuu palaessaan ainoastaan vettä, jolloin se on hyvä vaihtoehto pakokaasu-kriittisissä toimintaympäristöissä kuten varastoissa tai kaivostunneleissa. Vetyä on alettu hyödyntää myös kevyen kaluston kuten moottoripyörien ja drone-laitteiden voimanlähteenä. (Global Hydrogen Review... 2023, 38-39.)

4.5 Energian varastointi, P2X jatkojalosteet ja sivuvirrat

Vihreän vedyn tuotanto edellyttää uusiutuvalla sähköntuotantomenetelmällä tuotettua sähköä. Näistä yleisen näkemyksen mukaan vedyn tuotannolle potentiaalisimmaksi tunnustetaan tuuli- ja aurinkovoimalla tuotettu sähkö. Nämä ovat kuitenkin erittäin riippuvaisia säästä. Ajoittain uusiutuvaa sähköä on tarjolla paljon ja ajoittain ei ollenkaan. Tämän vaihtelun tasapainottamiseksi energiaa tulisi pystyä varastoimaan suuren tuotannon aikaan ja kuluttamaan kertynyttä varastoa matalan tuotannon aikaan. Vedyn tuotanto ja edelleen jatkojalostus on tähän tasapainottamiseen soveltuva keino sen energiaintensiivisyyden vuoksi. Tuotettua sähköä kuvainnollisesti säilötään vedyksi ja sen jatkojalosteiksi, joita kulutetaan tarpeen mukaan matalan sähkön tuotannon aikana. (Renewable power-to-hydrogen... 2019, 10-11; Burre, Bongartz, Bré e, Roh, & Mitsos 2019, 76-77.)

P2X on lyhenne Power-to-x -termistä, jolla tarkoitetaan energian muuntamista toiseen muotoon. P2X-teknologioissa käytetään erityisesti hiilidioksidia, vetyä ja typpeä uusiutuvaa sähköä hyödyntäen. Tyypillisiä P2X-teknologian sovelluksia ovat fossiilisia polttoaineita korvaavien synteettisten polttoaineiden kuten metanolin, kerosiinin ja dimenyylieetterin valmistus. Synteettisistä polttoaineista käytetään myös käsitteitä sähköpolttoaine ja E-Fuel. Synteettisiä polttoaineita voidaan käyttää liikennepolttoaineina korvaamaan fossiilisia polttoaineita ja täten vähentää liikenteestä aiheutuvaa kasvihuonekaasujen kuormaa. LUT-yliopiston professori Jero Aholan mukaan ” Synteettisillä polttoaineilla on todella iso rooli liikenteen hiilineutraaliudessa. ”. VTT:n ja sen yrityskumppaneiden E-Fuel-hankkeessa on konseptoitu eri menetelmiä yhdistävä sähköpolttoaineen valmistus. Konseptin mukaista vedystä ja hiilidioksidista valmistettua polttoainetta testattiin ensimmäisen kerran käytännössä 21. marraskuuta 2023. (Power-to-x (P2X) - Mitä... 2023.; Vihreästä vedystä ja... 2023.)

Tanskan teknillisen yliopiston DTU:n fysiikan professori Jakob Kibsgaard nostaa esiin P2X-teknologian merkittävän roolin energian varastoinnissa. Suuren uusiutuvan sähköntuotannon aikaan sähköä voidaan varastoida P2X-teknologian keinoin muiksi aineiksi, joista energia voidaan vapauttaa sähkön tuotannon ollessa matalalla. P2X-teknologiaa pystytään soveltamaan myös ruoantuotantoon Ahola kertoo. Ruoan tuotannon sovelluksesta tarkemmin jäljempänä luvussa, jossa käsitellään muita käyttömahdollisuuksia ja innovaatioita. (Power-to-x (P2X) - Mitä... 2023.; Power-to-X - from green... n.d..) Vedystä muodostettavien jatkojalosteiden kuten synteettisen metaanin, synteettisen metanolin ja ammoniakkin käyttö ja hyödyntäminen ovat muiden tuotannon sivuvirtojen

kanssa tärkeässä roolissa hiilidioksidipäästöjen hallinnassa. Arvioiden mukaan hiilidioksidipohjaisten tuotteiden globaali tuotanto on tällä hetkellä alle neljännes vuoden 2030 arvioituun tasoon nähden. (Turunen 2023.) Täten voidaan vakuuttua merkittävästä kasvusta toimialasta riippumatta aiheen ja kyseisten aineiden parissa. Seuraavissa kappaleissa syvennyttään tyypillisimpiin P2X-tekniologiin ratkaisuihin.

Synteettinen metaani

Metaani (CH_4) on normaaliolotilassa kaasu, joka voidaan paineistamalla tai lämpötilaa laskemalla muuntaa nestemäiseen muotoon. Metaani luokitellaan kasvihuonekaasuksi. Metaania käytetään polttoaineena tai muuna hyödykkeenä esimerkiksi teollisuudessa sekä lähtöaineena muun muassa metanolin, ammoniakkin ja vedyn tuotannossa. Fossiilisesta maakaasusta noin 98 % on metaania. Näin ollen maakaasusta jalostettava puhdas metaani voidaan katsoa olevan fossiiliperäinen hyödyke. (Metaani 2023.)

Metaania voidaan tuottaa maakaasun lisäksi orgaanisesta aineesta. Mikrobien hajottaessa orgaanista ainetta hapettomassa tilassa syntyy niin kutsuttua biokaasua, jonka metaani pitoisuus on tyypillisesti 40-70 %. (Metaani 2023.) Biokaasua voidaan priimata eli prosessoida poistamalla siitä hiilidioksidia (CO_2). Tällöin jäljelle jää korkeamman metaanipitoisuuden omaavaa kaasua, jota voidaan hyödyntää maakaasun tavoin esimerkiksi liikennepolttoaineena. (Honkanen 2024.)

Suuri osa metaanista käytetään käytännössä maakaasuna. Maakaasua ja täten metaania hyödynnetään pääsääntöisesti energiaksi ja vedyn valmistukseen. Energia muodostetaan lähtökohtaisesti polttotekniikalla lukuisissa käyttökohteista mainitakseen esimerkiksi metsäteollisuuden, metallinjalostuksen, elintarviketeollisuuden ja sementtiteollisuuden käyttö. (Kaasu Suomessa n.d.) Sekä polttamisessa että vedyn valmistuksessa syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat hallitsemattomina merkittävä rasite ilmastolle.

Nykyteknologialla on mahdollista korvata käytettävä fossiilinen metaani synteettisellä uusiutuvalla metaanilla. Metaanista valmistettaessa vetyä, metaani (CH_4) pilkotaan höyryreformointi-tekniikalla vedyksi (H_2) ja hiilidioksidiksi (CO_2) (Vety 2023). Näin ollen käänteisellä toimenpiteellä, esimerkiksi Sabatieren reaktiolla voidaan hiilidioksidista ja vedystä valmistaa oikeissa olosuhteissa synteettistä metaania reaktioyhtälön 1 mukaisesti, muodostaen sivutuotteena ainoastaan vettä.

Käytettävän vedyn ollessa uusiutuvaa ja hiilidioksidin ollessa muun tuotannon kuten sementin valmistuksen sivuvirroista talteen otettua, voidaan synteettisen metaanin katsoa olevan hiilineutraalia. (Chen, Filot & Hensen 2023, 28.)



Fossiilisen metaanin korvaaminen uusiutuvalla synteettisellä metaanilla vähentäisi näin ollen erittäin suuren määrän hiilidioksidipäästöjä ja olisi näin merkittävä toimi hiilineutraaliutta kohti. Penninkankaan (2023, 48) mukaan synteettinen metaani parantaa kansallista huoltovarmuutta maakaasun käytön osalta. Lisäksi se tarjoaa mahdollisuuden uusiutuvan sähkön varastointiin ja hiilidioksidin hyödyntämiseen. Maakaasun ja sen sisältämän metaanin kokonaisvaltainen korvaaminen on haastavaa, mutta synteettisen metaanilla nähdään olevan käyttöä ja mahdollisuuksia erityisesti metsäteollisuuden toimintaympäristössä. (Penninkangas 2023, 46, 48.) IEA:n metaania käsittelevän raportoinnin mukaan metaanin vuosittaisia päästöjä voitaisiin vähentää teollisuuden aloista riippuen noin 70 % hyödyntäen nykyteknologisia ratkaisuja (Global Methane Tracker 2023, 20-22).

Synteettinen metanoli

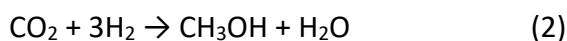
Metanoli CH_3OH esiintyy luonnollisesti kirkkaana nesteenä ja se on herkästi syttyvä ja ihmisen terveydelle vaarallinen kemikaali. Metanolia käytetään yleisesti liuottimena ja kemikaalien valmistuksessa raaka-aineena. Sitä käytetään myös polttoaineena sekä jäätymisenestoaineena. (Metanoli 2022.) LUT-yliopiston energiajärjestelmien yksikön dekaani Olli Pyrhönen tuo esiin metanolin käyttömahdollisuudet teollisuuden lisäksi liikenteessä fossiilisista polttoaineista irtauduttaessa. Pyrhösen mukaan metanolilla on mahdollisuus korvata liikennepolttoaineiden lisäksi myös raakaöljyn käyttö. (Mitä on vetytalous... 2022.)

IRENA:n ja Methanol Instituten 2021 julkaistun Innovation outlook renewable methanol -yhteisjulkaisun mukaan maailmanlaajuisesti metanolin käyttö vuonna 2019 oli lähes 100 miljoonaa tonnia ja se oli tuotettu lähtökohtaisesti maakaasusta ja hiilestä. Kyseisen fossiilista alkuperää olevan metanolin hiilidioksidipäästöt vastasivat noin 10 % koko kemianteollisuuden päästöistä, ollen noin 0,3 gigatonnia hiilidioksidia. Metanolin tuotannon ja kulutuksen määrä on vuotuisesti tasaisessa kas-

vussa ollen 2021 jo lähes 107 Mt. Tuotannon määrä on viime vuosina kasvanut noin 4,5 % vuosittain ja kasvun nähdään jatkuvan vähintään samalla tahdilla. (Innovation outlook renewable methanol 2021, 4; Production of methanol... 2023.)

Metanoli valmistetaan tyypillisesti fossiilista alkuperää olevasta maakaasusta monivaiheisessa prosessissa. Luukkonen on avannut tämän metanolin valmistuksen monivaiheisen prosessin 2023 valmistuneessa Vedyn jatkojalostus metanoliksi -kandidaatintyössään. Prosessi jakautuu kolmeen erilliseen vaiheeseen, joissa maakaasu tai vaihtoehtoisesti biokaasu jalostetaan metanoliksi. Prosessissa vapautuu hiilidioksidia. (Luukkonen 2023, 15-16.)

Kuten synteettisellä metaanilla voidaan korvata fossiilista alkuperää olevaa metaania, samoin voidaan tehdä metanolin kanssa ja näin ollen vähentää sen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Synteettistä metanolia voidaan valmistaa prosessoimalla hiilidioksidia (CO₂) ja vetyä (H₂) reaktioyhtälön 2 mukaisesti, jolloin lopputuotteeksi muodostuu metanolia ja vettä (Bellotti, Rivarolo & Magistri 2022). Vedyn ollessa uusiutuvaa ja hiilidioksidin ollessa talteen otettua esimerkiksi polttolaitoksen savukaasuista, syntyvä synteettinen metanoli on tällöin hiilineutraalia.



Ammoniakki

Ammoniakki NH₃ on normaalitilassa väritön voimakas hajuinen kaasu, joka nesteytyy helposti. Ammoniakki reagoi voimakkaasti monien muiden kemikaalien kanssa ja sillä on useita metalleja kuten kuparia ja alumiinia syövyttävä vaikutus. Ammoniakki on erityisen myrkyllinen vesieliöille. Jopa 85 % maailmanlaajuisesti käytetystä ammoniakista käytetään lannoitteiden valmistuksessa. (Chisalita, Petrescu & Cormos 2020.) Näin ollen sillä on merkittävä rooli globaalisti ruoantuotannossa. Ammoniakista valmistetaan myös monia typpiyhdisteitä kuten typpihappoa, ureaa, räjähdysaineita sekä muoveja. Ammoniakille on useita käyttökohteita muiden kemikaalien ja prosessien kuten värjäyksen käytössä. Ammoniakin ominaisuudet mahdollistavat sen käytön myös erilaisissa kylmälaitteistoissa. (Ammoniakki 2022.) Suomessa ammoniakkia käsittelee, jakelee ja jalostaa Yara Suomi Oy, joka tuo ammoniakin Suomeen pääosin laivarahtina ulkomailta. Yara jalostaa ammoniakista muun muassa mineraalilannoitteita, typpihappoa, ammoniakkivettä ja ammoniumnitraatti-liuosta

asiakkailleen. Ammoniakin ja siitä jalostettavien tuotteiden kirjo on varsin laaja. Yaran typpihappotuotannosta muodostuva lämpöenergia ohjataan kaukolämpöverkkoon tuotannon hyötysuhteen kasvattamiseksi. (Kankaanpää 2022, 1-3.)

Ammoniakin valmistuksessa fossiilista alkuperää olevasta vedystä muodostuu hiilidioksidipäästöjä 2,16 Mt tuotettua ammoniakki megatonnia kohden kuluttaen energiaa 30 GJ (Ghavam, Vahdati, Wilson & Styring 2021). Ammoniakin maailmanlaajuinen vuotuinen kulutus oli vuonna 2021 236,4 Mt. Käytön ennustetaan kasvavan tasaisesti ollen lähes 290 Mt vuonna 2030. (Production capacity of ammonia... 2023.) Näin ollen fossiilista alkuperää olevan ammoniakin vuotuiset hiilidioksidipäästöt olisivat ennusteen toteutuessa vuonna 2030 yli 600 Mt. Tuotannon edes osittaisella hiili-neutraaloinnilla olisi täten erittäin suuri vaikutus muodostuneisiin päästöihin.

Hiilineutraalia ammoniakkia voidaan valmistaa Haber-Bosch -menetelmällä uusiutuvasta vedystä (H₂) ja ilmasta talteen otetusta typestä (N) reaktioyhtälön 3 mukaisesti. Tuominen kuvaa Haber-Bosch prosessin vaiheet tarkasti LUT-yliopistossa 2023 valmistuneessa diplomityössään. Prosessi on monivaiheinen ja siinä hyödynnetään aineiden ominaisuuksia sekä lämpötilan ja paineen vaikutusta vedyn ja typen yhdistämiseksi ammoniakiksi. (Tuominen 2023, 40-41.)



Vihreän ammoniakin tuotannolla on merkittävä markkina ja sillä on valtava hiilidioksidipäästöjen vähentämisen potentiaali. Green North Energy'n toimitusjohtaja Jussi Ylisen mukaan vihreän ammoniakin valmistus uusiutuvasta vedystä olisi länsimaille lisäksi merkittävä askel venäläisestä maakaasusta irtautumiseen. Suomella nähdään olevan selkeä potentiaali vihreän ammoniakin valmistukseen täältä löytyvien tuotannon ja jakelun kulmakivien kuten tuulivoiman, puhtaan veden ja meriliikennemahdollisuuksien myötä. (Ylinen 2023.)

Sivuvirrat

Sivuvirrat ovat merkittävä osakokonaisuus vedyn käytön sektorilla. Edellä esitettyjen kemikaalien prosesseissa syntyy sivuvirtoja, erityisesti lämmön muodossa kuten ammoniakin valmistuksen energiakulutuksesta voidaan havaita. Sivuvirtojen jatkokäsittely ja hyödyntäminen luonnollisesti

kasvattaa prosessien hyötysuhdetta ja luo osaltaan uusia tai laajennettuja mahdollisuuksia jalostustoiminnalle. Vetyä hyödyntävien jatkojalosteiden ja sivuvirtojen osuus on tärkeässä roolissa vetytalouden kannattavuutta ja arvontuottoa tavoiteltaessa, joten toiminta tämän edistämiseksi tulee olla koordinoitua, tuettua ja yhteisiin tavoitteisiin ratkaisuja hakevaa (Turunen 2023).

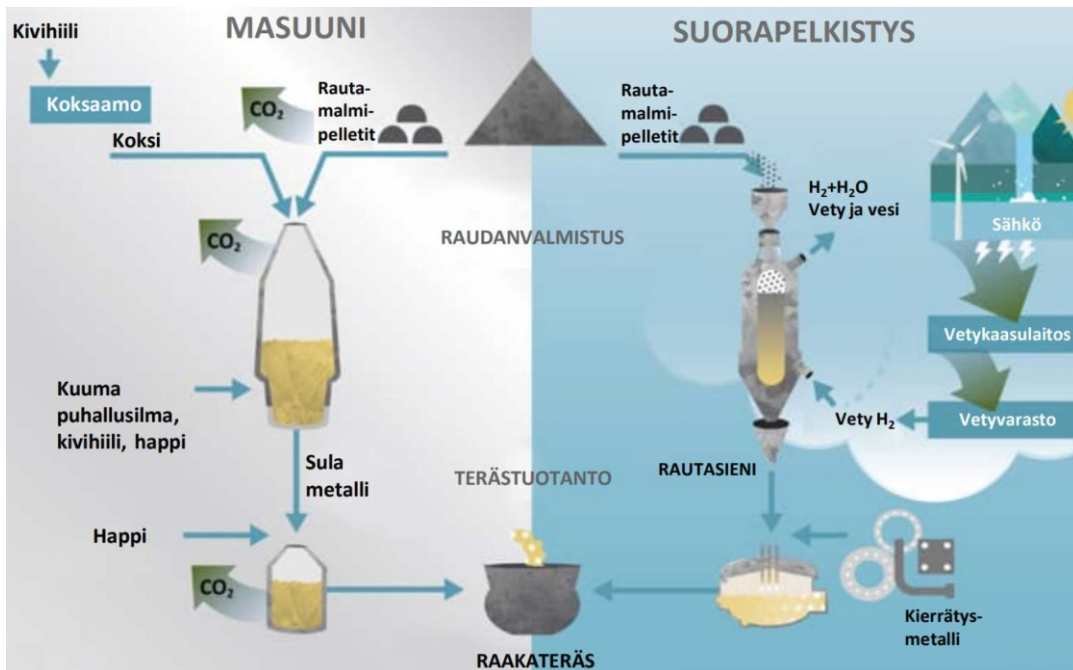
4.6 Terästeollisuus

Maailmanlaajuisesti terästä käytetään vuosittain noin 1,8 miljardia tonnia. Terästeollisuus tuottaa maailman hiilidioksidipäästöistä 7-9 % ollen noin 3,6 miljardia tonnia vuosittain. Terästeollisuuden valtavat päästöt muodostuvat teräksen valmistusprosessin eri vaiheissa. Jokaista tuotettua terästonnia kohden muodostuu noin 1,8 tonnia hiilidioksidipäästöjä perinteisessä hiiltä ja koksia käyttävässä tuotantoprosessissa. (Heikinmatti 2023 ; Sipola 2021.) Kuviossa 8 havainnollistetaan perinteisen masuuniteknikan käyttö ja käytön hiilidioksidipäästölähteet. Masuunissa sulatetaan rautamalmi ja kivihiilestä jalostettu koksi kuuman ilman, kivihiilen ja hapen avulla. Rautamalmissa oleva happi reagoi kuumuudessa hiilen kanssa muodostaen hiilidioksidia. Rautamalmi pelkistyy raudaksi hiilen irtautuessa sidoksesta. Masuunista sula rauta lasketaan konvertteriin, johon syötetään happea ylimääräisen hiilen pois palamiseksi. Sulasta raudasta palava hiili muodostaa taas hapen kanssa hiilidioksidia. (DRI production n.d. ; Hiili terästeollisuudessa n.d..)

2020 VTT:n julkaiseman vedyn tiekartan mukaan vuosittaisesta 140 000 – 150 000 tonnin vedyn kulutuksesta vain joitain satoja tonneja käytettiin terästeollisuudessa teräksen hapettumisen estämiseen (Laurikko ym. 2020, 21). Tähän on nähtävissä tuleva merkittävä muutos, joka lisää vedyn käyttöä terästeollisuudessa ja samalla vähentää terästeollisuuden valtavia hiilidioksidipäästöjä. Teräksen tuottaja SSAB:n, Energiayhtiö Vattenfallin ja kaivosyhtiö LKAB:n 2016 alkaneessa yhteishankkeessa on pilotoitu niin kutsutun vihreän teräksen tuotantoa. Hankkeessa vihreän teräksen tuotanto toteutetaan HYBRIT -teknologialla (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology).

Perinteinen ja vetyreaktiota hyödyntävä teräksenvalmistusprosessi on esitetty kuviossa 8. Kuviossa esitetään, kuinka suorapelkistyksellä HYBRIT-teknologiaa hyödyntämällä voidaan vedyllä korvata perinteisessä raudanvalmistuksessa käytettävät hiili, koksi ja happi. HYBRIT-mallissa käytetään pelkistetyn raudan eli niin kutsutun rautasiemen ja siihen sekoitettavan romuraudan sulatuksessa uusiutuvaa energiaa valokaariuunin tehollisena lähteenä. Tällöin käytettäessä prosessissa

uusiutuvaa vetyä ja uusiutuvaa sähköä, pelkistyksen sivutuotteena muodostuu hiilidioksidin sijasta pelkkää vesihöyryä. (Sipola 2021; HYBRIT – Edistysaskelia kohti... n.d.; Hämäläinen 2019.)



Kuvio 8. Teräksen valmistus menetelmät (Krankkala n.d., muokattu).

Kyseisellä prosessilla onnistuttiin jo vuonna 2021 tuottamaan fossiilivapaata terästä SSAB:n Oxelösundin tehtaalla Ruotsissa. SSAB:n Raahen terästehdas tuottaa Suomen hiilidioksidipäästöistä noin 7 %. Näin ollen Raahessakin valmistettavan fossiiliperäisen teräksen tuotantoa ja siitä muodostuvia päästöjä voidaan tulevaisuudessa korvata HYBRIT-tekniikan mahdollistamalla päästöttömän teräksen valmistuksella, jossa uusiutuva vety on merkittävässä roolissa. (Sipola 2021; HYBRIT – Edistysaskelia kohti... n.d.; Hämäläinen 2019.)

4.7 Öljynjalostus

Vedyn käyttökohteista käytetyn määrän perusteella yksi suurimmista on öljynjalostus. Käytettävä vety on tyypillisesti tunnusvärittään harmaata eli peräisin maakaasusta. Vedyn tuotannon ollessa suurta, myös ilmastoa kuormittavat harmaan vedyn valmistuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat suuret. Seuraavissa kappaleissa perehdytään vedyn käyttöön öljynjalostuksessa.

Vetyä käytetään öljynjalostuksen prosesseissa useassa vaiheessa. Yleisesti käytettyjä termejä vetyä hyödyntäville prosesseille jalostuksessa ovat hydrokrakkaus tai vetykrakkaus ja hydrotreater eli vetykäsittely. Krakkausprosessissa raakaöljyn rakennetta kuvainnollisesti pilkotaan irrottamalla siitä vetykaasun avulla eri tasoisia hiilivetyjä lämpötilaa, painetta ja reaktiota edistävää katalyyttiä sekä aineiden ominaisuuksia hyödyntämällä. Raakaöljy sisältää hiilivety-yhdisteitä ja sitä pilkkomalla muodostetaan kevyempiä hiilivety-yhdisteitä muodostaen esimerkiksi dieseliä, bensiiniä ja kerosiinia. Hydrotreater toiminnolla eli vetykäsittelyllä raakaöljystä ja hiilivedyistä puhdistetaan vetykaasun avulla epäpuhtauksia kuten rikki- ja typpiyhdisteitä. Jalosteen puhdistaminen parantaa lopputuotteen laatua ja täten vähentää sen polttamisesta muodostuvia epäpuhtauksia. Prosesseissa itsessään raakaöljystä ja jalosteista irtoaa vetyä, joka voidaan ottaa talteen ja hyödyntää prosessissa käyttämällä. U.S. Energy Information Administration (EIA) on jo vuonna 2013 julkaisemassaan vedyn käyttöä öljynjalostuksessa käsittelevässä artikkelissaan ilmaissut vedyn käytön hyödyllisyyden jalostustoiminnassa. Artikkelissa todetaan vetykrakkauksen edistävän erityisesti tulevaisuudessa käytettävien polttoaineiden puhtautta ja sitä myöden päästöjen hallittavuutta. (How does crude... 2021; Hydrocracking is an... 2013.)

Öljynjalostustoiminnassa käytetty vedyn määrä kasvoi 2022 uuteen ennätykseen 41 Mt vuoden 2018 jälkeisessä vertailuajanjaksossa. Käytetystä vedystä neljä viidennestä eli hieman alle 33 Mt tuotettiin paikanpäällä jalostamoilla. Määrästä hieman yli puolet eli noin 18 Mt tuotettiin tarkoituksella ja loput noin 15 Mt saatiin jalostusprosessin sivuvirtana. Loppu viidennes jalostuksessa käytetystä vedystä eli reilu 8 Mt hankittiin laitoksen ulkopuolelta, kuitenkin tyypillisesti hyvin läheltä jalostamoa toisen erillisen toimijan laitoksesta. Hankittu vety oli tyypillisesti fossiilista alkuperää. Kulutetun vedyn aiheuttamat CO₂ päästöt olivat 5,8 - 9,3 Mt jokaista tuotettua vety Mt kohden tuottaen täten kaikkiaan yhteensä 240-380 Mt hiilidioksidia ilmakehään. (Global Hydrogen Review... 2023, 22-23.)

Vuoteen 2050 mennessä tavoiteltavia hiilineutraaliustavoitteita kohti edetessä öljypohjaisten tuotteiden käyttö tulee luonnollisesti vähenemään uusiutuvien energiamuotojen käytön edetessä. Tämä vähentää luonnollisesti myös vedyn käyttöä jalostustoiminnassa. Tavoitteisiin pääsemiseksi tehtyjen laskelmien mukaan 2030 vetyä käytettäisiin öljynjalostuksessa alle 35 Mt, josta reilu 5 Mt olisi tuotettu vähäpäästöisin menetelmin. 2022 vähäpäästöistä vetyä käytettiin ainoastaan 0,25 Mt. (Mts. 23.) Tästä voidaan selkeästi havaita, että tavoitteisiin pääsemiseksi käytetyn vähäpäästöisen vedyn osuus tulisi kasvaa erittäin voimakkaasti.

4.8 Muita käyttömahdollisuuksia ja innovaatioita

Vetyperoksidi ja kaivosteollisuus

2020 tehdyn arvion mukaan Suomessa vuosittain käytettävästä 140 000 - 150 000 vetytonnista noin 7 % käytetään vetyperoksidin tuotantoon. Vetyperoksidia käytetään kemianteollisuudessa ja metsäteollisuudessa hyödykkeenä. Kaivosteollisuuden ja malminjalostuksen vedyn käyttö muodostaa vuosikulutuksesta noin 5 %. (Laurikko ym. 2020, 21.)

Korkean lämpötilan sovellukset

Monet teollisuuden prosessit tarvitsevat korkeaa lämpötilaa haluttujen reaktioiden aikaansaamiseksi. Tällaisia esiintyy kemianteollisuuden ja jalostamoiden toiminnan lisäksi terästeollisuuden masuuneiden ja sementin valmistuksessa käytettävien polttouunien prosesseissa. Korkean lämpötilojen saavuttaminen sähköisesti on vaikeaa, joten korkeat lämpötilat prosesseihin luodaan lähtökohtaisesti polttamalla maakaasua. Tämä on kuitenkin ilmastoa kuormittavia päästöjä aiheuttavaa palamista. Maakaasun korvaaminen vedyllä on mahdollista vedyn korkean palamislämpötilan ansiosta. (Vety teollisuusprosesseissa n.d.; Aurelia Turbines ja vety 2021.)

Muita vedyn pilottikäyttöjä

Vedyn käyttöä ja uusia mahdollisuuksia tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti ja monipuolisesti. Tutkimuskohteena tarpeelliseksi on nähty elintarviketuotannon päästöjen ja kulutuksen hillitseminen. Tästä esimerkkinä VTT:n ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimusohjelman myötä rakennetun Solar Foods Oy:n Solein-proteiinin kehitys ja valmistus. Solein-proteiini valmistuu mikrobeista, joita ruokitaan ravinnekaasuilla, jotka sisältävät muun muassa hiilidioksidia ja vetyä. Soleinin tuotanto edistää näin hiilidioksidin ja vedyn hyötykäyttöä vähentäen samalla paljon maa-alaa ja vettä kuluttavaa ja kasvihuonekaasuja tuottavaa eläinperäisen proteiinin tuotannon tarvetta. Solar Foodsin ensimmäinen Solein-proteiinin tuotantolaitos on määrä valmistua helmikuussa 2024 Vantaalle. (Food Out of Thin Air n.d.) Elintarvikeala, erityisesti paistamiseen ja kypsentämiseen liittyvät toiminnot ovat usein varsin energiantensiivisiä. Nykyisin paistamisessa käytettäviä polttoaineita kuten maakaasua korvataksaan ja hiilidioksidikuormaa vähentääksään AMF Den Boer on pilotoinut vetyä polttoaineenaan käyttävän leipomouunin. (AMF Den Boer... n.d..)

5 Vetytalouteen liittyvä teknologia ja osaaminen

5.1 Teknologian ja osaamisen tarpeellisuus

Vetytaloustoiminta ilman vedyn tuotantoa ja varsinaista käyttöä voi keskittyä muihin vetytaloutta edistäviin toimiin kuten osaamisen, toimintatapojen, teknologioiden ja yhteiskunnallisten rakenteiden luomiseen ja kehittämiseen laajempi mittakaavaisen vetytalouden edistämiseksi. Keski-Suomella on nähtävästi hyvät edellytykset toimia vetytalouteen liittyvän teknologian ja osaamisen keskittymänä. Seuraavissa kappaleissa syvennytään millaisia teknologiaan ja osaamiseen liittyviä asioita ja yhteyksiä vetytalouden edistymiseksi tarvitaan ja millaista kehitystä näiden suhteen on näkyvissä.

Teknologian tutkimuskeskus VTT käynnisti yhdessä useiden akateemisten tutkimus- ja koulutustahojen kanssa 2022 vetytalouden osaamista edistävän Suomen vetytutkimusfoorumin (Hydrogen Research Forum Finland, H2FINLAND). Foorumissa ovat mukava useat Suomen yliopistot, Luonnonvarakeskus ja VTT, joiden kumppaniverkostojen toimijat kattavat suuren osan vedyn arvoketjuista. Tutkimuksella ja koulutuksella on merkittävä rooli vetysiirtymässä. Vetytutkimusfoorumin tavoitteita ja tehtäviä on muun muassa tunnistaa vetytalouden luomia muutos- ja tutkimustarpeita ja edistää kansallista vetytoimintasuunnitelmaa ja tulevaisuudenvisiointia. Toiminnalla on tavoite tuottaa lisää osaamista luomalla uutta koulutustarjontaa sekä tuottaa tutkimukseen pohjautuvaa tietoa vetytaloutta koskevien päätösten tueksi. Yleisenä luonnollisena tavoitteena on lisätä Suomen kansainvälistä roolia ja vaikuttavuutta vetytalouden toimintakentällä. (Uusi vetytutkimusfoorumi kiihdyttää... 2022.)

VTT:n teollisuus ja vety -tutkimusalueen johtaja Antti Araston mukaan mullistavien innovaatioiden ja toimivien sovellusten syntyminen perusedellytys on riittävän laaja ja korkeatasoinen tieteellinen pohja. Oulun yliopiston professori ja Suomen vetytutkimusfoorumin koordinaattori Timo Fabritius kertoo Suomen vetytutkimusfoorumin olevan tärkeä toimi kansallisen vetytoimintasuunnitelman aikaansaamiseksi, joka hyödyttäisi Suomen kansainvälisen kilpailukyvyn edistämistä vetymurroksessa. (Uusi vetytutkimusfoorumi kiihdyttää... 2022.) Osaaminen on pystyttävä saattamaan konkreettiseksi toimiksi vetytalouden edistämiseksi. Vetytalouden kehittämisessä pätee luonnollisesti kysynnän ja tarjonnan markkinalait, eli vetyä on pystyttävä tuottamaan ja käyttämään järkevässä suhteessa toisiinsa kustannustehokkuuden saavuttamiseksi, tällöin monitahoinen teknologia ja osaaminen on välttämätön toiminnan edistämiseksi.

Kokonaisvaltaista ja monialaista kehitystä eteenpäin viemiseksi on perustettu Suomen vetyklusteri, Hydrogen Cluster Finland (HCF tai H2Cluster), joka koostuu useiden kymmenien yritysten ja yhdistysten sekä useiden liittojen ja toimialajärjestöjen verkostosta. Klusterin tavoitteena on edistää eri toimijoiden välistä yhteistyötä ja kehittää vetytalouteen liittyvää toimintaa hyödyntämällä eri sidosryhmien kykyjä ja osaamista. (About us n.d.) HCF on julkaissut tärkeitä tiekarttoja, strategisia esityksiä ja tiedotteita Suomen vetytalouden edistämisestä (Hydrogen Cluster Finland documents n.d.).

Kaikki vetytalouden parissa tehtävä toiminta sekä vaatii, että edistää vetyyn liittyvän teknologian ja osaamisen kehittämistä. Teknologisia ja osaamiseen perustuvia toimia ja niiden kehitystä tarvitaan monella sektorilla aina vedyn tuotannosta lopputuotteen myyntiin ja palveluihin sekä erilaisiin liittyviin toimiin kuten turvallisuuteen ja pelastustoimintaan liittyen. Suomen vetyklusterin tuottaman Suomen vihreän vedyn strategian mukaan Suomesta löytyy runsaasti osaamista ja kokemusta teollisuudesta, erityisesti metalli-, meri-, kemian- ja jalostusteollisuuden sektoreilta. Tämä yhdistettynä vahvaan tutkimus- ja kehitysosaamiseen ja koulutuslaitosyhteistyöhön antaa Suomelle hyvät lähtökohdat kasvaa Euroopan vetytalouden edelläkävijäksi. Strategiassa esitetyistä kolmesta Suomelle hyödyllisimmästä aihe alueesta yksi on juuri teknologian ja palveluiden laajentaminen ja vienti, jonka ennustetaan tuottavan Suomessa jo vuonna 2035 15-20 miljardin euron vuositulot kasvaen vuoteen 2045 jopa 31-39 miljardiin. (Clean hydrogen economy... 2023, 10-11, 15.) Tätä teknologiateollisuuden mahdollisuutta tukee IRENAN näkemys, jonka mukaan laitteiden kuten polttokennojen ja elektrolyysereiden valmistukseen osallistuminen voisi edistää liiketoimintaa (Hydrogen Economy Hints... 2022).

Yleisesti tiedostettu vetytaloudessa tarvittavan ja hyödynnettävän teknologian ja osaamisen luettelo on pitkä ja sitä voisi laajentaa edelleen sen lisäksi, että se päivittyy jatkuvasti vetytalouden kehittyessä. Toimivaa teknologiaa, uutta- ja lisäosaamista tarvitsevia osa-alueita voivat olla esimerkiksi yleisesti aiheen parissa käsitellyt seuraavat aihealueet:

- Uusiutuvan sähkön tuotanto ja jakelu
- Vedyn tuotanto ja jakelu
- Veden käsittely ja käyttö
- Sivuvirtojen kuten lämmön ja hapen käsittely
- CCUS
- Biotuotteet

- Jatkojalosteet ja niiden hyödyntäminen
- Polttokenno-, varastointi-, käyttö- ja vastaavat teknologiat
- Liikennesektori: Vedyn ja jatkojalosteiden käyttö, jakeluinfra, tankkausinfra, ajoneuvo-kalusto, huolto- ja korjaustoiminta
- Kiertotalous-, tuotanto- ja tehokkuusosaaminen
- Liiketoiminnan luonti sekä liiketoiminnan ja talouden ohjaus (ennustus, seuranta ja vaikutukset)
- Koulutus ja osaamisen ylläpito
- Maankäyttö, kaavoitus, lupamenettely, YVA
- Infran rakentaminen, huolto ja kunnossapito
- Automaatio, ICT, digitalisaatio, kyberturvallisuus ja tekoäly
- Juridiikka
- Vaarallisten aineiden käsittely ja hallinta
- Turvallisuus ja pelastustoimi
- Kuluttaja-, tuottaja-, sidosryhmäneuvonta

Näistä aihealueista usea on edustettuna Keski-Suomessa monipuolisen teollisuuden, teknologian ja osaamisen osalta, joten seuraavissa luvuissa käsitellään Keski-Suomen tarjontaa näiden aiheiden parissa.

5.2 Teknologiaa Keski-Suomessa

Keski-Suomessa on pitkät perinteet monipuolisen teollisen toiminnan ja teknologian parissa. Keski-Suomen ehkä tunnetuimmat toimijat liittyvät vahvasti metsä- ja metalliteollisuuteen. Näihin kuuluvat paperikoneita ja teknologisia ratkaisuja kehittävä ja toimittava Valmet Technologies Oy, metsäsektorin monipuolisia jalostustuotteita tuottavat Äänekoskella sijaitsevan Metsä Groupin integraatin toimijat Metsä Wood, Metsä Fibre ja Metsä Board sekä Jämsässä sijaitseva UPM Jämsänkosken paperitehdas.

Nämä toimijat ovat toimillaan ja kehityksellään edistäneet alueelle useiden muiden toimijoiden syntyä ja laajentumista. Tällaisia ovat muun muassa Suolahdessa traktoreita ja teknologiaa valmistava AGCO-konserniin kuuluva Valtra Oy Ab, Äänekoskella Metsä Groupin toimintojen kanssa yhteistyötä tekevät kemianteollisuuden toimija Nouryon Chemicals Finland Oy ja resurssien tehosta hyödyntämistä toteuttava ja kehittävä Veolia. Kemianteollisuuden parissa toimii myös Jämsänkoskella International Flavors & Fragrances (IFF) konserniin kuuluva entsyymivalmistaja Genencor International Oy.

Metalli- laitevalmistusteollisuuden toimijoita Keski-Suomesta löytyy useita. Voimansiirtoon erikoistuneet toimijat Flender Finland Oy ja DB Santasalo valmistavat Jyväskylän Eteläportissa esimerkiksi laakereita, hammaspyöriä ja vaihteistoja muun muassa tuulivoimaloissa hyödynnettäväksi (Flender 2023; DB Santasalo 2023). Jätehuoltoon erikoistunut ympäristöteknologia yritys Tana Oy kehittää ja johtaa monipuolisia jätteenkäsittelyyn tarkoitettujen koneiden ja laitteiden kuten kaatopaikkajyrien, repijöiden ja seulojen kehitystä ja tuotantoa Jyväskylästä käsin (Tana Oy n.d.). Teknologiaratkaisuja erityisesti kone- ja prosessiautomaatioon sekä mittaus- ja testauslaitteita muun muassa tuulivoimaloiden toiminnan varmistamiseksi toimittavalla Kontram Oy:llä on toimipiste Jyväskylässä. Kontramin valikoimista löytyy myös vetysovelluksiin tarkoitettuja komponentteja kuten venttiilejä ja veden käsittelyssä käytettäviä vesikeskuksia. (Vety ja uusiutuvat energialähteet n.d.)

Keski-Suomessa energiaratkaisuja esimerkiksi veden, sähkön ja kaukolämmön tuotantoa ja jakelua toteuttavat muun muassa ALVA-yhtiöt Oy, Loimua Oy sekä Keuruun energia ja Elenia. Biokaasua Keski-Suomessa tuotetaan ja jaetaan liikennekäyttöön viidellä toimipisteellä Mustankorkean, Metener Oy:n, Gasumin ja Joutsan Ekokaasun toimesta (Tankkausasemat n.d.). Keski-Suomen uusiutuvan sähkön tuotantoa tuulivoimatuotannon keinoin avataan edellä vedyn tuotantoa käsittelevässä luvussa.

Liikenteeseen ja liikkumiseen liittyen Keski-Suomelle merkittävä tekijä on elokuussa 2023 allekirjoitettu aiesopimus, jossa Toyota Gazoo Racingin World Rally Team (TGR-WRT), Jyväskylän kaupunki ja Toyota Mobility foundationin (TMF) sopivat yhteistyöstä. Aiesopimus eteni yhteistyön syventymiseen toimijoiden allekirjoitettua 19.1.2024 perustamispöytäkirjan toimijoiden välisen yhteistyösäätiön CEFMOF (Central Finland Mobility Foundation) perustamiseksi (The City of Jyväskylä... 2024). Yhteistyön konkreettisena kärkiteemana on perustaa Jyväskylän ja Laukaan rajalle Majajärven alueelle mittava hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen tähtäävä TGR-WRT-teknologiakeskus. (Rieki 2023.) TGR-WRT:llä on nykyään toimitilat Jyväskylän Jyskässä.

Liikenteen vähähiilisyystavoitteita käsiteltiin aiemmin vedyn käyttöä maantieliikenteessä käsittelevissä kappaleissa. Vaikkei vetyä vielä käytetä Keski-Suomessakaan liikennekäytössä, on kehityksen suunta kuitenkin vahvasti kohti vähähiilisiä kuljetuksia. Tämä näkyy Keski-Suomen liikenteessä useiden kuljetuksia toteuttavien toimijoiden kuten Rekka Groupin, Kuljetusliike Taipale Oy:n, Postin ja Mustankorkean vastuullisuuslausekkeissa ja fossiilittomia kuten biokaasua polttoaineenaan

hyödyntävinä ajoneuvoina. Vedyn liikennekäyttöä Keski-Suomessa edistää jo aiemmin esitelty Viireon Hydrogenin vetytankkausaseman suunniteltu sijoittuminen Jyväskylän Seppälänkankaalle.

Muita Keski-Suomessa esiintyviä teknologian ja vetytalouden mahdollisuuksiin yhdistettäviä ratkaisuja tarjoavat esimerkiksi kemian sektorilla Laukaan Vihtavuoressa toimivat räjähdeaineita valmistavat Oy Forcit Ab ja Nammo Vihtavuori Oy. Sementti- ja betonituoteteollisuuden teknologiaa Keski-Suomessa edustavat useat toimijat kuten HB-Betoniteollisuus Oy.

5.3 Keski-Suomen koulutuksen ja osaamisen tarjonta

Monipuolisen teknologia- ja palvelutarjonnan tuottamisen mahdollistaa vahva osaaminen ja sen hyödyntäminen. Seuraavissa kappaleissa keskitytään Keski-Suomen osaamis- ja koulutustarjontaan.

Jyväskylän yliopisto, JYU

Keski-Suomesta löytyy yksi Suomen kolmestatoista yliopistoista, Jyväskylän yliopisto. Yliopiston tarjontaan kuuluvat humanistis-yhteiskuntatieteellinen -, informaatioteknologian -, kasvatustieteiden ja psykologian -, liikuntatieteellinen- ja matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta sekä kauppakorkeakoulu, jotka mahdollistavat yli sadan eri oppiaineen opiskelun. Yliopiston tarjonta on laaja, monipuolinen ja se kohdentuu tarkasti moneen edellä listattuun vetytalouden aihealueeseen. Erityisesti itse vedyn, sen jatkojalosteiden ja muiden vetytaloudessa käsiteltävien aineiden käsittelyyn ja tutkimukseen löytyy kattavat mahdollisuudet matemaattis-luonnontieteellisen tiedekuntaan kuuluvista bio- ja ympäristötieteiden -, fysiikan -, kemian - ja matematiikan ja tilastotieteen laitoksilta. Nämä yhdistettynä informaatioteknologian tarjoamaan IT-alan osaamiseen ja usean kansainvälisen akkreditoinnin omaavaan kauppakorkeakoulun tarjontaan mahdollistuu kasvatustieteiden tuella koko vetytalouden arvoketjut läpileikkaavan erittäin merkittävä osaamis- ja koulutuskokonaisuus. (Tiedekunnat, laitokset ja erillislaitokset n.d..)

Jyväskylän yliopistosta valmistuu vuosittain hieman alle 3000 tutkintoa, josta reilu puolet on maisteritutkintoja, noin 1250 kandidaatin- ja noin 120 tohtorin tutkintoa (Tutkinnot 2022: Onnittelut... 2023). Yliopiston toimintaan kuuluu oleellisesti erilaisten tutkimusryhmien toiminta ja tutkimus-

hankkeet, joita tehdään myös vetytalouden osa-alueisiin liittyen. Hydrogen Cluster Finlandin teettämän selvityksen mukaan Jyväskylän yliopiston vetytalouteen liittyvä TKI-toiminta on vahvaa ja tulevaisuuteen tähtäävää etenkin vedyn valmistukseen liittyvän tutkimuksen osalta, jossa hyödynnetään yliopiston suurteholaskennan ja koneoppimisen osaamista (Yliopistojen ja tutkimuslaitosten... 2022, 27-28).

Tällä hetkellä yliopistolla on käynnissä esimerkiksi Fysiikan ja Kemian laitoksien yhteinen vuosille 2022-2024 ajoittuva hanke, jossa tutkitaan vedyn tuotannossa tarvittavia katalyytteja ja konseptoidaan niiden suunnittelua koneoppimista hyödyntäen (Suuritehoista koneoppimista uusien... n.d). Lisäksi yliopistolla on käynnissä vety- ja kiertotalouteen liittyvä KRIIT (Kriittiset raaka-aineet tietoon, talteen ja kiertoon) -hanke, jonka tavoitteena on kasvattaa osaamista kriittiseksi määriteltujen alkuaineiden kuten jalometallien talteenotossa ja hyödyntämistä kasvattamisessa (Kriittiset raaka-aineet tietoon... n.d.). Yliopisto tekee yhteistyötä ja yhteishankkeita myös Jyväskylän ammattikorkeakoulun kanssa.

Jyväskylän ammattikorkeakoulu, JAMK

Keski-Suomessa toimii kansainvälisesti tunnettu Jyväskylän ammattikorkeakoulu. JAMKin toiminta perustuu vuosille 2020-2030 luotuun strategiaan nimellä Osaaminen kilpailukyvyksi. JAMK tuottaa arvojen, missionsa ja visionsa mukaisesti koulutusta, TKI-työtä ja palveluita asiakkailleen toimilupaansa mukaisilta aloilta. Visiossaan JAMK toimii kansainvälisesti tunnustettuna uuden sukupolven korkeakouluna (USK), jonka toiminta perustuu vastuullisuuden ja luottamuksen lisäksi luovuuteen, ja sen tarkoitus on vastata alati muutoksessa olevaan työelämään ja oppimiseen, huomioiden taloudelliset vaatimukset. Strategiassa esitetään JAMKin tiedostetut osaamisalueita yhdistävät kolme vahvuusala ja kolme nousevaa alaa, jotka ovat linjassa Jyväskylän seudun tavoitteiden ja Keski-Suomen maakuntastrategian kanssa. Vetytalouden kannalta voidaan nähdä merkittävimmiksi vahvuusaloiksi biotalouden ja sovelletun kyberturvallisuuden alat ja nousevista aloista automaation ja robotiikan alan lisäksi uudistetun oppimisen ala. Yhteistyötoimijoiden kanssa tehtävällä tiiviillä, kattavalla ja osallistavalla vuorovaikutuksella JAMKin on mahdollista kehittää osaamista ja kilpailukykyä kansainvälistyvässä toimintaympäristössään. (Osaaminen kilpailukyvyksi n.d.).

Jyväskylän ammattikorkeakoulussa on mahdollisuus opiskella 8 eri alalla lähes 50 eri tutkinnossa, jotka tuottavat vuosittain yli 1500 alansa ammattilaista (Jamk n.d.). Vetytalouden teknologian näkökulmasta merkittävin JAMKin toimista on teknologiayksikkö, joka koostuu Biotalousinstituutista, IT-instituutista ja Uudistuvan teollisuuden instituutista. Teknologiayksikkö toimii kouluttajana sekä kehittäjänä luomalla yksilöille ja yhteisöille kilpailukykyä. Teknologiayksiköstä vetytalouden kehitykselle merkityksellisen tekee siihen kuuluvien koulutusalojen eli ICT- luonnonvara- ja tekniikan alan tarjoamat lukuisat AMK ja YAMK tason toteutukset kuten Cyber Security -, agrologi - sekä sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinnot. (Jamk n.d..)

Teknologiayksikön TKI-toiminta kohdistuu JAMKin strategian mukaisesti useiden kymmenien projektien laajuudella automaatioon ja robotiikkaan, biotalouteen sekä sovellettuun kyberturvallisuuteen. Koulutuksen ja hankkeiden lisäksi teknologiayksikkö tarjoaa kymmenittäin laaja-alaisia asiantuntijapalveluita esimerkiksi vesiensuojelun ja kyberturvallisuuden parissa sekä tuotekehitys- ja testauspalveluita esimerkiksi biomassojen käsittelyn ja betonintestauspalveluiden parissa. Näiden lisäksi tarjontaan kuuluvat mm. biotalouden ja johtamisen koulutus- ja kehittämispalvelut esimerkiksi viranomaisille ja tutkimuslaitoksille. JAMKin strategian mukaisesti hankkeita, projekteja ja toimintaa edistetään useiden yhteistyökumppaneiden kuten Jyväskylän yliopiston ja VTT:n kanssa. (Jamk n.d..)

Vetytalouden edistämiseen liittyen JAMKilla on alkanut 1.1.2024 konsortiohanke gH2ADDVA - Lisäarvoa uusilla vihreillä vetyteknologioilla energiantuotantoon, siirtoon ja hyödyntämiseen. Hankkeen tavoite on saattaa näkyväksi, hyödynnettäväksi ja kehittää Keski-Suomen ainutlaatuista osaamista useilla osa-alueilla. Näihin kuuluvat ennen kaikkea uudet teknologiat vedyn ja energian parissa, optimointiratkaisut sekä verkostoitumisen vahvistaminen. Hankekokonaisuus koostuu kehittämishankkeesta ja investointihankkeesta, jotka tullaan toteuttamaan hankkeen päättymiseen 30.6.2026 mennessä. (GH2ADDVA - Lisäarvoa uusilla... 2024.)

Muuta koulutusta ja tietoa

Keski-Suomesta löytyy korkeiden koulutusasteiden lisäksi laaja tarjonta myös muita koulutustasoja ja mahdollisuuksia lukioiden, ammattikoulujen ja erilaisten opistojen muodossa. Kattavana oppimisen ja kouluttamisen toimijana Keski-Suomessa toimii Jyväskylän koulutuskuntayhtymä Gradia,

johon kuuluu sekä ammattiopisto että usea lukio. Lukioiden tarjoaman yleissivistyksen lisäksi vetytaloudelle merkityksellistä tulevaisuuden osaamista tarjotaan Gradian ammattiopistossa, jossa voi opiskella useita erilaisia ammatti- ja erikoisammattitutkintoja muun muassa kone- ja tuotantotekniikan, liiketoiminnan, logistiikan, sähköalan sekä yrittäjyys ja johtamiskoulutuksen parissa. (Gradia n.d.) Koulutuksen mahdollistama osaaminen ja toimintakyky on luonnollisesti ehdoton edellytys tulevaisuuden vetytaloudenkin kehitykselle.

Vetytalouden kiinnostavuus ja uutuusarvo on tuottanut aiheen parissa erilaisia tietoisuutta lisääviä koulutuksia ja tiedonjako tilaisuuksia, jotka ovat lähtökohtaisesti verkossa suoritettavia, eivätkä siten ole paikallisuussidonnaisia Keski-Suomeen. Suomen tekniikan alan yhdeksän yliopiston muodostama FITech (Finnish Institute of Technology) verkostoyliopisto, johon Jyväskylän yliopistokin kuuluu, tuottaa koulutuskokonaisuuksia hanke muotoisina toteutuksina. FITechin uusin hanke ”Hydrogen” on 2023-2025 toteutettava vetytalouden opintokokonaisuus, joka kokoaa yhteen eri yliopistojen vetytalouteen liittyvän opintotarjonnan. Kurseja on tyypillisesti tarjolla neljästä kahdeksaan. Hankkeen aikana on tavoite yhdistää vetytalouden koulutus pysyvästi osaksi yliopistojen koulutuksia. Jyväskylän yliopisto tuottaa koulutuskokonaisuuteen kemiaan painottuvan vedyn tuotantoon ja sähkö- ja fotokatalyyttisissä menetelmissä käytettäviin materiaaleihin liittyvän kurssin nimellä Catalytic processes and materials in sustainable hydrogen production. (Uusi vetytalouden koulutuskokonaisuus... 2022; FITech Hydrogen n.d.)

Vaasan ja Turun AMK:t toteuttavat yhteistyöhankkeen nimellä Energiatuotannon rakennemuutoksen tuomat osaamistarpeet: Vetytalous. Hankkeessa on tavoitteena toteuttaa kaikille avoin koulutuskokonaisuus vedyn tuotantoon ja vetytalouden arvoketjuihin liittyen. Koulutus koostuu kudesta opintojaksosta, jotka ovat tarkoitus järjestää kolmesti vuosien 2023 ja 2024 aikana. (Vedyntuotanto ja vetytalouden arvoketjut n.d.) Asiantuntijapalveluita tuottava Ramboll on toteuttanut ja toteuttaa vuosina 2023 ja 2024 avointa vetytalouskoulutusta kurssimuotoisena toteutuksena, jonka kouluttajina toimivat Rambollin ja VTT:n asiantuntijat (Vetytalouskoulutus n.d.).

Asiantuntijuus- ja osaamisyksiköt

Keski-Suomessa toimii useita asiantuntijuutta omaavia ja sitä käytettäväksi tarjoavia toimijoita. Asiantuntijuus ja osaaminen eivät ole kuitenkaan kriittisiä alueellisesta sijoittumisesta, mutta seuraavien esiteltyjen toimijoiden alueelle sijoittuminen voidaan nähdä olevan enemmän eduksi kuin

haitaksi alueellisen toiminnan edistämisessä. Julkisen tahon vetytalouteen liittyviä toimijoita alueella ovat esimerkiksi Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Luonnonvarakeskus Luke, Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ELY sekä maakunnankehittäjänä toimiva Keski-Suomen liitto. Näillä jokaisella on omalta toimialaltaan selkeä yhteys vetytalouden edistämistä ajatellen.

VTT tuottaa tutkimus ja kehitystoimintaa sekä palveluita vetytalouden parissa muun muassa P2X- ja CCUS-tekniologioihin liittyen (Vetyteknologia ja polttokennot n.d.). VTT:llä on Jyväskylässä monikäyttöiset ja modernit tilat, joissa voidaan toteuttaa käytännönläheistä tutkimusta. Luke tekee vetytalouteen liittyvää tutkimustyötä erityisesti tieteidenvälisen tarkastelun näkökulmista. Luken vahva osaaminen erityisesti biologisista prosesseista ja elinkaarilaskennasta tekee Lukesta varteenotettavan toimijan vedyn ja sen jalostetuotannon ympäristövaikutusten arvioijana. (Energiaa vai tuotteita?... 2023.)

Keski-Suomen ELY-keskus tukee laaja-alaisesti mm. alueellisten ilmastotavoitteiden saavuttamista, kiertotaloutta ja luonnon monimuotoisuutta tavoitellessaan hiilineutraaliutta. ELY-keskus toimii yhteistyössä useiden sidosryhmien kanssa ja pyrkii laaja-alaisesti edesauttamaan alueellisesti asetettuja tavoitteita, joihin vetytaloudenkin toimet voidaan kehityksen edetessä vahvasti yhdistää. (Ilmastotyö Keski-Suomen ELY-keskuksessa. 2022.) Keski-Suomen liitto toimii aktiivisena maakunnan toiminnan kehittäjänä ja alueellisena toimijana eri sidosryhmien yhteistyössä. Keski-Suomen liitto on toteuttanut uuden alueellisen Maakuntakaava 2040:n. Tällä maakuntakaavoituksen suunnittelun avulla se edesauttaa maakunnan alueiden tehokasta käyttöä ja saavutettavuutta. Lisäksi se rahoittaa maakuntastrategian ja -ohjelman mukaisia hankkeita. (Keski-Suomen liitto n.d.)

Keski-Suomessa, painottuen Jyväskylään ja sen lähiympäristöön toimii useita kansainvälisesti toimivia asiantuntijatoimijoita kuten suunnittelun ja konsultoinnin liiketoimintapalveluita tuottavia organisaatioita. Vaikkakaan näiden toimialalla toteutettava tiedon jakaminen ja sen käyttäminen eivät ole maantieteellisesti sidonnaisia asioita, voidaan alueelle sijoittuva organisaation toimipiste olettaa nähtävän tärkeänä alueelliseen kehitykseen sitouttavana tekijänä. Asiantuntijaorganisaatioita on useita ja niiltä löytyy erittäin suuri tarjonta erilaisia vetytalouden edistämisessä hyödynnettäviä palveluita. Jyväskylässä sijaitsee muun muassa Naantaliin vihreän vedyn ja ammoniakkin tuotantolaitosta suunnittelevan hankekehitysyhtiö Green North Energy emoyhtiö Elomatic Oy:n

toimipiste. Elomatic tarjoaa asiakkailleen kattavasti esimerkiksi energiateollisuuteen kohdistuvia vähähiilisyttä edistäviä ja hukkalämmön hallintaan liittyviä kokonaispalveluita. (Vähähiilinen energia ja... n.d.).

Jyväskylässä toimipistettä pitää myös muun muassa projektijohtamista ja energiakonsultointipalveluita tuottava Fimpec. Fimpecin yksi merkittävä vetytalouden parissa tekemä toiminta kohdistuu P2X Solutionsin kanssa tehtävään yhteistyöhön, johon kuuluu myös Harjavallan vihreän vedyn tuotantolaitoksen rakentamisen hankinnasta ja aikataulutuksesta vastaaminen (Fimpec mukana vihreän... 2022.). Muita Jyväskylässä vaikuttavia vastaavia konserneja ovat mm. Rejlers, Ramboll, Afry ja Sweco. Keski-Suomen alueen asiantuntijuuspotentialiaali on näin ollen erittäin suuri.

6 Arvoketjumalli arvon muodostamisessa

Arvoketju (eng. value chain) käsitteenä on tullut esiin vuonna 1985 Harvardin yliopiston tutkija Michael E. Porterin esittämänä kirjassaan *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Alun perin arvoketjulla kuvattiin yrityksen toimintojen ja toimenpiteiden joukkoa, joiden mukaisesti toimimalla ja niitä toteuttamalla yritys pyrkii tuottamaan tuotetta tai palvelua markkinoille kilpailijoitaan tehokkaammin, niin kustannuksellisesti kuin tuotannollisesti. Yritysten välistä kilpailuetua on mahdollista löytää juurikin arvoketjujen eroavaisuuksista. (Porter 2004, 36.) Simatupangin ja muiden (2017) artikkelin mukaan arvoketjulla on myöhemmin alettu esittämään myös alkuperäistä laajempaa toimintaa kuten organisaatioiden välisiä toimintoja, jotka tähtäävät arvon luontiin ja hyödyntämiseen. Arvoketjulla voidaan käsittää koko tuotteen arvon muodostuminen raaka-aineesta valmiiksi käytettäväksi tuotteeksi. Arvoketju on ikään kuin arvon tuottamisen kokonaisprosessi. (Simatupang, Piboonrunroj & Williams 2017, 3-4.) Yritysten toiminnassa arvoketjuja voi muodostua useita peräkkäin ja myös rinnakkain saman toimenpiteen ympärille.

Porter havainnollistaa tätä kuvaajalla, jossa esitetään yrityksen asiakkaalle toimitettavaan tuotteeseen liittyvät arvoketjut, kuvion 9 mukaisesti. Arvoketjun ydinosien rinnalla kulkevat tukitoimet, jotka mahdollistavat arvoketjun toiminnan. Tuotteen matka koostuu hankkijoiden, yrityksen, jakelukanavien ja asiakkaiden arvoketjuista. Tukitoimina voidaan nähdä erilaiset resurssit kuten esi-

merkiksi henkilöstö ja laitteet sekä osaaminen ja koulutus. Porter käyttää tästä termiä value system, joka voidaan suomentaa termiksi arvojen järjestelmä. Huomioitavaa on, että tässä asiakkaiden arvoketjut muodostavat arvoketjuja muille toimijoille. (Porter 2004, 34-36)



Kuvio 9. Ydin osat ja tukitoimet arvojen järjestelmänä (Porter 2004, 35-36).

Porter kirjoittaa kirjassaan myös vertikaalisista sidoksista (eng. vertical linkages), joilla viitataan juurikin eri toimijoiden arvoketjujen toisiaan hyödyttäviin sidoksiin, joilla ne tuottavat sekä itselleen että toisilleen hyötyä. Esimerkkinä tästä Porter kuvaa hankintaketjua, jossa raaka-aine tai tuote kuljetetaan jatkojalostajalleen useammassa erässä huolellisesti pakattuna ja tarkistettuna, jolloin jatkojalostajan ei tarvitse käyttää resursseja tuotteen varastointiin, tarkastamiseen ja jälleen lähetyksen pakkaamiseen. Tällöin molemmat toimijat hyötyvät toimivan arvoketjusidoksen mahdollistamasta kustannusvaikutuksesta. (Porter 2004, 50-51.) Vastaavasti kuin Porter, Renesas Consultingin toimitusjohtaja Niclas Lindgren kuvaa arvoketjua nyky maailman toiminnoissa moniulotteiseksi verkostoksi jolloin kuvaavampi nimi arvoketjulle voisi olla hänen mielestään arvoverkko. Lindgren kuvaa arvoketjua tavaksi ajatella ja hän esittää, että arvoketjun jokaisen vaiheen tulee olla lähtökohtaisesti arvoa tuottava. (Lindgren 2021.)

Arvoketju tulee aina kohdistaa käsiteltävään asiayhteyteen. Liian laajalle alueelle määritetty arvoketju voi jättää piiloon oleellisia yksittäisiä tekijöitä. (Porter 2004, 36.) Vaikka arvoketju käsitteenä liitetään lähtökohtaisesti yrityksiin ja niiden liiketoimintaan, on se sovellettavissa helposti myös asioiden ja tekijöiden toisilleen tuottaman lisäarvon muodostamiseen. Näin ollen arvoketjuksi voidaan esittää minkä tahansa asioiden ja tekijöiden ketju, jonka jokainen vaihe tuottaa edellistä vaihetta arvokkaamman lopputuloksen ja sitä myöden kasvattaa arvoketjun tuottamaa kokonaisarvoa. Tämä arvon muodostuminen ja sen tarve pätevät myös vetytalouden kehittämiseen ja kehittymiseen.

Sivill ja muut (2022, 125-126) esittävät selvityksessään vetytalouden arvoketjujen kulminoituvan muutamiin toistuviin ydinosiin, joita myös VTT esittää kuuluvan Suomelle mahdollisiin vetytalouden arvoketjuihin. Nämä löytyvät myös kansainvälisen tekniseen testaukseen ja tarkastukseen erikoistuneen TÜV:n (Technischer Überwachungsverein) vetytalouden arvoketjujen näkemyksestä. (Vetyarvoketjussa on tilaa... 2023; Explore the hydrogen... n.d.). Sivill ja muiden (2022) selvityksessä ydinosia kuvataan olevan viisi yksittäistä kokonaisuutta. Kokonaisuudet ovat päästöttömän energian tuotanto ja siirto, vedyn tuotantoteknologiat, vedyn käsittely mukaan lukien varastointi, logistiikka ja jakelu sekä vedyn johdannaistuotteet joiden lisäksi vedyn erilaiset käyttökohteet. Selvityksessä nähdään toimivan vetytalouden kannalta ydinosien lisäksi tarvittavan arvoketjujen poikkeikkaavia tukitoimia. Näillä mahdollistetaan toteutusten toisiinsa integroituminen ja tuloksen optimointi. Näitä voivat olla esimerkiksi teknologia ja osaaminen sekä kokonaisuutta tukevat palvelut kuten projektinhallinta, konsultointi ja suunnittelu. (Sivill ym. 2022, 125-126, 156-157.) VTT:n erikoistutkija Elina Mäki nostaa VTT:n artikkelissa esiin juuri osaamisen tärkeyden ja tarpeellisuuden sekä osaamisen soveltamisen mahdollisuudet (Vetyarvoketjussa on tilaa... 2023).

Esitelty Sivill ja muiden (2022), TÜV:n ja VTT:n vetytalouden arvoketjunäkemykset havainnollistuvat erinomaisesti Hydrogen Cluster Finlandin tuottamassa Suomalainen vetyarvoketju -kuvaajassa kuviossa 10. Kuviossa esitetään ydinosat ja niiden laidasta laitaan kattavat tukitoiminnot sekä se kuinka arvoketjun on tarkoitus tuottaa jokaisessa vaiheessaan lisäarvoa ilmastohyötyjä tavoiteltaessa ja uutta liiketoimintaa jokaisen osa-alueen osalta.

SUOMALAINEN VETYARVOKETJU

Uutta teknologiaa, liiketoimintamahdollisuuksia ja ilmastohyötyjä arvoketjun joka osassa



Kuvio 10. Suomalainen vetyarvoketju (Yliopistojen ja tutkimuslaitosten... 2022, 2).

Arvoketjuja muodostettaessa on erityisesti syytä huomioida kokonaisuuden ja sen kannattavuuden muodostuminen. Arvoketjuissa esiintyvät teknologiset ratkaisut eivät esimerkiksi yksilöidy pelkkiin vedyn tuotannossa tarvittaviin elektrolyysereihin, vaan on tärkeää huomioida koko vetytalouden teknologiset mahdollisuudet. Suomen lukuisista teknologisista mahdollisuuksista todettakoon esimerkeiksi vahva ICT-, automaatio- ja tekoälyosaaminen. (Sivill ym. 2022, 156-157.) Arvoketjun muodostuksessa on syytä ottaa huomioon, että mitä arvoketjun vaihetta tai osaa on kannattavinta tehdä missäkin ympäristössä (mts. 152).

Kokonaisuuteen on pyrittävä mahdollisimman laajasti ja tarkasti huomioimaan arvoketjun eri osien ennalta arvaamattomatkin ja ei-itsestään selvät tekijät. Näitä voivat olla esimerkiksi maantieteellisen sijainnin tai muun toimintaympäristöön vaikuttavan tekijän kuten poliittisen ohjauksen vaikutus. Kansainvälisen yhteistyön ja sen hyödyntämisen kuulumisen vetytalouden arvoketjuihin tuovat esiin sekä Sivill ja muut (mts. 157), että Pohjoismaisten toimijoiden yhteisraportti, The Nordic Hydrogen Industry Report (2023, 17). Yhteisraportin ovat tuottaneet Business Finland, Business Sweden, Innovation Norway ja Ruotsin energiavirasto.

7 Kehittämistutkimuksen toteutus

7.1 Tutkimusmenetelmänä kehittämistutkimus

7.1.1 Kehittämistutkimus monimenetelmäisenä tutkimuksena

Tämä opinnäytetyö tehtiin kehittämistutkimuksena. Kehittämisen tavoitteena oli ratkaista edellä Tutkimusasetelma-luvussa esitetty tutkimusongelma tutkimuksellisia keinoja käyttäen. Kehittämistutkimus on yksi interventiotutkimuksen eli muutokseen pyrkivän tutkimuksen muodoista (Kananen 2017a, 10). Kehittämistutkimuksella tarkoitetaan jonkin asian, menetelmän tai vastaavan kehittämistä, johon yhdistetään jokin tutkimuksellinen menetelmä. Kehittämistutkimukseen kuuluu tutkimuksen tekemisen lisäksi ongelman poistaminen. Kehittämistutkimus etenee vaiheittain sisältäen ongelman määrittelyn, ongelman poistamisen suunnittelun ja suunnitelman mukaisen toteutuksen, joiden jälkeen havainnoidaan muutos ja asetetaan kehitys seurantaan seuraavaa kehitysykliä ajatellen. (Kananen 2015a, 33, 40-41.) Tutkimuksella näin ollen tähdätään prosessin alun ja lopun väliseen muutokseen. Kehittämistutkimus on joko kvalitatiivinen tutkimus tai kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen yhdistelmä (Kananen 2017a, 18).

Kehittämistutkimuksessa hyödynnetään tyypillisesti monimenetelmäistä tutkimusta, koska sillä ei ole omaa menetelmää, vaan siinä yhdistetään tarpeen mukaan käytettävät menetelmät asetetun tavoitteen saavuttamiseksi. (Kananen 2015a, 33, 39.) Myös Vilka (2021, 101) esittää ettei eri tutkimusmenetelmiä nähdä enää toisiaan pois sulkevin vaan päinvastoin. Hirsjärvi ja Hurme (2022, 26, 37-38) esittävät usean tutkijan (Brannen 1992 ja Robson 1995) puhuneen useamman menetelmän yhtäaikaisten käytön puolesta jo 90-luvulla. Tällä nähdään olevan positiivinen vaikutus saatavien näkökulmien laajuuteen ja mahdollisesti tutkimuksen luotettavuuteen. Näin ollen tutkijoiden tulisi valita tutkimusongelman ratkaisuun ennemmin sopiva menetelmien joukko kuin yksittäinen menetelmä.

Monimenetelmäiseen strategiaan viitataan termein triangulaatio ja monimetodinen lähestymistapa. Triangulaatiolla voidaan tarkoittaa niin saman menetelmän käyttöä eri tilanteissa kuin eri menetelmien käyttöä samassa tilanteessa. (Hirsjärvi & Hurme 2022, 37-38.) Vilka (2021, 101) jakaa monimetodiikan käytön menetelmätriangulaatioon ja aineistotriangulaatioon. Menetelmätriangulaatiolla tarkoitetaan useamman kuin yhden menetelmän käyttöä aineiston hankinnassa ja aineistotriangulaatiolla yhdistetään erilaisia aineistoja monipuolisemman tulkinnan luomiseksi.

Vilka (mts. 102) painottaa kuitenkin, ettei monimenetelmällisyyden käyttö poista aineiston kattavuuden arvioinnin välttämättömyyttä.

Tässä opinnäytetyössä käytettiin monimenetelmäistä tutkimusta triangulaation eri menetelmien samassa tilanteessa käytön mukaisesti, eli Vilkan esittämää menetelmätriangulaatiota. Tutkimuksessa kerättiin toisiaan tukevaa ilmiön ymmärtämistä edistävää laadullista sekä ilmiötä yleistävää määrällistä aineistoa. Keinot tukevat toistensa tuottamia tuloksia ja niiden luotettavuutta. Tällä vastataan Hirsjärven ja Hurmeen (2022, 27) huomautukseen, jonka mukaan menetelmien yhdistäminen tulee olla perusteltua.

Kvalitatiivisella tutkimuksella tarkoitetaan ilmiön ymmärtämiseen tähtäävää tutkimusta (Kananen 2015a, 33). Vilka (2021, 17) havainnollistaa laadullisen tutkimuksen perustuvan tulkintaan. Kananen (2017b, 33) määrittää nyrkkisääntönä tutkimuksen olevan sitä todennäköisemmin kvalitatiivinen, mitä vähemmän ilmiöstä tiedetään. Tämän lisäksi Kananen tukeutuu William Trockimin ja James Donellyn esittämään luokitteluun, jonka perusteella kvalitatiivinen tutkimus soveltuu muita paremmin tilanteisiin, joissa ilmiöstä halutaan esimerkiksi syvälinen näkemys, luoda uusia hypoteeseja sekä hyödyntää triangulaatiota eli useiden tutkimusmenetelmien käyttöä (Kananen 2017b, 33, 154). Näin ollen kvalitatiivinen tutkimus sopii perustellusti menetelmäksi tämän opinnäytetyön tavoitteen, eli saavuttaa tietoisuus Keski-Suomen vetytalous mahdollisuuksista.

Kvantitatiivisella tutkimuksella tarkoitetaan numeeriseen tai muulla tavoin mitattavaan ominaisuuteen perustuvaa tutkimusta, jolla tavoitellaan tutkittavasta ilmiöstä yleistettävää tietoa (Kananen 2015b, 73-74). Vilka (2021, 23) kuvaa yleistettävyyden sanoilla yksilöstä riippumaton tieto. Kvantitatiivisen tutkimuksen pyrkiessä yleistämään tietoa sen tietolähteiden eli otoksen on kuvattava mahdollisimman hyvin koko kohderyhmää eli perusjoukkoa, sillä se vaikuttaa tuloksen luotettavuuteen (mts 200; Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2015, 122). Kvantitatiivinen tutkimuksen keinoina käytetään tyypillisesti kyselyä, joka tarvitsee tarkan ilmiötä selittävän teoreettisen pohjan. Tällöin voidaan muodostaa yksityiskohtaiset ilmiön kannalta oleelliset kysymykset ja niiden vastausvaihtoehdot ja ilman tätä tarkkaa teoriaa kyselyn suunnittelu voi olla jopa mahdotonta. (Kananen 2015b 197, 202; Ojasalo ym. 2015, 122.)

Vilka (2021, 25) esittelee kirjassaan määrällisessä tutkimuksessa käytettäviä tutkimustapoja, joilla tutkittavaa ilmiötä voidaan määrällisin keinoin ymmärtää ja luoda siitä kokonaiskuvaa. Näitä ovat erityisesti kuvaileva tutkimus (eng. descriptive research) ja kartoittava tutkimus (eng. mapping study). Kuvailevassa tutkimuksessa pyritään tutkittavan ilmiön, tilanteen, keskeisten ja kiinnostavimpien piirteiden tarkkaan ja järjestelmälliseen esitykseen. Kartoittavalla tutkimuksella on mahdollista löytää tutkittavasta ilmiöstä erilaisia jakaumia, joiden avulla voidaan ilmiöstä luoda kokonaisuuden esitys, jota Vilka kuvaa kartaksi. (Vilka 2021, 25.) Edellä esitettyjen kvantitatiivista tutkimusta käsittelevien kappaleiden perusteella opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamisessa kvantitatiivisten tutkimusmenetelmien lisäksi on perusteltua käyttää tukena kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä.

7.1.2 Tutkimusaineiston keruu

Tutkimusaineistot jaetaan sekundäärisiin ja primäärisiin. Sekundäärisellä aineistolla tarkoitetaan jo olemassa olevaa aineistoa. Primääriaineistolla tarkoitetaan kyseessä olevaa tutkimusta varten kerättyä aineistoa. (Kananen 2017b, 120.) Kehittämistoiminnassa voidaan käyttää tutkimuksellisia tiedonkeruun keinoja kyselyjä, haastatteluja ja havainnoinnin lisäksi aikaisempaa tutkimustietoa (Salonen, Eloranta, Hautala & Kinos 2017, 34-35). Sekä Kananen (2015a, 76, 96), että Tuomi ja Sarajärvi (2018, 132-133) esittävät näiden samojen keinojen olevan sopivia sekä kvalitatiivisen että kvantitatiivisen tutkimuksen keinoja käytettäessä niitä tutkittavan ongelman mukaisesti. Ojasalo ja muut (2015, 40) toteavat monipuolisen menetelmäkäytön olevan kehittämistutkimukselle keskeistä monenlaisten näkökulmien ja ideoiden saamiseksi. Lisäksi tällöin tutkimusmenetelmien erot eivät nouse enää tutkimuksen kannalta niin merkittäviksi. Samoin kuin Kananen, Tuomi ja Sarajärvi niin myös Ojasalo ja muut painottavat, että käytettävät menetelmät on valittava sen mukaan millaista tietoa tarvitaan ja mihin sitä tullaan käyttämään (Ojasalo ym. 2015, 40).

Teemahaastattelu aineistonkeruussa

Teemahaastattelulla tarkoitetaan teema kerrallaan etenevää haastattelua, jonka strukturointiaste voi vaihdella. Teemat ja tarkentavat kysymykset on mietitty etukäteen haastattelun tavoitteiden saavuttamiseksi. (Kananen 2015a, 82-83; Tuomi & Sarajärvi 2018, 141.) Teemahaastattelu etenee haastateltavan ehdoilla. (Vilka 2021, 76; Kananen 2017b, 95). Tuomi ja Sarajärvi (2018, 141) näkevät teemahaastattelun vahvuudeksi sen haastattelun aikaisen muovautuvuuden haastateltavan

vastauksien mukaan. Kananen kuvaa teemahaastattelun olevan aiheeseen liittyvien asioiden ja tietojen keräämistä palasittain, joista tutkija rakentaa analysointivaiheessa kokonaisvaltaisen (holistisen) näkemyksen. (Kananen 2017b, 88, 90) Teemahaastattelulle on tyypillistä, että ensimmäisellä haastattelukerralla tieto on pinnallista ja syvemmän tiedon saaminen edellyttää edellisestä haastattelusta oppimista ja uuden haastattelun toteutusta (Kananen 2017b, 95). Teemahaastattelussa teemojen on oltava tietoperustalla perusteltavia kysymysten ollessa siitä tilanteeseen sopivalla tavalla johdettuja. Lisäksi toteutettavien haastatteluiden yhdenmukaisuuteen on syytä kiinnittää huomiota. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 141-142.)

Lomakekysely aineistonkeruussa

Kysely mielletään tyypillisesti kvantitatiivisen tutkimuksen aineiston keruu menetelmäksi, vaikka sitä voidaan hyödyntää myös kvalitatiivisenkin tutkimuksen aineistonkeruussa. (Kananen 2017b, 16, 52 88). Ojasalo ja muut (2015, 40) toteavat kyselyn toimivat kehittämistyössä hyvin lähtötilanteen kartoittamisessa. Kyselyä toteutettaessa on tärkeää suunnitella kysely niin, että se vastaa tiedon tarpeeseen. (Ojasalo ym. 2015, 41.) Vilka (2021, 101) esittää monimenetelmällisyyden tyypilliseksi aineistonkeruu tavaksi avoimin kysymyksin toteutetun kyselyn, jolloin kyselyllä ei tavoitella numeerisesti käsiteltävää aineistoa. Brinkmannin (2013, 19-20) mukaan strukturoitu kysymysasettelu on toimiva joissain tilanteissa huomioiden, että saatavista vastauksista puuttuvat ihmisten välisen vuorovaikutuksen mahdollisuudet. Hän kuvaa tällaisia vastauksia passiivisina nauhoituksina mielipiteistä ja asenteista. (Brinkmann 2013, 19-20.) Näiden lähteiden näkökulmien perusteella voidaan muodostaa näkemys, että lomakekyselyn soveltuessa sekä laadullisen että määrällisen aineiston keruuseen, on se oikea tapa tämän tutkimuksen aineistonkeruun menetelmäksi.

Lomakekysely voidaan tehdä online-tutkimuksen tapaan verkossa, erilaisia valmiita lomakesovelluksia hyödyntäen (Kananen 2014, 28-29). Verkon välityksellä toteutettavaan lomakekyselyyn pätee tietyt lainalaisuudet. Verkossa tehtävät kyselyt ovat usein helposti kyselyn tarpeisiin ja vastausten mukaan mukautettavia, edullisia ja nopeita toteuttaa ja niillä saadaan tarvittaessa maantieteellisesti laaja kattavuus. Etuna pidetään myös vastausten reaaliaikaista seuranta ja kyselyn vaivattomuutta vastaajalleen (Kananen 2015b, 213-214). Vaivattomuus voi tosin riippua merkittävästikin siitä kuinka lomake ja sen jakelu on tutkijan toimesta toteutettu.

Kananen (2015b, 215-216) kuvaa verkkokyselyn haasteiden liittyvän tyypillisesti kyselyiden toimitamiseen oikealle kohderyhmälle. Tähän vaikuttavat muun muassa sähköpostien roskapostisuotimet ja sähköpostiosoitteen omistaminen. Sähköpostitse välitettävä kysely ei siis esimerkiksi tavoita yksilöitä, joilla ei ole sähköpostia, jolloin tutkimuksesta riippuen vastaajista muodostuu otoksen sijaan näyte, joka taas vaikuttaa tuloksen yleistettävyyteen. Haasteet voivat liittyä lisäksi kyselyyn vastaamisen onnistumiseen ja sen vaikutukseen tulosten luotettavuuteen. Jos vastaus epäonnistuu syystä tai toisesta, se vaikuttaa luonnollisesti tuloksen luotettavuuteen. (Kananen 2015b, 215-216.)

Tutkittavien yksilöiden valinta on merkityksellistä tutkimuksessa tuotetun aineiston sekä määrälle että laadulle. Tuomi & Sarajärvi (2018, 159) mukaan laadullisessa tutkimuksessa tavoiteltavan ymmärryksen kannalta on merkityksellistä, että tiedonkeruun kohteena olevat henkilöt tietävät tutkittavasta ilmiöstä mahdollisimman paljon eli tiedonantajien valinta tulee olla harkittua ja tavoitteeseen sopivaa. Tutkimukseen valittaessa tiedonantajat sen mukaan, joilta oletetaan saatavan paras tieto ilmiöstä, nimitetään näitä termillä eliittiotanta. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 159-160.)

Luotettavuusvarauma

Kehittämistutkimuksella ei ole omaa tutkimusmenetelmää, jolloin sen luotettavuustarkastelu on toteutettava käytettävien menetelmien mukaisesti (Kananen 2015a, 111). Laadun mittareina käytetään reliabiliteettia ja validiteettia, joita hyödyntämällä pyritään mahdollisimman luotettavaan ja laadukkaaseen toteutukseen (mts. 13, 111). Tässä opinnäytetyössä käytettäessä sekä laadullisen että määrällisen tutkimuksen keinoja, tulee luotettavuuden parantamisen keinoina käyttää molempien luotettavuutta tuottavia keinoja sen mukaan kuinka tutkimusmenetelmiä käytetään.

Tutkimuksen luotettavuus tarkastellaan reliabiliteetin ja validiteetin avulla. Vehkalahti (2019, 40) toteaa näille kelvollisiksi suomennoksiksi tarkkuus ja pätevyys. Sekä laadullisessa että määrällisessä tutkimuksessa reliabiliteetilla tarkoitetaan tutkimusten tulosten pysyvyyttä, eli uusittaessa sama tutkimus, tulokset olisivat samat eivätkä vaihtuisi sattumasta johtuen. Uusinta tutkimuksessa saadut tulokset voivat poiketa ensimmäisistä tuloksista ensimmäisen tutkimuksen tuottaman muutoksen tai ajankulun johdosta, mutta sattumalla ei saa olla vaikutusta tulosten muuttumiseen. (Kananen 2015a, 112.) Vehkalahti (2019, 40) kuvaa reliabiliteetilla tarkoitettavan sitä, kuinka tarkasti mitattiin. Sitä, onko tutkimuksessa tutkittu oikeita asioita, mitataan validiteetilla (Kananen

2015a, 112). Tutkimuksen validiteetin taso ei ole tae vastaavasta reliabiliteetin tasosta tai toisinpäin (mts. 120). Reliabiliteetillä ei ole mitään merkitystä, jos validiteetti on matala, sillä tällöin on mitattu vääriä asioita (Vehkalahti 2019, 41).

Kvalitatiiviselle tutkimusmenetelmälle on useita luotettavuuden arvioinnin keinoja, joiden käyttö määräytyy tutkimusasetelman mukaisesti (Kananen 2015a, 112). Keinoja ovat esimerkiksi tulkinnan ristiriidattomuus, jolla tarkoitetaan oikean tulkinnan toteutumista asetetun tutkimusongelman kannalta. Aineistosta voidaan tehdä erilaisia tulkintoja, mutta käytännössä yhteen tutkimusongelmaan voi olla vain yksi tulkinta. Tämä voidaan varmistaa teettämällä tulkinta toisella tutkijalla. Jos molemmat tutkijat päätyvät samaan lopputulokseen, on tulkinta tällöin ristiriidaton ja luotettava. (Mts. 114.) Luotettavuutta voidaan parantaa myös laadukkaalla ja tarkalla dokumentaatiolla, jota tulee tehdä tutkimuksen jokaisessa vaiheessa, erityisesti aineiston ja tulkinnan osalta, mikä varmistaa tulosten jäljitettävyyden. Tyypillinen luotettavuuden tarkastelun keino on aineiston saturoituminen, eli aineisto alkaa toistaa itseään. Saturoituminen voi toteutua aineiston sisällä tai aineistojen välillä. (Mts. 115.)

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa luotettavuus perustuu numeroiden ja tilastoiden tuottamiin faktoihin tutkitusta ilmiöstä. Tulokset on pystyttävä esittämään todeksi. Keinona tähän on tulosten yleistäminen ulkoisella validiteetilla, sisältövaliditeetilla ja sisäisellä validiteetilla. Näiden lisäksi on muita validiteetin muotoja, joita voidaan hyödyntää tapauskohtaisesti. Ulkoisella validiteetilla tarkoitetaan tulosten pysyvyyttä käytännössä ja tutkitussa populaatiossa eli kohderyhmässä. Tällöin tutkimukseen valitun otoksen on edustettava koko kohderyhmää. Sisältövaliditeetilla tarkoitetaan oikeiden määritettyjen asioiden tutkimista. Tällä tarkoitetaan sitä, että on mitattava sitä mitä ollaan tutkimassa. Sisäisellä validiteetilla tarkoitetaan asioiden välisen suhteen oikeellisuutta, eli sitä, onko tulos A syynä tulokseen B. Tutkijan tulee näyttää tämä perustellusti todeksi. (Kananen 2015a, 115-119.)

7.1.3 Tutkimusaineiston analysointi

Käytettäessä aineiston analysoinnissa ja tulkinnassa sekä laadullisen että määrällisen tutkimuksen keinoja, on niistä hyödyllistä muodostaa toisiaan tukeva jatkumo (Alasuutari 2012, 166). Tällöin monimenetelmällisyydestä on jälleen hyötyä.

Laadullinen analysointi

Laadullisin tutkimusmenetelmin kerätty aineisto on ennen analysointia ja tulkintaa yhdenmukais-tettava. Tällä tarkoitetaan lähtökohtaisesti kaiken materiaalin kuten äänitteiden muuntamista teksti muotoon litteroimalla eli kirjoittamalla tekstiksi se mitä äänitteessä sanotaan. Aineiston ol- lessa yhdenmukaista, tutkijan on tutustuttava siihen perusteellisesti lukemalla ja ymmärtämällä tekstit. Seuraavaksi tekstit tulee segmentoida, eli luokitella asiasisältöihin ja tiivistää segmentit mahdollisimman tarkoin ilmaisuin. Aineistosta alkaa muodostua ilmiötä kuvaavia rakenteita, jotka nimetään kuvaavasti. Näitä muodostettuja rakenteita voidaan alkaa analysoimaan ja tulkitsemaan tutkimusasetelman mukaisesti. (Kananen 2015a, 88-89.) Vilka (2021, 129) käyttää ilmiötä kuva- vista rakenteista myös termiä kokonaisuus, jolla kuvataan vastaavasti aineiston yhdenmukaisia te- kijöitä.

Aineiston analysointi voidaan aloittaa koodaamalla eli luokittelemalla aineisto karkeasti kolmella tavalla. Tapa jossa aineisto luokitellaan teoriasta löytyvin käsittein kutsutaan teoriapohjaiseksi luo- kitteluksi. Aineistolähtöiseksi luokitteluksi kuvataan keinoa, jossa aineistosta kumpuaa luokkaa ku- vaava käsite. Kolmas tapa on yhdistää nämä luokittelun tavat. Laadullisen aineiston tulkinta on pe- rustuttava aina tutkimuksen ongelman ratkaisuun. Vaikka laadullisesta aineistosta voidaan tehdä useita tulkintoja, on tuotettava tulkinta vastattava lopulta asetettuun tutkimuskysymykseen. (Ka- nanen 2015a, 93-94.) Tulkinnan muodostuksessa on luonnollisesti huomioitava tutkimuksen luo- tettavuus ja eettiset periaatteet.

Määrällinen analysointi

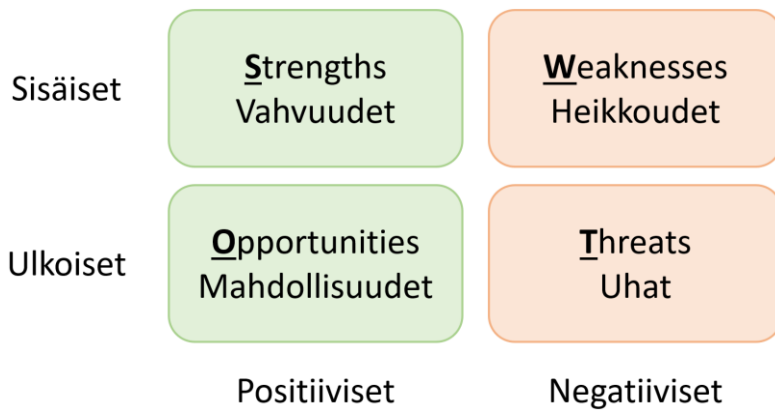
Määrällinen aineisto käsitellään tyypillisesti tilastosovelluksella, jolla voidaan tuottaa aineistosta erilaisia tiivistelmiä kuten suoria jakaumia, ristiintaulukointeja tai tunnuslukuja. Tarkoitukseen suunniteltujen sovellusten käyttäminen on hyödyllistä erityisesti suurten aineistojen käsittelyssä. Tiivistämisellä aineisto asetetaan muotoon, jossa siitä on mahdollista tehdä tulkintoja. (Kananen 2015a, 100-102.) Määrällisesti pienempiä aineistoja voidaan käsitellä ilman tilastosovellusta esi- merkiksi taulukkolaskelmaohjelmalla, kunhan varmistutaan aineiston hallittavuudesta ja luotetta- vasta käsittelystä. Kananen mukaan määrällinen aineisto käsitellään numeerisina arvoina ja koko- naisuutena, jolloin yksittäiselle vastaukselle ei muodostu muita suurempaa painoarvoa, joka

aiheuttaisi virhettä lopputulokseen. Määrällisen aineiston on tavoite yleistää ilmiötä, jolloin tulkinta on esitettävä prosenttiosuuksin, jotta lukijan on mahdollista hahmottaa tulkinta. (Kananen 2015a, 101, 103.)

Tiivistetty aineisto tulkitaan sanallisesti tutkimuskysymykseen vastausta hakien. Kuten kvalitatiivisen aineiston tulkinnassa, myös määrällisestä aineistosta on tehtävissä monia tulkintoja ja havainnoja, mutta vain asetetun tutkimuskysymyksen kannalta merkitykselliset ovat tutkimuksen kannalta oleellisia. (Kananen 2015a, 103-104.) Analyysimenetelmiä on useita, joista Kananen (2015a, 108) esittelee tyypillisinä korrelaatio-, regressio-, faktori- ja diskriminanttianalyytit. Korrelaatioanalyyysillä tuodaan esiin muuttujien vaikutus toisiinsa toisin sanoen niiden riippuvuus. Regressioanalyyysillä esitetään muuttujien välinen yhteys matemaattisin keinoin, mikä mahdollistaa ennustettavuuden. Faktoriantalyyysillä tiivistetään samaa asiaa mittaavien muuttujien joukko kokonaisuudeksi, jonka osia yhdistää jokin tekijä. Tavoite on löytää tämän kokonaisuuden avulla yhteyksiä tutkittavaan ongelmaan, mikä ei olisi mahdollista yksittäisiä muuttujia käsittelemällä. Diskriminanttianalyyysillä jota kutsutaan myös erotteluanalyyksiksi, tavoitellaan vähintään kahden muuttujaryhmän välistä eroa, johon voidaan asettaa nk. erottelupinta. Erottelu mahdollistaa ryhmien välisten suhteiden tulkinnan. (Kananen 2015a 108-110.)

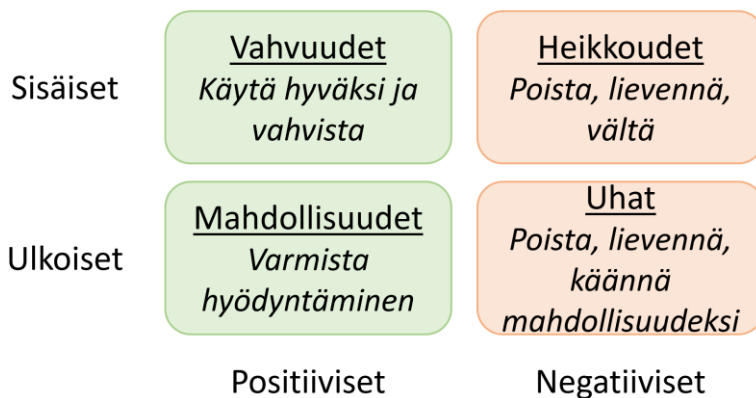
SWOT-analyysi

SWOT-analyyssillä kuviossa 11 kuvataan tyypillisesti yrityksen liiketoiminnan nelikenttäistä kehitysmallia, jonka on tarkoitus toimia tulevaisuuden strategian päätösten perusteluna. Mallilla havainnollistetaan analysoitavan kohteen vahvuudet (S=Strengths), heikkoudet (W=Weaknesses), mahdollisuudet (O=Opportunities) ja uhat (T=Threats). Kohteen sisäiset tekijät, joihin se voi itse vaikuttaa, muodostavat sen vahvuudet ja heikkoudet, jotka Vuorinen ja Huikkola (2023, 97) kuvaavat olevan käytettävissä analyysin tekohetkellä. Kohteen ulkoiset tekijät, joihin se ei voi itse vaikuttaa, muodostavat sille mahdollisuudet ja uhat, jotka Vuorinen ja Huikkola (mts. 97-98) taas kuvaavat olevan tulevaisuudessa vastaan tulevia. Yrityksen on siis mahdollista vastata sisäisillä tekijöillä ulkoisiin tekijöihin. Jotta SWOT-analyysi voi tuottaa kokonaisvaltaisen onnistuneen tuloksen, ennen sen tekemistä on suoritettava sisäinen ja ulkoinen analyysi todellisten tekijöiden löytämiseksi. (Paul & Cadle 2020, 70-72.) Strategian työkaluna SWOT-analyysi esitetään olevan strategista asemaa kuvaavien analyysien kooste (Vuorinen & Huikkola 2023, 45).



Kuvio 11. SWOT-analyysi (Paul ym. 2020, 71).

Vuorinen ja Huikkola (2023, 98) avaavat teoksessaan SWOT-analyysin hyödyntämisen tapoja, jotka kirjattu kuviossa 12 nelikenttiin toiminnan mukaisiksi vaateiksi.



Kuvio 12. SWOT-analyysin hyödyntäminen (Vuorinen & Huikkola 2023, 98).

Oleellista on määritellä tarkasteltava kohde, jolle SWOT-analyysi kohdistetaan. Tekemällä SWOT-analyysiä varten perusteelliset pohjatyöt sillä saadaan luotua perusteltu varteenotettava strategia ilman, että tulokset jäisivät pinnalliseksi asioiden listaukseksi. (Vuorinen & Huikkola 2023, 97, 103.) SWOT-analyysiä voidaan soveltaa liiketoiminnan tarkastelun ulkopuolelle erilaisten rajattujen asioiden ja ilmiöiden tulevaisuuden strategiaa analysoitaessa. Kyseistä nelikenttä mallia käytetään usein myös vetytalouden tilaa ja näkymiä arvioitaessa.

7.2 Työn vaiheet

Opinnäytetyö toteutettiin taulukon 2 vaiheistuksen mukaisesti, kehittämistutkimuksen rakennetta mukailten (ks. Kehittämistutkimus monimenetelmäisenä tutkimuksena -luku).

Taulukko 2. Opinnäytetyön vaiheistus

Aloitukset ja suunnittelu	Aineiston keruu	Aineiston analysointi, tulokset ja pohdinta	Julkaisu
04/2023: Päätös aiheesta: Vetytalous	09-11/2023: Teemahaastattelut Keski-Suomen liiton toimesta	01-02/2024: Aineiston analysointi	26.2.2024: Raportin esitarkastukseen jättö
06/2023: Tutkimusongelman määrittely	10/2023: Haastattelulomakkeen luonti	01-02/2024: SWOT-analyysien muodostus	20.3.2024: Opinnäytetyön päätösseminaari
21.6.2023: Opinnäytetyön aloituspalaveri	11-12/2023: Lomakehaastattelun toteutus	02/2024: Arvoketjujen muodostus	04/2024: Opinnäytetyön julkaisu
09/2023 - 10/2023: Opinnäytetyösuunnitelma		02/2024: Pohdinta, johtopäätökset	
29.9.2023: Ohjausryhmän kokous	31.10.2023: Ohjausryhmän kokous	9.1.2024: Ohjausryhmän kokous	7.3.2024: Ohjausryhmän kokous
	28.11.2023: Ohjausryhmän kokous	6.2.2024: Ohjausryhmän kokous	
	----- 09/2023 - 12/2023: Tietoperustan koonti -----		
	----- 09/2023 - 02/2024: Raportointi ja luotettavuuden tarkastelu -----		

Päätös opinnäytetyön aiheen liittymisestä vetytalouteen tuli opinnäytetyön tekijältä itseltään keväällä 2023. Asiasta käytiin erinäisiä keskusteluja, ideointia ja aiheen kartoitusta alkukesästä ja opinnäytetyöprosessin aloituspalaveri pidettiin 21.6.2023 Elomatic Oy:n, Jyväskylän ammattikorkeakoulun ja Keski-Suomen liiton edustajien kesken. Aloituspalaverissa ideoitiin ja linjattiin opinnäytetyön aihetta, suuntaa, aikataulua ja resursointia. Opinnäytetyösuunnitelma ja tietoperustan koonti aloitettiin elo-syyskuun vaihteessa 2023.

Tutkimusaineisto kerättiin Keski-Suomen liitolta saatujen teemahaastatteluaineiden lisäksi lomakekyselynä verkkolomakkeella. Lomakekyselyt toteutettiin marras-joulukuussa 2023. Lomakekyselyn toteutuksesta tarkemmin edempänä lomakekyselyä käsittelevässä luvussa ja sen kappaleissa. Saatuun aineistoon tutustuttiin ja analysointi aloitettiin jo ennen vastausajan päättymistä. Tietoperusta viimeisteltiin 2023 vuoden loppuun mennessä, jonka jälkeen alkoi aineiston täysimääräinen analysointi. Ensimmäinen SWOT-analyysi perusteluineen valmistui ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastaukseksi 31.1.2024. Ensimmäistä tutkimuskysymystä varten tehtyjen SWOT-analyysien valmistumisen jälkeen helmikuussa 2024 aloitettiin toisen tutkimuskysymyksen vastausten luonti SWOT-analyseistä arvoketjumahdollisuuksia muodostamalla. SWOT-analyysien ja

arvoketjumahdollisuuksien muodostamisesta tarkemmin edempänä. Tulokset, pohdinta ja johtopäätökset raportoitiin helmikuun 2024 aikana. Opinnäytetyön raportti jätettiin esitarkastukseen 26.2.2024. Opinnäytetyöprosessiin kuuluva päätösseminaari pidettiin 20.3.2024 ja opinnäytetyö julkaistiin huhtikuussa 2024.

Työn aikana pidettiin noin kuukauden välein JAMKin, Elomatic Oy:n ja Keski-Suomen liiton henkilöistä koostetun ohjausryhmän kokous, jossa käsiteltiin opinnäytetyön etenemää, sisällön ja aineiston keruuseen liittyviä linjauksia sekä aikataulutusta ja työn vaiheistusta. Opinnäytetyön raportointia ja luotettavuuden tarkastelua tehtiin koko prosessin ajan. Opinnäytetyön tekijä osallistui opinnäytetyöprosessin aikana useisiin vetytaloutta käsitteleviin verkostotilaisuuksiin, joissa osassa esiteltiin opinnäytetyön tavoitteita, aineistosta nousseita havaintoja ja työn ajankohtaisia vaiheita.

7.3 Tutkimusaineiston hankinta

7.3.1 Aineiston keruu

Tutkimuksen aineisto koostui lomakekyselyiden ja teemahaastatteluiden vastauksista. Primääriaineiston keruussa lomakekyselyyn päädyttiin siitä syystä, että tutkimuskohteena olleita toimijoita oli valittu useita ja yksittäisten tai ryhmähaastatteluiden toteuttaminen olisi ollut erittäin työlästä ja aikaa vievää. Ojasalo ja muut (2015, 121) perustelevat kyselyn eduksi tiedonhankinnassa sen, että sillä saadaan kerralla kysytyä suurelta joukolta useita asioita. Tutkimuskohteita oli valittu useita erilaisia kattavan ja monipuolisen tiedon tavoittelemiseksi, sillä tämä nähtiin oleelliseksi laadullisen tutkimuksen näkökulmasta tavoitellun kattavan ymmärryksen muodostumisessa. Kaikille tutkittaville lähetettiin saman sisältöinen lomake. Kanasen (2017b, 93) mukaan siitä huolimatta, että kysely ja kysymys on lähtökohtaisesti kvantitatiivisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmä, niitä tarvitaan myös kvalitatiivisessa tutkimuksessa. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi ilmiön kuvaamiseen ja taustoitukseen (Kananen 2017b, 94). Lomakekyselyn teemoina toimivat tutkimuksen rajauksen mukaisesti vetyyn liittyvän osaamisen ja teknologian kysymykset sekä vedyn käyttöön ja hyödyntämiseen liittyvät kysymykset. Tutkimuksessa hyödynnettiin sekundäärisenä aineistona Keski-Suomen liitolta saatua teemahaastatteluaineistoa.

7.3.2 Aineiston keruu lomakekyselyillä

Perustuen edellä tutkimusmenetelmiä käsittelevässä luvussa esitettyyn tutkittavien valintaan, opinnäytetyön tiedonkeruuseen valittiin kohdetoimijat Keski-Suomen alueelta hyödyntäen monipuolista valintaa sen mukaan, keneltä oletettiin saatavan aiheeseen liittyvää merkityksellistä tietoa, ja että tieto saataisiin usealta toimialalta kattavan näkemyksen luomiseksi. Näiden lisäksi mukaan valittiin muutamia kansallisia toimijoita, joilla tiedettiin olevan vaikutusta myös Keski-Suomen alueen toimintaan ja kehitykseen. Valinta perustui näin ollen valittuun näytteeseen, mikä estää saatavien tulosten täysimääräisen yleistettävyyden (Ojasalo ym. 2015, 123). Lomakekyselyyn etsittiin vastaajiksi kohdetoimijoilta henkilöitä, jotka tietäisivät ja tuntisivat ilmiötä ja kyseisen toimijan näkemystä ilmiöstä. Valittuna olleiden toimijoiden henkilöstöstä etsittiin eliittiotantaan verkkosivuilta, puhelinvaihteen tai muun henkilöstön kautta henkilöitä, joilla olisi mahdollista vastata yrityksensä edustajana. Sopivia henkilöitä kuvattiin etsinnässä henkilöinä, joilla olisi tietoa yrityksen vetytalouteen liittyvistä asioista tai energia-, kehitys-, vastuullisuus- ja tai hiilineutraalius asioista tai toimijasta riippuen vastaavista ilmiöön liittyvistä toimijan ominaisuuksista.

Lomakekyselyä varten pyrittiin yhteydenottoon 5.11.2023 alkaen noin 80 ennalta sopivaksi arvioitun toimijan kanssa. Näistä 74 tavoitettiin henkilökohtaisesti puhelimitse. Puhelut kestivät parista minuutista jopa puoleen tuntiin, myöhemmin puhelulokista laskettuna puheluiden keskipituus oli noin viisi minuuttia. Puhelussa esiteltiin tutkimuksen tekijä ja tutkimuksen oleelliset asiat kuten aihe, tavoite ja kerättävän tiedon käsittely ja salassapito. Tutkimuksen tavoitteena olleella Keski-Suomen ja täten toimijan sijoittumisalueen hyötymisellä edistettiin vastaamiseen motivoitumista. Kontaktoitaessa yhden toimijan kanssa todettiin ettei heillä ole mitään aiheeseen liittyvää toimintaa, joten heidät rajattiin yhteisellä päätöksellä eliittiotannan ulkopuolelle. Kontaktoituista toimijoista kaksi eivät halunneet vastaanottaa lomakekyselyä.

Lomakekysely lähetettiin 71 toimijalle 13.11. – 1.12.2023 välisellä ajalla sähköpostitse saatekirjeen oheen liitetyllä Forms-linkillä, saatekirje liitteenä (Liite 1. Lomakekyselyn saateposti). Vehkalahden (2019, 47) sanoi ”Saatekirje on kyselytutkimuksen julkisivu” perustuen saatekirjeeseen panostettiin ja se laadittiin huolellisesti informoimaan ja motivoimaan vastaajaa. Vehkalahti näkee laadukkaasti saatekirjeen jopa vaikuttavan vastausten luotettavuuteen (mts. 48). Lomakekysely määritettiin päätymään 22.12.2023. Vastaamisesta muistutettiin sähköpostitse 1.12.2023 ja 15.12.2023

kohdistaen muistutus vain heihin, jotka eivät vielä olleet vastausseurannan perusteella vastanneet.

Lomakekyselyyn vastasi 50 toimijaa ja 21 jätti vastaamatta. Näin ollen vastausprosentiksi muodostui 70,4 %. Viisi toimijaa ilmoittivat sähköpostitse jättävänsä vastaamatta. Kyselyn kysymysten asettelun johdosta (ks. Liite 2. Lomakekysely -lomake) osa vastaamatta jättäneistä oli ennalta odotettavia, sillä nämä ovat tutkimuksen tekijän työnantajan liiketoiminnallisia kilpailijoita. Oletettavasti samasta syystä vastauksissa oli yksi täysin sisällötön vastauslomake. Vastausten joukossa oli kolme vastausta, joissa todettiin ettei toiminnassa ole yhteyttä vetytalouteen tai ei riitä tietous antamaan vastausta. Forms-alustan ilmoittama keskimääräinen vastausaika lomakekyselyyn oli 16 min 8 s.

Lomakekyselyssä käytetty lomake

Opinnäytetyön aineiston keruu toteutettiin Microsoftin Forms-sovelluksella muodostetulla lomakkeella, raportissa liitteenä 2 (Liite 2. Lomakekysely -lomake). Lomake oli rakenteeltaan muotoiltu strukturoiduksi lomakekyselyksi, hyödyntäen teemahaastattelumaista teemoittain etenevää rakennetta. Lomakekysely sisälsi sekä avoimia laadulliselle tutkimukselle tyypillisiä kysymyksiä, että kvantitatiiviselle tutkimukselle tyypillisiä määrällistä tietoa kerääviä valinta- ja monivalintakysymyksiä. Valinta- ja monivalintakysymyksien vastauksia oli mahdollista täydentää lisätiedolle varattuun tekstikenttään, mikä toimi teemahaastattelun lisäkysymyksen tyyppisenä tarkennuksena. Monivalintakysymyksissä oli myös vaihtoehtona ”Other” vastaus, johon vastaaja sai itse kirjoittaa sopivan vaihtoehdon, mikä lisäsi aiheen laadullisen kokonaisymmärtämisen mahdollisuutta. Other-vastaus vastaa suomen kielellä käytettyä termiä ”muu, mikä”, mutta termi ei ollut muokattavissa Forms alustalla. Kyselylle tyypillisesti läsnäolevan tutkijan poissaolo ja tarkennuksen antamisen vapaaehtoisuus tiedostettiin kuitenkin olevan helpottava tekijä lisäkysymykseen vastaamatta jättämiseen.

Kuten Kananen (2014, 80) esittää, ei laadullista tietoa tavoittelevat kysymykset voi luonnollisesti olla yksityiskohtaisia, sillä tutkittavaa ilmiötä ei tunneta niin, että yksityiskohtaisen kysymyksen asettelu olisi mahdollista. Jos tieto riittäisi yksityiskohtaisen kysymyksen laatimiseen, kysymyksellä tavoitellaan määrällistä tietoa. (Kananen 2014, 80.) Viitaten menetelmäkuvauksessa esitettyyn Brinkmannin näkemykseen (ks. Lomakekysely aineistonkeruussa), lomakekysely soveltui aineiston

keruuseen, koska sillä oli tarkoitus kerätä nimenomaan mielipiteetöntä ja asenteetonta aineistoa. Lomakekyselyssä käytettävän lomakkeen luonnissa on otettava tarkasti huomioon Vehkalahden (2019, 11) näkemys haastattelu- ja kyselylomakkeen erosta, jonka mukaan kyselylomakkeen on toimittava ilman haastattelijan apua. Lomakekyselyä testattiin työn ohjausryhmän henkilöillä ja muotoiltiin saatujen kommenttien perusteella. Nämä tekijät ja ehdot huomioiden lomakekyselyllä saatiin näillä toimilla kerättyä sekä laadullista että määrällistä tietoa alueellisista vetytalouden tekijöistä.

Lomakekyselyn kysymykset ovat perusteltavissa tutkimuksen tietoperustan mukaisesti. Kysymykset 1-5 käsittelivät lomakekyselyyn osallistuneiden vastaajien esitietoja. Esitiedoilla luotiin näkemys vastanneista toimijoista. Kysymykset 6.-8. käsittelivät osallistujien vetyyn liittyvän teknologian ja osaamisen tarvetta ja tasoa sekä tiedonhankinnassa käytettäviä tietolähteitä. Kysymyksillä 9.-12. kartoitettiin SWOT-analyysin muotoon asetelluin kysymyksin toimijoiden näkemystä omista vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista ja uhista vetytalouteen liittyen. Kysymykset 13.-54. käsittelivät vedyn ja siihen liittyvien raaka-aineiden tuotantoa, käyttöä ja hyödyntämistä, minkä perusteella voitiin muodostaa alueellinen kuva raaka-aineiden hyödyntämisestä. Viimeinen kysymys numerolla 55. oli vapaa sana aiheesta, jolla annettiin vastaajalle mahdollisuus avoimeen palautteeseen kyselyn päättyessä ja indikaatio lomakekyselyn päättymisestä.

Vedyn käytön teemaan liittyvissä kysymyksissä (kysymykset 13, 20, 27, 34, 41 ja 48) hyödynnettiin Forms-lomakkeen ominaisuutta siirtyä tietyn vastauksen antamalla tiettyyn seuraavaan kysymykseen. Tällä edistettiin kyselyn vastaajalähtöistä etenemistä. Vedyn ja sen johdannaisten tuotannon, käytön ja hyödyntämistä kysyttiin dikotomisella eli kyllä tai ei vastauksen tuottavalla valintakysymyksellä. Kanasen (2017b, 92) esittämää dikotomian vaarana olevaa suppean vastauksen vaaraa ei tässä ollut, sillä ”kyllä” vastauksella kysyjälle aukesivat lisäkysymykset aiheesta ja ”ei” vastauksella vastaaja siirtyi seuraavaan vedyn käytön -teeman kysymykseen. Siirtymässä logiikkana oli siirtyä ei vastauksella kysymyksestä 13 kysymykseen 20 ja kysymyksestä 20 kysymykseen 27 ja niin edelleen, kunnes lomake päättyi kysymykseen 55, joka oli vapaa sana aiheesta. Näin ollen vastaajan ei tarvinnut ”kahlata” läpi kysymyksiä, jotka eivät olleet tälle merkityksellisiä ja siten niihin antamansa vastaukset eivät olisi olleet tutkimuksen kannalta merkityksellisiä.

7.3.3 Aineiston keruu teemahaastatteluilla

Opinnäytetyön sekundääriseksi aineistoksi lukeutui käyttöön saadut Keski-Suomen liiton energia-asiantuntijan tekemien vetytaloutta koskevien teemahaastatteluiden materiaalit. Haastattelut toteutettiin vetytalouden mahdollisuuksiin ja edellytyksiin paneutuvina teemahaastatteluina syys-marraskuussa 2023 haastatellen Keski-Suomessa toimivia osaamis- ja tutkimuslaitostoimijoiden edustajia yksilö- ja ryhmähaastatteluina. Haastatteluihin osallistui 11 haastateltavaa 6 eri organisaatiosta. Näistä henkilöistä 4 osallistui myöhemmin syksyllä toteutettuun lomakekyselyyn. Aineisto on pääosin muistiinpanoja ja otteita käydyistä haastatteluista. Kuten menetelmäkuvauksessa Tuomeen ja Sarajärveen (ks. Teemahaastattelu aineistonkeruussa) viitaten esitettiin, kuuluvat toteutetuissa teemahaastatteluissa käsitellyt teemat tietoperustassa käsiteltyihin osaamiseen ja teknologiaan.

7.4 Aineiston käsittely ja analysointi

7.4.1 Lomakekyselyn aineisto

Lomakekyselyllä kerätty aineisto saatiin Forms-alustalta Excel tiedostona. Excel taulukon ylimmällä rivillä sarakkeen otsikkona oli asetetut kysymykset, jokainen omassa sarakkeessaan. Kysymysrivillä oli jokaisella vastaajalla oma rivi, johon tämän vastaukset oli kirjattu kysymykohtaisesti. Aineisto oli valmiina tekstinä, jolloin litterointia tai muuta aineiston yhdenmukaistamista ei tarvinnut tehdä. Kysymykset ja niiden vastaukset segmentoitiin jakamalla ne Excel välilehdille. Segmentoinnin lähtökohtana toimi teoriapohjan mukaisesti vedyn käyttö, teknologia ja osaaminen, jolloin toiminta oli teoriapohjaisen luokittelun mukaista. Kysymyksiin annetut vastaukset käytiin ajatuksella läpi, jonka jälkeen niitä tiivistettiin ja luokiteltiin aineistosta muodostuvien käsitteiden mukaisesti Excelillä. Tätä kutsutaan aineistolähtöiseksi luokitteluksi. Näin aineistosta alkoi muodostua rakenteita SWOT-analyysiin sisällytettäväksi ja ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastaukseksi.

Aineisto analysoitiin pääsääntöisesti laadullisesti tutkimusasetelman näkökulmasta tutkimuskysymyksiin vastauksia hakien. Laadullista tulkintaa tuettiin ja vahvistettiin määrällisin aineiston käsittelyn keinoilla kuten suorilla jakaumilla tuottaen. Suorilla jakaumilla tiivistettiin monivalinta-kysymysten tuottamaa aineistoa. Korrelaatiota oli havaittavissa erityisesti tutkittujen raaka-aineiden välillä. Lomakekyselyn tuottamaa aineistoa voitiin tutkimusasetelman kannalta tukea tulkitsemalla määrällisin menetelmin kysymysten 4-6, 13, 15, 18, 20, 22, 25, 27, 29, 32, 34, 36, 39, 41, 43, 46, 48, 50

ja 53 tuottamia vastauksia. Näistä tehtiin suoria jakaumia määrittämällä kysymyskohtaiset vastaukset prosenttiosuuksiin kokonaismäärästä. Näitä tulkittiin hyödyntäen kuvailevan- ja kartoittavan tutkimuksen luonnetta (ks. Kehittämistutkimus monimenetelmäisenä tutkimuksena). Nämä eivät sulje pois laadullista tulkintaa näiden osalta, vaan tulkinnat tehtiin toisiaan tukeviksi mahdollisimman kattavan ja vakuuttavan tuloksen muodostamiseksi.

7.4.2 Teemahaastatteluiden aineisto

Teemahaastattelun aineisto muodostui käytyjen haastatteluiden muistiinpanoista. Muistiinpanoihin perehdyttiin lukemalla ja luomalla niistä alustava kokonaisuuden mielikuva. Haastattelukohtaiset muistiinpanot tiivistettiin Word tekstitiedostossa aiheen kannalta oleellisiin seikkoihin, termeihin ja yhteyksiin. Aineistot yhdistettiin viettäessä ne Excel taulukkoon, minkä jälkeen aineistoa käsiteltiin yhtenä tietolähteestä riippumattomana kokonaisuutena. Aineistoa segmentoitiin sekä teorialähtöisesti että aineistosta nousseiden havaintojen muodostamiin luokkiin. Luokkia tulkittiin teorialähtöisesti SWOT-analyysin eri kenttiin kuuluviksi. Teemahaastatteluista muodostuneet luokat yhdistettiin lomakekyselyn tuottamiin vastauksiin yhteisten SWOT-analyysien tuottamiseksi.

7.4.3 SWOT-analyysit

Tutkimusaineistosta muodostuneita aineistolähtöisiä rakenteita tulkittiin ja analysoitiin kuuluviksi teorialähtöisiin SWOT-analyysihin jakamalla aineistosta ilmenneet kokonaisuudet ja tekijät vahvuuksiin, mahdollisuuksiin, heikkouksiin ja uhkiin. Jaottelu toteutettiin Excel taulukossa ja valinnat perusteltiin tietoperustan ja aineistosta ilmenneiden havaintojen mukaisesti. Tekijöiden merkittävyyttä, vaikuttavuutta ja aineiston kokonaistulkinnasta muodostunutta näkemystä kuvattiin ”+” ja ”-” -merkein.

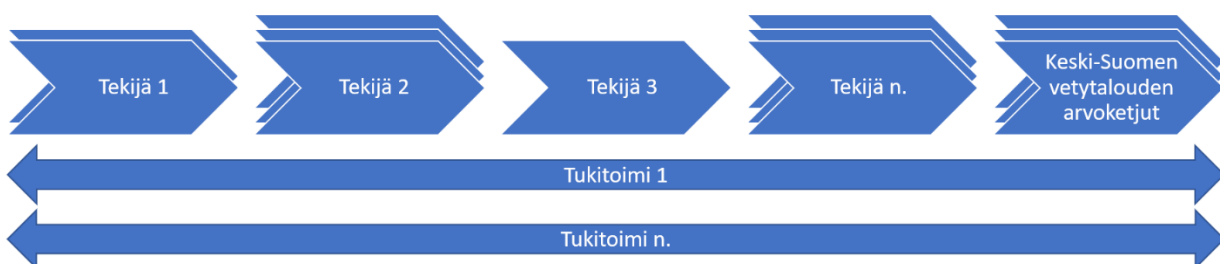
Lomakekyselyn aineistosta ja teemahaastattelu aineistosta havaituista kokonaisuuksista ja tekijöistä koottiin vetytalouteen liittyvän teknologian ja osaamisen SWOT-analyysi painottuen kysymysten 6.-12. tuottamana aineistoon. Vastaavasti painottuen kysymysten 9.-54. tuottamaan aineistoon muodostettiin vedyn ja siihen liittyvien raaka-aineiden analyysi alueellisen hyödyntämisen näkökulmasta, luoden näistä vedyn käytön SWOT-analyysi. Lomakekyselyn kysymysten 9.-12. tuottama aineisto luokiteltiin aineistolähtöisesti luokkiin, jotka jaettiin teorialähtöi-

sesti kuulumaan teknologian ja osaamisen tai vedyn käytön kokonaisuuksiin. Osa aineistolähtöisistä luokista nähtiin kuuluvaksi molempiin teorialähtöisiin kokonaisuuksiin. Siksi kysymykset 9.-12. sisältyvät molempien SWOT-analyysien aineistoon. Molemmissa SWOT-analyyseissä tutkimusaineisto huomioitiin painottuneesta aineistokäytöstä huolimatta kokonaisuutena.

7.5 Arvoketjujen muodostus

Arvoketjut muodostettiin 1. tutkimuskysymyksessä muodostettujen SWOT-analyysien sekä tutkimusaineistosta muodostetun kokonaiskuvan perusteella. Arvoketjut perustuvat kuviossa 12 (SWOT-analyysin hyödyntäminen) esitettyihin SWOT-analyysien nelikenttä-lohkojen toiminnan mukaisten vaateiden toteuttamiseen. Arvoketjumahdollisuudet rajattiin ja perusteltiin tutkimuksen rajauksen mukaisesti. Arvoketjujen muodostuksessa huomioitiin arvoketjujen perusajatus, eli että jokaisen arvoketjun kohdan on edistettävä asiaa ja tuotettava sille lisäarvoa.

Keski-Suomen vetytalouden arvoketjut muodostettiin Porterin arvojen järjestelmä -mallin mukaisesti (ks. luku Arvoketjumalli arvon muodostamisessa). SWOT-analyyseissä esitettyjä tekijöitä asetettiin peräkkäin ja rinnakkain kuviota 13 mukailleen. Ketjua muodostavien tekijöiden rinnalle asetettiin tukitoimiksi arvoketjun jokaista vaihetta tukevia tekijöitä tai tekijöistä koostuneita kokonaisuuksia. Nämä arvoketjut muodostavat tunnistettuna Porterin kuvaaman arvon nousun myötä Keski-Suomen vetytaloudelle arvoa ja siten kilpailuetua.



Kuvio 13. Keski-Suomen vetytalouden arvoketjujen rakentuminen

Ketjut perustuvat sisällöllisesti tutkimuksen tietoperustan pääkohtiin ja tutkimuksessa ilmenneisiin merkityksellisimpiin aiheisiin. Tutkimuksen perusteella merkityksellisimpiä aiheita arvoketjujen muodostamiseen olivat liikenne, jalosteet ja osaaminen. Ketjut nimettiin kuvaavasti nimityksillä ”Vetyä hyödyntävä liikenne ja liikkuminen”, ”Vedyn jalostus”, ”Osaamisella vaikuttaminen” ja

”Osaamisella heikkouksista liiketoiminnaksi”. Arvoketjuihin sisällytettävät tekijät valittiin tutkimusaineistosta ketjun aiheeseen liittyvien tekijöiden yhteyksiä, merkityksellisyyttä ja ketjussa hyödynnettävyyttä ajatellen. Arvoketjujen tukitoimet muodostettiin yhdestä muutamaan tekijästä. Tukitoimilla arvioitiin olevan arvoketjua laajasti tukeva rooli. Ketjussa ei sinänsä esitetä sen tuottamia vaikutuksia, mutta vaikutukset esimerkiksi SWOT-analyysien heikkouksiin ja uhkiin nostettiin esiin arvoketjun avaavassa tekstissä.

8 Tulokset

8.1 Keski-Suomen vetytalouteen liittyvät tekijät

1. tutkimuskysymykseen ”Mitä tekijöitä Keski-Suomen vetytalouteen liittyy?” vastataan tutkimusaineistosta johdetuilla SWOT-analyysillä.

8.1.1 Tulosten johtaminen lomakekyselyaineistosta

Osallistujien perustiedot, kysymykset 1.-5.

Kysymyksillä 1-3 kerättiin varsinaisen tutkimusaineiston sijaan perustiedot toimijoilta mahdollista yhteydenottoa ja vastauksettavuuden määrittystä varten. Toimijaa kuvaavaa toimialaa kysyttiin 4. kysymyksellä. Kysymys oli asetettu pakolliseksi vastattavaksi ja monivalinnasta sai valita enintään kolme vaihtoehtoa. Valintoja tehtiin yhteensä 73 kpl. Annetuista vaihtoehdoista suurin valintamäärä 13 valinnalla (17,8 %) kohdistui teollisuudelle. Energiapalveluihin ja julkiseen tahoon ilmoitti kuuluvansa molempiin 10 vastaajaa (13,7 %). Muita yli 5 % valintamäärän ylittäneitä vaihtoehtoja olivat liikenne 9 valinnalla (12,3 %), metsäteollisuus 7 valinnalla (9,6 %) ja koneet ja kalusto 4 valinnalla (5,5 %).

Other eli muu vastauksia annettiin koko valintamäärästä lähes viidennes (19,2 %). Other valinnoista puolet (50 %) annettiin tarkennuksena tai lisäyksenä monivalinnalle ja toinen puolet (50 %) ainoana vastauksena kysymykseen. Other valinnat voitiin jakaa aineistolähtöisesti kahteen osakokonaisuuteen, jotka ovat TKI + koulutus ja palveluiden tuottaminen, joiden jälkeen jäljelle jäi määrittämättömät eli muut. Palveluiden tuottaminen ilmeni viidellä ilmaisulla (36 % Other valinnoista)

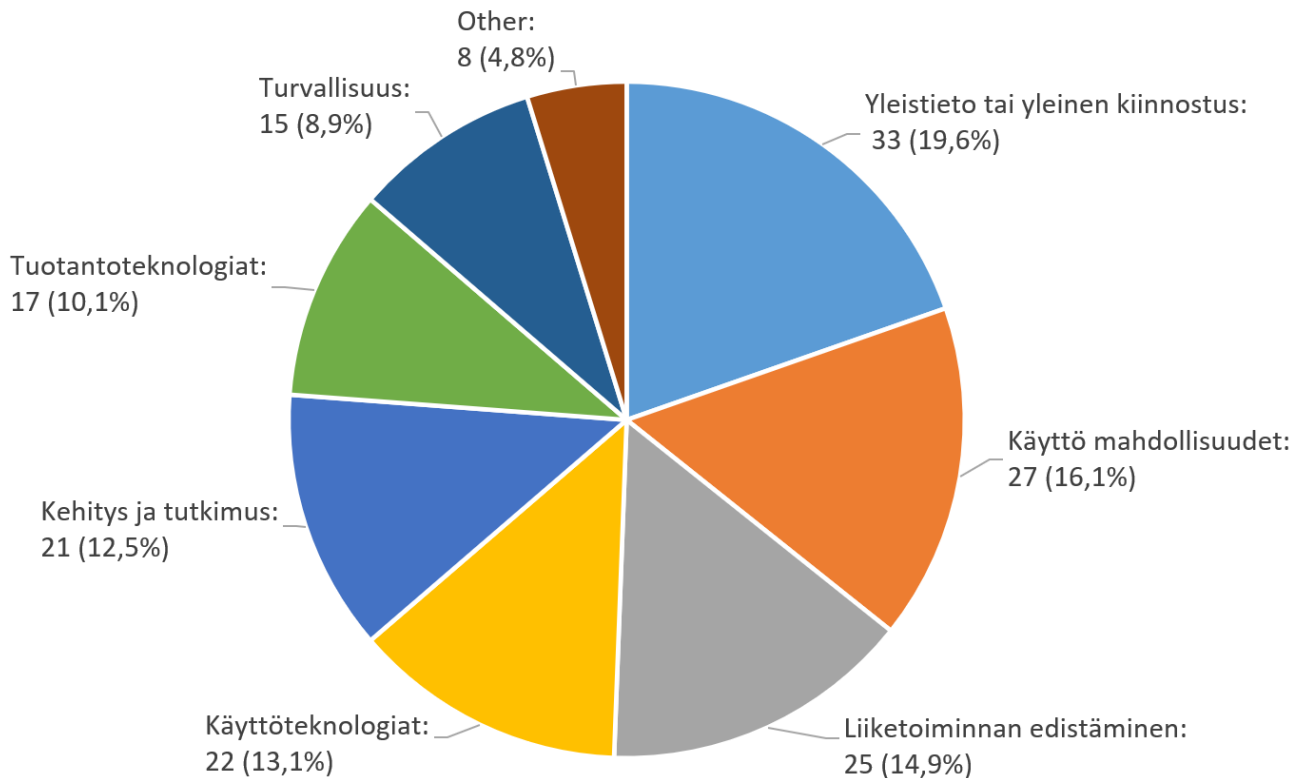
ja TKI + koulutus neljällä ilmaisulla (29 % Other valinnoista). Muita Other ilmaisia kertyi viisi kappaletta (36 % Other valinnoista). Valitusta eliittiotannasta todettiin neljän suurimman toimialan olleen teollisuus, energiapalvelut, julkinen taho ja liikenne.

Vuosiliikevaihtoa kartoittavaan 5. kysymykseen vastasi 47 (94 %) lomakekyselyn vastaajista. Lomakekyselyyn osallistuneista reilu puolet (52 %) vastasi kuuluvansa suuryritys määrityksen mukaiseen yli 50 miljoonan euron vuotuisen liikevaihdon yritysten joukkoon. 2-10 miljoonan ja 10-50 miljoonan liikevaihdon omaaviin yrityksiin ilmaisi kuuluvansa liki sama määrä lomakekyselyyn vastanneita (2-10 milj.: 9 kpl=18 % ja 10-50 milj.: 8 kpl=16 %). Loput vastanneista eli neljä vastaajaa (8 %) valitsivat kuuluvansa 0-2 miljoonan vuotuisen liikevaihdon toimijoihin. Huomioitavaa oli, että eliittiotannasta selvästi suurin osuus eli yli puolet (52 %) ovat liikevaihtoluokaltaan suuryrityksiä.

Teknologia ja osaaminen, kysymykset 6.-8.

Kuvio 14 havainnollistaa 6. kysymyksen ”Millaista vetytalouteen liittyvää tietoa, teknologiaa tai osaamista tarvitsette tai olette kiinnostuneita hyödyntämään toiminnassanne?” monivalintojen valintamäärän jakauman. Vastaaja sai valita vapaasti haluamansa määrän vaihtoehtoista ja hyödyntää Other-vaihtoehtoa antamalla oman vaihtoehdon tekstikenttään. Vastauksista on havaittavissa ”yleistiedon tai yleisen kiinnostuksen”, ”käyttö mahdollisuuksien” ja ”liiketoiminnan edistämisen” olevan vastaajille merkityksellisimpiä asioita vetytalouden tietoon, teknologiaan ja osaamiseen liittyen. Annettujen valmiiden vaihtoehtojen puitteissa ”turvallisuuteen” ja ”tuotantoteknologioihin” liittyvää tietoutta ei nähty yhtä tarvittavaksi tai hyödynnettäväksi kuin muita vaihtoehtoja. Kahdeksan annettua Other-valintaa tuottivat yksittäisiä tekijöitä ja huomioita jokaisen osa-alueen osalta, joista voitiin nostaa huomioitavaksi seikaksi liiketoiminnalliset tekijät kolmen eri vastauksen johdosta.

Kysymys 6: Monivalinnan valintamäärät (Yht. 168kpl)



Kuvio 14. Toimijoiden kiinnostuksen kohdentuminen vetytalouden osa-alueisiin

7. kysymys tuotti 30 vapaamuotoista tekstivastausta 6. kysymyksen lisätiedoksi. Vastauksista oli havaittavissa useita perustiedon tarpeeseen liittyviä seikkoja, joita kuvasi esimerkiksi vastaus ”ylätason tekninen perusymmärrys on välttämätöntä”. Rakenteita muodostui toimijoilla jo olevaa osaamista ja teknologiaa, raaka-aineita ja jalosteita sekä liikennettä ja liikkumista käsittelevistä vastauksista. Raaka-aineita ja jalosteita käsitteleviä vastauksia kuvasi hyvin vastaus ”Tutkimme mahdollisuutta hiilidioksiidin talteenottoon sekä vedyn valmistamiseksi valituotteena jotta voimme valmistaa - e-metanolia”. Vastaukset osoittivat myös liiketoimintaa ja kustannuksia käsitteleviä tekijöitä esimerkiksi liiketoimintamalleja ja tukirahoitusta käsittelevin vastauksin.

7. kysymyksen tuottamia vahvuuksiin kuuluneita rakenteita olivat ”käynnissä olevat toimet”, ”julkisen sektorin ja kokonaisuushallinnan osaaminen” ja ”biotuotteet ja jalosteet”. Heikkouksiin kuului määriteltiin kokonaisuudet ”puuttuvat ratkaisut ja tuotteet”, ”tietämättömyys” ja kohdennettu ”tietämättömyys käyttömahdollisuuksista”. Kysymys tuotti eniten mahdollisuuksiin kuuluneita rakenteita, jotka nimettiin olevan ”kansalliset toimijat”, ”vetytalouden tarve” ja ”liiketoiminnan kehittäminen” sekä ”liikenne ja liikkuminen”. Uhiksi todettiin kokonaisuudet ”tiedon

puute” ja ”liikennekäytön turvallisuus”. Huomattavaa oli, että kysymysten 6. ja 7. vastauksissa molemmissa nousee vahvimpana esille yleisen tietoisuuden tarve.

8. kysymyksessä kysyttiin mistä toimijat saavat tai löytävät tietoa vedystä ja vetytaloudesta. Taulukossa 3 on esitetty vapaamuotoisten tekstivastausten perusteella muodostuneet luokat ja niihin kuuluneiden tietolähdemainintojen määrät. Yksittäisiä tietolähdemainintoja ilmeni 96 ja niistä selkeästi suurin osa, lähes kolmannes (29,2 %) oli oman verkoston tietolähteitä. Vastauksissa ilmeni neljä (4,2 %) vastausta, joista kolmessa tuotiin ilmi ettei tiedä mistä saisi tietoa ja yhdessä todettiin ettei ole vielä ajankohtaista etsiä tietoa.

Taulukko 3. Vastaajien hyödyntämät tietolähteet

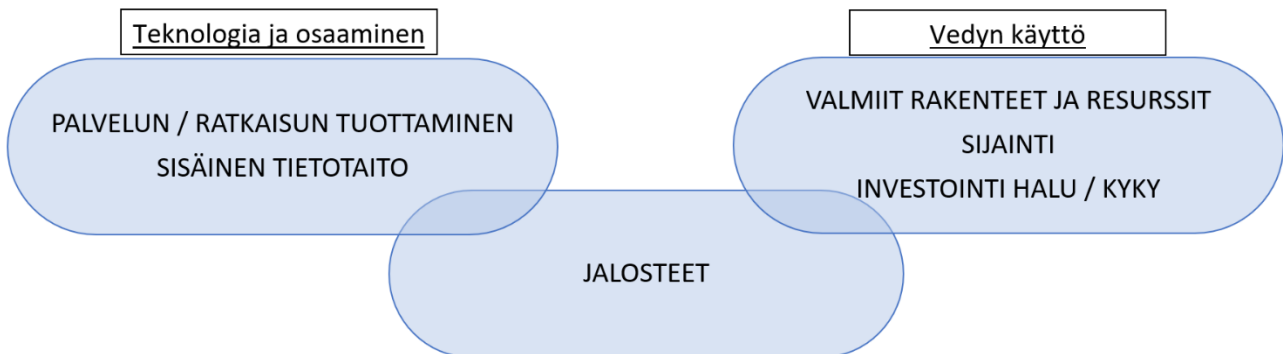
Maininnat kpl (%)	Mainituista tietolähteistä muodostunut kokonaisuus: esimerkkejä
28 (29.2%)	Verkostot: Laite- ja teknologiatoimittajat / yhteistyötoimijat / järjestöt / yhdistykset
12 (12.5%)	Media: Alan uutiskirjeet / uutiset / ammattilehdet
9 (9.4%)	Tilaisuudet: Seminaarit / webinaarit / messut
9 (9.4%)	Sisäinen tieto: Sisäinen viestintä / oma tutkimus
9 (9.4%)	Internet
7 (7.3%)	Raportit ja tutkimukset
7 (7.3%)	Julkiset: Julkaisut / julkiset lähteet
6 (6.3%)	Koulutus- ja tutkimuslaitokset ja koulutukset
5 (5.2%)	Projektit ja hankkeet: Asiakasprojektit / oma tutkimus / julkiset projektit
4 (4.2%)	Ei tietoa lähteistä / Ei tarvetta tiedolle: "En tietä mistä saisin lisätietoa" / "En tiedä"
96 (100%)	Tietolähde mainintoja yhteensä

Toimijoiden vetytalouteen liittyvä toiminta, kysymykset 9.-12.

Toimijoilta kerättiin aineistoa toimintansa vetytalouteen liittyvistä merkittävimmistä SWOT-analyysin mukaisista osa-alueista. Kysymysten SWOT-termein asetettu kysymysmuoto mahdollisti aineiston suoraviivaisen analysoinnin. Vastaukset tiivistettiin sisällöllisesti tarpeellisiin vastauksiin poistamalla tyhjät ja sisällöttömät kuten ”N/A” -vastaukset. Tiivistyksen jälkeen jäljelle jäi seuraavan mukaiset vastausmäärät; 9. kysymys koski vahvuuksia keräten 35 vastausta. 10. kysymys koski heikkouksia tuottaen 39 vastausta. Mahdollisuuksia kartoittava 11. kysymys tuotti 37 vastausta. 12. kysymyksen tuottama aineisto koostui 34:stä vastauksesta. Tyhjille ja sisällöttömille vastauk-

sille arvioitiin syytä vastaajan muiden vastausten perusteella. Sisällöttömistä vastauksista neljä lukeutui niihin, joissa koko vastauslomake oli joko kokonaan tyhjä tai erittäin suppea. Muutoin tyhjäksi jätetyt tai sisällöttömät vastaukset ilmeni johtuneen tietämättömyydestä tai toiminnan vähäisestä liittymisestä aiheeseen.

Aineisto segmentoitiin kysymyskohtaisesti huomioiden saman vastaajan muihin kysymyksiin antamat vastaukset. Näin toimijan vastauksista saatiin parempi kokonaiskuva ja vastauksen tulkinta oli luotettavuudeltaan yksittäisen vastauksen tulkintaa parempi. Aineiston käsittelyssä ja analysoinnissa oli huomioitava, että yksittäinen vastaus saattoi sisältää yhden tai useamman yksittäisen tekijän. Aineistosta muodostui rakenteita, jotka jaoteltiin kuuluviksi teknologiaan ja osaamiseen tai vedyn käyttöön. Muutamat rakenteista soveltuivat molempiin osa-alueisiin. Jaottelu ja rakenteet esitetty seuraavissa kysymyskohtaisissa kuvioissa, kuviot 15 - 18.



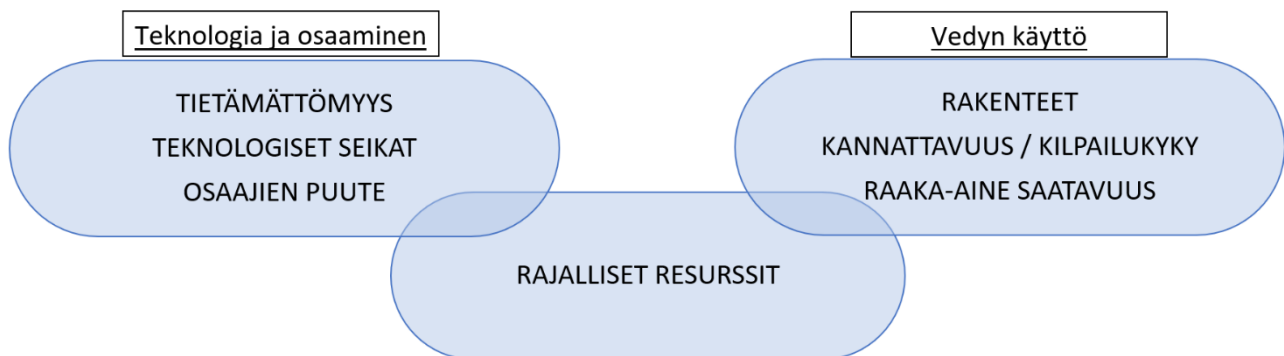
Kuvio 15. Toimijoiden ilmaisuista tunnistetut vahvuudet

Kuviossa 15 esitetään 9. kysymyksen ”Mitkä ovat toiminnassanne vetytalouteen liittyvät merkittävimmät vahvuudet” tuottamasta aineistosta tunnistetut rakenteet. Teknologian ja osaamisen osa-alueeseen kuuluvaan vahvuuteen ”palvelun / ratkaisun tuottaminen” -kokonaisuuteen lukeutui toimijoiden ilmauksia tuotteistamisesta, hyödynnettävyydestä ja liiketoiminnan kasvattamisesta. Täsmällisiä vastauksia kysymykseen olivat esimerkiksi sähköverkon elinkaaripalveluiden tarjoamisen lisäksi sitaatit ”Kyky tukea erilaisten kumppanuuksien ja yhteyksien muodostumista yritysten, liiketoiminnan ja tutkimuksen välille.” ja ”Vetytalous tarvitsee paljon sähköä. Liiketoiminta liittyy

uusiutuvaan sähköntuotantoon.". Toiseen kokonaisuuteen "Sisäinen tietotaito" lukeutui mm. erityisosaamisen ja konseptiosaamisen mainintoja kuten "kaasuosaaminen", "tekninen osaaminen" ja "uusien kokonaiskonseptien kehittäminen". Vastauksista on selkeästi havaittavissa mainittujen kokonaisuuksien luonnollinen yhteys oman tietotaidon hyödyntämiseen liiketoiminnan tuottamisessa.

Vedyn käyttöön liittyvistä vahvuksista laajin oli valmiisiin rakenteisiin ja resursseihin kuten sähköverkon, liikenneverkon ja teollisuusresurssien tekijöihin perustuva kokonaisuus. Sijainti vahvuutena ilmeni liikenteen solmukohtana ja uusiutuvan energian potentiaalisena tuotantoalueena. Investointi halukkuus ja kyky esitettiin toiminnan laajentamisen ja omien tuotteiden kehittämisen näkökulmasta.

Molempiin osa-alueisiin kuuluvaksi voitiin todeta jalosteiden kokonaisuus. Tätä kuvasi esimerkiksi maininnat kemikaalien valmistuksesta, liikennebiokaasun tuotannosta ja raaka-aineiden hankintaketjusta.

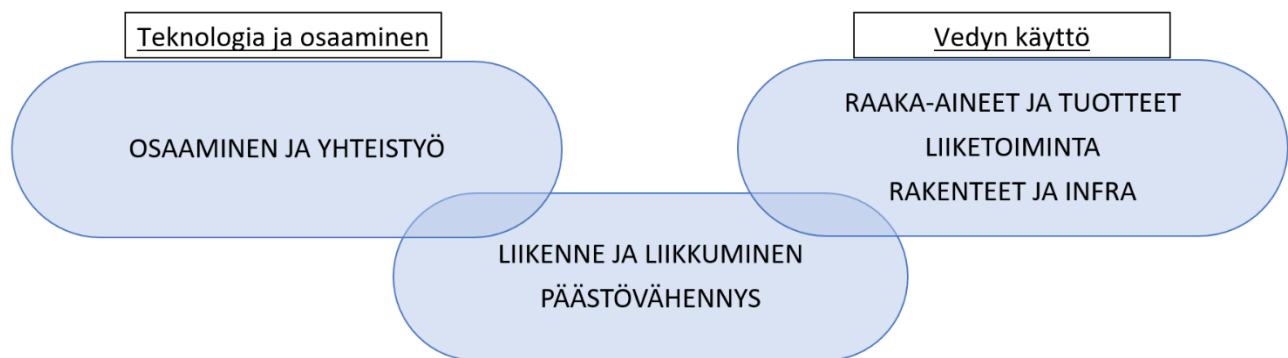


Kuvio 16. Toimijoiden ilmaisuista tunnistetut heikkoudet

Kuviossa 16 esitetään 10. kysymyksen "Mitkä ovat toiminnassanne vetytalouteen liittyvät merkittävimmät heikkoudet" tuottamasta aineistosta tunnistetut rakenteet. Kuten muidenkin kysymysten vastauksista oli huomattavissa, tietämättömyys nousee merkittäväksi heikkoudeksi luokiteltavaksi kokonaisuudeksi. Tietämättömyyttä kuvattiin mm. vastauksin "Tiedon puute" ja "Ei tietoa

voiko liiketoiminta hyötyä vetytaloudesta". Heikkouden kokonaisuudeksi teknologiaan ja osaamiseen liittyen muodostui teknologiset seikat, jota kuvattiin vedyn ominaisuuksiin liittyvinä haasteina, riskialttiina tekniikkana ja teknologian keskeneräisyytenä. Osaajien puute muodosti heikkouksiin kokonaisuuden vastaajien osaajien puuttumisen -toteamuksista.

Vedyn käyttöön ja hyödyntämiseen liittyvistä vastauksista kokonaisuus "rakenteet" koostui erilaisista puutteista, pullonkauloista ja aikataulullisista heikkouksista. Näitä kuvattiin olevan investointien ja avaintoimijoiden puute, hankkeiden luvitus, huoltovarmuus ja hankkeiden aikataulullinen pitkä kesto. Heikkoutena kannattavuus / kilpailukyky ilmeni mm. tuotantokustannusten, kannattavuuden, kaupallisten heikkouksien ja taloudellisen kyvyttömyyden perusteella. Raaka-aineiden saatavuus ja vähäinen kulutus eri ilmaisuina asetti kokonaisuuden osaksi aineistosta ilmenneitä heikkouksia. Rajalliset resurssit -kokonaisuus ilmeni aineistossa raaka-aineiden, osaamisen ja taloudellisten tekijöiden rajallisuutena, joiden vuoksi se on yhdistettävissä molempiin tutkimuksen osa-alueisiin heikkoutena.



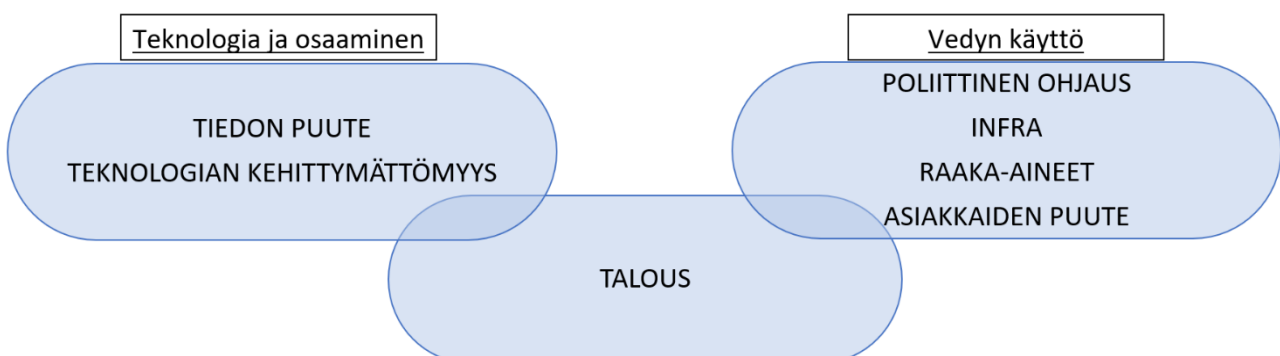
Kuvio 17. Toimijoiden ilmaisuista tunnistetut mahdollisuudet

Kuviossa 17 esitetään 11. kysymyksen "Mitkä ovat toiminnassanne vetytalouteen liittyvät merkittävimmät mahdollisuudet" tuottamasta aineistosta tunnistetut rakenteet. Mahdollisuudeksi teknologian ja osaamisen kannalta, vastaavasti kuten muissakin analyyseissä oli havaittavissa, muodostui osaamisen ja yhteistyön kokonaisuus. Tähän kuuluivat niin tekniseen osaamiseen, julkisen sektorin osaamiseen ja tutkimukseen painottuvien vastausten kirjo. Yhteistyöhön viitattiin mm.

teknologian kehittäjien, kouluttajien, ekosysteemien ja naapurikaupunkien kanssa tehtävään yhteistyöhön liittyvillä vastauksilla.

Vetytalouden mahdollisuuksista vedyn käyttöön liittyen "raaka-aineet ja tuotteet" kokonaisuus koostui useista bio-, uusiutuvia ja jalostetuotteita koskevista vastauksista. Vastauksissa esiintyi monipuolisesti erilaisia valmistukseen, käyttöön ja hyödyntämiseen liittyviä seikkoja kuten "uusiu-
tuvien kemikaalien valmistus" ja "biogeenisten hiilidioksidivirtojen hyödyntäminen". Vedyn käytön kannalta merkittävät synteettiset jalosteet mainittiin vastauksissa jokaisen opinnäytetyössä käsitellyn jalosteen, eli metanolin, metaanin ja ammoniakkin osalta. Liiketoiminta koettiin sekä yleis-
tään mahdollisuudeksi sekä täsmällisemmin mm. infran rakentamisen ja liikenteen päästövähene-
män kautta liiketoimintaan positiivisena vaikutuksena. Rakenteiden ja infran kannalta mahdollisuuksia esitettiin teollisuusalueiden laajentamisessa, infraa kehittävinä investointeina sekä toimijan sijainnin ja käytettävissä olevien maa-alueiden hyödyntämisenä.

Molempiin rajauksen osa-alueisiin kuuluvaksi nähty liikenteen ja liikkumisen kokonaisuus koostui alueellisen teknologian hyödyntämisen mahdollisuuksina, logistisena sijaintina sekä vedyn hyödyntämisenä nolla-päästöisissä ajoneuvoratkaisuissa. Päästövähennysten mahdollisuudet esiintyivät vain muutamassa vastauksessa, mutta niiden mahdollisuudet toimijalle tulkittiin olevan huomattavat liiketoiminnan kannalta.



Kuvio 18. Toimijoiden ilmaisuista tunnistetut uhat

Kuviossa 18 esitetään 12. kysymyksen ”Mitkä ovat toiminnassanne vetytalouteen liittyvät merkittävimmät uhat” tuottamasta aineistosta tunnistetut rakenteet. Vetytalouden kehittymisen kannalta sitä uhkaavilla tekijöillä on merkittävä rooli. Aineistosta teknologiaa ja osaamista uhkaavaksi tekijäksi muodostunut tiedon puute koostui mm. riskien hallinnan, kokonaiskuvan epävarmuuden ja osaajien puutteen kaltaisista vastauksista. Vältettäväksi yksittäiseksi uhkatekijäksi voitiin nostaa vastaus ”Jäädään seuraamaan sivusta”. Heikkouksien ja uhkien samankaltaisuutta kuvasi teknologian kehittymättömyyden kokonaisuuteen kuuluvat vastaukset riskeistä, vedyn ominaisuuksista ja uuden teknologian haasteista.

Vedyn käyttöön kohdistuvia uhkien kokonaisuuksia leimasi yhteisenä seikkana uuden toimialan tuntemattomuus. Tämä osoittautui poliittisessa ohjauksessa lyhytjänteisyytenä ja päätöksiin sitoutumattomuutena. Infran osalta epävarmuus sen riittävydestä ja kehittymismahdollisuuksista nousi toistuvasti esille. Infran uhkaan kuuluvaksi todettuja olivat mm. sähköverkot, tankkausverkosto ja yleisesti vetyinfra. Raaka-aineiden osalta uhka kuvastui niiden riittävytenä ja korvattavuutena. Asiakkaiden puute nähtiin uhkana kannattavan liiketoiminnan kannalta.

Uhkien kokonaisuuksista vastausmäärällisesti selkeästi suurin oli ”talous”. Kokonaisuuteen sisältyi vastauksia ja niistä kerättyjä tekijöitä esimerkiksi markkinoihin, hintaan, kannattavuuteen ja investointeihin liittyen. Taloudelliset tekijät koskivat sekä teknologiaa ja osaamista että vedyn käyttöön liittyvää toimintaa. Uhiksi mainittiin sekä ajankohtaisia kuten ”markkinoiden kehittymättömyys” ja tulevaisuuteen katsovia tekijöitä kuten ”kannattavuus pitkällä tähtäimellä”. Hintaan liittyviä uhkia kuvattiin sähkön, kaluston, polttoaineiden ja kemikaalien osalta. Investointien uhat liittyivät rahoituksen haasteisiin.

Vedyn käyttöön liittyvät seikat, kysymykset 13.-54.

Kysymykset 13.-54. käsittelivät eri raaka-aineiden tuotantoa, käyttöä ja hyödyntämistä ja näiden määrällistä kehityssuuntaa nyt ja seuraavan viiden vuoden lähitulevaisuudessa. Aineisto käsiteltiin analysoitavaan muotoon raaka-ainekohtaisesti ja tiivistettiin poistamalla tyhjät ja sisällöttömät vastaukset kuten tyhjäksi tulkittavat ” – ” -merkit. Joissain tapauksissa annettu vastaus ei vastannut asetettuun kysymykseen, jolloin vastauksen sisältö pyrittiin tulkitsemaan kokonaisuuteen kannalta. Aineistosta tutkittiin vastausten perusteella määriä, kuinka monta toimijaa tuotti, kulutti tai

muuten hyödynsi mitäkin raaka-ainetta. Määriä havainnollistettiin suorilla jakaumilla koko vastaajamäärään nähden, eli tiittotannan jakauman havainnollistamiseksi raaka-aineiden suhteen.

Joissain vastauksissa oli annettuna "Kyllä"-vastaus kysyttäessä onko tuotantoa, kulutusta tai muuta hyödyntämistä, mutta määrä tai määrät oli jätetty ilmaisematta. Näissä tapauksissa, jos määrän kehitykselle oli kuitenkin annettu suunta, vastaajan muita vastauksia tulkittiin vastauksen ymmärtämiseksi. Joissain vastauksissa kerrottiin suoraan ja joistain oli pääteltävissä, että määrätiedot olivat salassa pidettäviä tai muusta syystä jätetty kertomatta. Alueellisten kokonaismäärien kehityssuunta tulkittiin annettujen arvioiden perusteella. Aineisto analyysi on koostettu havainnollisesti taulukossa 4.

Taulukko 4. Alueellinen raaka-aineiden tuotanto, käyttö tai muu hyödyntäminen

Tuottaja ja kuluttaja määrät raaka-aineittain ja arvioitu määrien kehityssuunta. Aikaikkuna: 11/2023 - 11/2028 (5v) Luvut ovat toimijamääriä, suluissa %-osuus tutkimukseen osallistuneista						
Raaka-aine	Tuottajien määrä	Tuotantomäärän kehitys	Kuluttajien määrä	Kulutuskulutusmäärän kehitys	Toimijoita yhteensä	Sekä tuotantoa että kulutusta
Vety	5 (10%)	↑	7 (14%)	↑	8 (16%)	4 (8%)
Metanoli	3 (6%)	↑	1 (2%)	→	3 (6%)	1 (2%)
Metaani	5 (10%)	→	8 (16%)	↑	10 (20%)	4 (8%)
Ammoniakki	1 (2%)	↑	1 (2%)	→	2 (4%)	0 (0%)
Hiilidioksidi	8 (16%)	→	8 (16%)	↑	12 (24%)	4 (8%)
Happi	6 (12%)	↑	6 (12%)	↑	9 (18%)	3 (6%)

Määrän kehityksen selitteet: ↑ = Kasvaa / → = Pysyy samana / ↓ = Vähenee

Oleellisimpana tutkittavana raaka-aineena olleen vedyn tuotantoa ilmaisi seuraavan viiden vuoden aikana tuottavansa viisi toimijaa, jotka ilmaisivat tuotantomäärän seuraavin ilmaisin: "4-5MW", "eos", "5MW elektrolyyseri", "50 000tn" ja "1 tn". Tuottajista kaikki näkivät määrän kasvavan tai kasvavan reilusti viiden vuoden lähitulevaisuudessa. Vastaavasti samalla aikajänteellä vetyä ilmaisi käyttävänsä seitsemän toimijaa seuraavin ilmaisin: "2-3MW", "eos", "50 000 tn", "100 kg", "Mikäli -(ehto)- niin lähdemme varmasti hyödyntämään.", "n. v. 2027 tai 2028 tarkoituksena ottaa käyttöön ensimmäinen vety-kuorma-auto", "Pilotoitinkokemusta lähdetään hakemaan kun se on

järkevää”. Viimeiseen järkevyyteen viittaavaa ilmaisua toimija täydensi arvioimalla tämän tapahtuvan vuosikymmenen lopulla. Yhtä ”pysyy samana” -vastausta lukuun ottamatta muut vedyn kuluttajat arvioivat kulutusmäärän kasvavan tai kasvavan reilusti.

Vedyn tuotannon ja käytön näkymät suuntautuvat tutkimusaineiston perusteella vedyn liikennekäyttöön ja jalosteiden valmistukseen. Joissain tapauksissa tuotannon ja kulutuksen ilmaistiin olevan pilotointi mallista toimintaa ja määrien olevan vähäisiä. Toisissa sitä vasten ilmaistiin liiketoiminnallisen mittakaavan käynnistämistä. Tutkimukseen osallistuneista metanolin tuottajia ja käyttäjiä on varsin pieni määrä. Tuotannon oletettava kasvu ja ennallaan pysyvä kulutus muodostavat alueellisesti mahdollisesti metanolin ylitarjontaa, jos nykyinen tuotanto jo kattaa kulutuksen.

Metaanin hyödyntäminen perustuu pääosin biokaasun tuotantoon ja käyttöön liikennepolttoaineena ja lämmöntuotannossa. Metaanin tuottajia ollessa käyttäjiä vähemmän ja metaanin tuotannon pysyessä samana kulutuksen kasvaessa, muodostaa tämä luontaisen tarpeen metaanin lisätuotannolle, mikäli tuotanto ei ole ennestään ylimitoitettu. Metaanin kuljetus alueen ulkopuolelta on toki kohtuullisen vaivatonta, mutta alueellisesti tarkasteltuna tämä metaanin lisätarve on positiivinen signaali synteettisen metaanin tarpeelle. Tutkimuksen mukaan metaanin käyttö liikennepolttoaineena lisääntyy, mikä edellyttää myös jakelu ja tankkaus mahdollisuuksien vahvistamista. Ammoniakin tuotanto ja kulutus on erittäin pientä tutkimuksen rajauksen ja osallistuneiden osalta. Ammoniakin osalta pieneksi jääneen aineiston vuoksi mainittujen käyttökohteiden avaaminen voi vaarantaa tutkimusetiikan mukaisen vastausten ja toimijoiden välisen yhdistämättömyyden.

Hiilidioksidin tuottajia ja kuluttajia on tutkimuksen mukaan sama määrä, kahdeksan kappaletta. Hiilidioksidin tuotanto nähdään pysyvät samana kulutusmäärän kasvaessa. Polttamisesta muodostuva hiilidioksidimäärä nähdään vähenevän. Tämä voi muodostaa alueellisen puutteen hiilidioksidista, jos kulutusmäärä ylittää tuotannosta talteen otettavan määrän. Jalostetuotannon kehitys vaikuttaa tutkimusaineiston mukaan kannustavan hiilidioksidin talteenottoon. Hiilidioksidin tarve synteettisten jalosteiden valmistuksessa on merkittävä, jolloin hiilidioksidin riittävyys voi asettua haasteeksi synteettisten jalosteiden valmistuksessa. Tutkimuksen mukaan happea sekä tuotetaan että kulutetaan ja määrien nähdään kasvavan. Tuotanto ja kulutuskohteet ovat monipuolisia ja määrät vaihtelevat sadoista kiloista satoihin tuhansiin tonneihin. Kasvava tuotanto ja kasvava kulutus toimivat toisiaan edistävinä tekijöinä.

Tutkittujen raaka-aineiden lisäksi tutkimusaineistossa esiintyi ilmauksia muista alueella hyödynnettävistä raaka-aineista. Näitä olivat esimerkiksi ammoniakista valmistettava jaloste ammoniumnitraatti, propaani ja asetyleeni. Ammoniumnitraatin valmistuksessa käytettävä ammoniakki osoitautui olevan alkuperältään Keski-Suomen ulkopuolelta, jolloin se tutkimuksen alueellisen rajauksen vuoksi jätettiin huomioimatta ammoniakkin käsittelyssä. Yleistä toiminnan kasvua ajatellen huomioitavaa on, ettei minkään raaka-aineen määrän kehityssuunta ole laskeva.

Vapaa sana, kysymys 55.

Lomakekyselyn viimeisellä kysymyksellä annettiin vastaajalle vapaa sana aiheesta ja lomakekyselystä. Vapaamuotoisen tekstikentän tuottamat 20 vastausta tiivistettiin sisällöllisesti aihetta ja toimintaa refleктоiviin ja pohtiviin 13 vastaukseen. Vastauksista tunnistettiin näkökulmia ja seikkoja, jotka tukivat ja vahvistivat tutkimuksessa tehtyjä tulkintoja ja päätelmiä. Aineistossa arvioitiin toiminnan kehitystä liikenteen ja liikkumisen, liiketoiminnan sekä jalosteiden ja raaka-aineiden näkökulmista. Vastauksista ilmeni realiteetteihin nojaavaa toiveikkuutta vetytalouden kehitystä kohtaan. Tutkimuksessa määriteltyyn viiden vuoden aikaikkunaan viitaten näkemykset vetytalouden todellisesta konkretisoitumisesta kohdistuvat pidemmälle ajalle. Aiheen todetaan olevan mielenkiintoinen ja ajankohtainen ja sen ymmärtäminen koetaan tärkeäksi. Kiitollisuus lomakekyselyyn osallistujaksi pääsemisestä antoi positiivista signaalia yhteisen asian äärellä olemisesta.

8.1.2 Tulosten johtaminen teemahaastattelu aineistosta

Teemahaastattelun teemojen mukaisesti vahvuuksiin kuuluvia tekijöitä tai seikkoja löytyi eniten, noin 40 mainintaa. Mahdollisuuksia löytyi noin 30 mainintaa. Mainintoja heikkouksiin luettavista tekijöistä oli havaittavissa vain viisi ja uhkiinkin vain 12. Teemahaastatteluiden luonteen ollessa alueellisten vahvuuksien ja mahdollisuuksien kartoittamisessa, eivät heikkoudet ja uhat nouse aineiston perusteella esille vastaavasti kuin lomakekyselyn tuottamassa aineistossa. Aineisto tuotti vastaavia luokkia kuin lomakekysely, näitä olivat muun muassa liikenteeseen, raaka-aineisiin ja liiketoimintaan keskittyvät luokat. Aineistosta nousi esiin lomakekyselyä selvemmin osaamis- ja koulutuskeskittymän ja yhteistyön merkityksellisyys. Verkostojen merkitys oli huomattavaa sekä lomakekyselyn 8. kysymyksen tietolähteitä käsittelevän kysymyksen vastauksissa, että teemahaastatteluissa ilmenneissä tekijöissä.

8.1.3 Teknologian ja osaamisen SWOT-analyysi

Kuviossa 19 esitetään tutkimuksen aineistoanalyysiin perustuen teknologian ja osaamisen osalta vastaukset ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Plus- ja miinus-merkkien määrä perustuu kyseiseen tekijä-kokonaisuuteen kertyneiden mainintojen määrään, niiden merkittävyyteen ja vaikuttavuuteen, sekä koko tutkimusaineistosta muodostuneeseen kokonaisvaltaiseen tulkintaan. ”+ + +” ja ”- - -” -merkein indikoidaan tekijän olevan merkittävä ja vaikuttava. ”+ +” ja ”- -” -merkein ilmaistaan huomattava tekijä. ”+” ja ”-” -merkein kuvataan tekijä itseisarvoisena vahvuutena, heikkoutena ja niin edelleen.

KESKI-SUOMEN VETYTALOUTEEN LIITTYVÄT TEKNOLOGIAAN JA OSAAMISEEN KOHDISTUVAT TEKIJÄT	
VAHVUUDET - KÄYTÄ HYVÄKSI JA VAHVISTA	HEIKKOUEDET - POISTA, LIEVENNÄ, VÄLTÄ
<ul style="list-style-type: none"> +++ Tietoisuuden halu ja tiedon tarve +++ Kiinnostus käyttämällisyyksiin +++ Verkostot +++ Sisäinen tietotaito ja projektit +++ Laitteistot ja tutkimusympäristöt +++ Osaamis- ja koulutuskeskittymä +++ Palvelun / ratkaisun tuottaminen ++ Verkosto yhteistyö ++ Tilaisuudet ++ Biotuotteet ja jalosteet ++ Käynnissä olevat toimet ++ Julkisen sektorin ja kokonaisuushallinnan osaaminen + Paikallinen teknologia + Investoinnit + Tilat ja infra 	<ul style="list-style-type: none"> --- Puuttuvat ratkaisut ja tuotteet --- Teknologiset seikat --- Koulutuslaitosten hyödyntämättömyys --- Tietämättömyys -- Osaajien puute -- Kiinnostuksen puute kehitykseen ja tutkimukseen -- Vetystrategian puute -- Investointien vähyyt -- Tukirahoituksen hyödyntämättömyys -- Tiedon jalostus käytäntöön - Kiinnostuksen puute tuotantoteknologioihin - Tietämättömyys käyttämällisyyksistä - Näkyvyys
MAHDOLLISUUDET - VARMISTA HYÖDYNTÄMINEN	UHAT - POISTA, LIEVENNÄ, KÄÄNNÄ MAHDOLLISUUDEKSI
<ul style="list-style-type: none"> +++ Kiinnostus liiketoimintaan +++ Liiketoiminnan kehittäminen +++ Yhteistyö ja verkostot +++ Osaamiskeskittymä: mahdollistaja ja palveluntarjoaja +++ Tiedottaminen ++ Kiinnostus käyttötieteologioihin ++ Vetytalouden tarve ++ Liikenne ja liikkuminen ++ Tilaisuuksien sisältö ++ Tilaisuuksissa verkostoituminen + Kansalliset toimijat + Raaka-aineiden hyödyntäminen + Infran rakentamisen valmiudet + Teknologiset ratkaisut + Päästövähennys 	<ul style="list-style-type: none"> --- Talous --- Tiedon puute --- Sisäinen kilpailu --- Osaavan työvoiman riittävyys -- Kiinnostus turvallisuuteen -- Liikennekäytön turvallisuus -- Valmiiden puitteiden puute ja toimintatavat -- "Hypen" haihtuminen -- Teknologian kehittymättömyys - Teknologian kannattavuus - Arvoketjuajatuksen soveltamisen puute - Tietolähteistä tietämättömyys

Kuvio 19. Keski-Suomen vetytalouteen liittyvät teknologiaan ja osaamiseen kohdistuvat tekijät

Vahvuudet

Kuviossa 19 esitetyt vahvuudet ilmenevät teknologian ja osaamisen kannalta hyväksi käytettävänä ja jatkuvaa vahvistamista vaativina tekijöinä. Tietoisuuden halu ja tiedon tarve muodostavat selkeästi merkittävän vahvuuden vetytalouden kehittymisen kannalta. Vetytalouden käyttömahdollisuuksiin kohdistuva tarve ja kiinnostus ovat merkittävä vahvuus laaja-alaisen alueellisen vetytaloustoiminnan edistymisessä. Verkostojen rooli tiedonjakamisen kanavana on selkeästi merkittävin ja vaikuttavin, jolloin sen olemassa olo on selkeä vahvuus. Sisäinen tietotaito ja projektit vetytalouden ympärillä ovat vaikuttava vahvuus vetytalouden edetessä, niiden tuottaman lisäarvon ja kokemusoppimisen myötä. Vahvuuksiin lukeutuu myös ennen käynnissä olevaa vetysiirtymää kerrytetty tieto aiheesta, joka mahdollistaa pidempiaikaisen seurannan ja tulkinnan ilmiöstä.

Valmiiden laitteistojen ja tutkimusympäristöjen merkitys esimerkiksi mittaus-, kalibrointi- ja analysointidatan tuottamisessa on teknologian ja tarjottavien palveluiden kannalta vahvuus. Keski-Suomessa oleva osaaminen ja kehittäminen koulutus- ja tutkimuslaitosten mahdollistamana kuuluu selkeästi merkittävien ja vaikuttavien vahvuuksien joukkoon. Vetytalouteen liittyvät palvelut ja ratkaisut ovat vahvuutena merkittävä osa toimijoiden vetytalouden parissa tehtyä kehitystä. Uudet palvelut ja ratkaisut edistävät kehitystä ja luovat uusia mahdollisuuksia ja lähtökohtia muillekin toimijoille, mikä mahdollistaa kehityksen jatkuvuuden ja laajentumisen. Tätä edesauttaa huomattavaksi vahvuudeksi tunnistettu verkostoyhteistyö, erityisesti sidosryhmätyöskentelyssä. Tilaisuudet koetaan tärkeänä tiedon hankinnan kanavana, jolloin itse tilaisuudet voidaan todeta huomattaviksi vahvuuksiksi.

Keski-Suomen vahva biotalousosaaminen ja kiinnostus biotuotteiden lisäksi muiden jalosteiden hyödyntämiseen ja kehitykseen on huomioon otettava vahvuus alueellisen teknologian ja osaamisen kannalta. Käynnissä olevat toimet kuten tutkimus- ja kehityshankkeet, vedyntankkausasemanhanke ja suunnitteilla olevat raskaan kaluston päivitystoimet voidaan todeta huomattaviksi tekijöiksi vetytalouden teknologian ja osaamisen näkökulmasta. Alueellinen julkisen sektorin ja kokonaisuushallinnan osaaminen ja aktiivinen toiminta on alueellisen vetytalouden kehittämisen kannalta huomioitava vahvuus. Näihin lukeutuvat julkisen sektorin reunaehtojen mahdollistamat asiat kuten maankäytön ja kaavoituksen sekä rahoituksen kanavoinnin lisäksi vahva systeemitason osaaminen esimerkiksi energiaratkaisuiden ja liiketoiminnan parissa. Vahvuudeksi voidaan luoki-

tella myös kiinnostus ja halu vetytalouden mahdollistamiin elinkeinojen ja aluetalouden kehitykseen. Paikallinen teknologia ja orastavat investointisuunnitelmat toimivat alueelliselle toiminnalle vahvuutena. Alueelta jo löytyvät toimitilamahdollisuudet voidaan arvioida vahvuuksiksi. Vahvuuksien esiintuominen ja hyödyntäminen edistävät vetytalouden kehitystä ja kehityksen laajenemista.

Heikkoudet

Kuviossa 19 esitetyt heikkoudet ilmenevät teknologian ja osaamisen kannalta poistettavina, lievennettävinä ja vältettävinä tekijöinä. Merkittäviin ja vaikutuksellisiin heikkouksiin luokitellaan puutteet ja keskeneräisyys useissa ratkaisuisissa ja tuotteissa. Näitä havainnollistettiin olevan tehokkuuden, turvallisuuden, päästöjen alentamisen sekä infran ja käytön osalla. Näistä useisiin vaikuttaa merkittävät vedyn ominaisuuksien aiheuttamat haasteet. Koulutus- ja tutkimuslaitokset ja koulutukset esiintyvät määrällisestä vain vähissä vastauksissa tiedonlähteitä kysyttäessä. Koulutuslaitoksilla olevan suurimääräisen ja ajantasaisen tiedon hyödyntämättömyys on merkittävä ja kehitykseen vaikuttava heikkous. Tietämättömyys Keski-Suomen vetytalouteen liittyvästä koulutustarjonnasta, teknologioista, aiheen parissa toimivista yrityksistä ja liiketoiminnassa hyödynnettävyydestä on heikkous. Tämän merkittävyyttä korostaa tietämättömyyden laajuus ja vaikuttavuus alueellisen teknologia- ja osaamistoiminnan kehittymisen kannalta. Näihin lukeutuvat aineiston perusteella lisäksi tieto uusiutuvien ja hajautettujen energialähteiden perusteista ja kaa-voituksen vaateista.

Pelkkä tiedon olemassa olo ei kuitenkaan riitä, sillä osaajien puute muodostuu myös poistettavana tai vähintään lievennettävänä huomattavana heikkoutena. Eliittiotannan vetytalouteen liittyviä kiinnostuksen aiheita valittaessa kehitykseen ja tutkimukseen kohdistuva valintamäärällisesti tasan keskiarvon mukainen valintamäärä voidaan nähdä huomattavana heikkoutena kehittyvälle vetytaloudelle. Ilman merkittävää panostusta vetytalouden kehitykseen ja tutkimukseen edistyminen ilmiön parissa voi olla hidasta ja tuloksetonta. Alueellisen vetystrategian puute on kokonaisvaltainen heikkous alueellisen vetytalouden kannalta, näin ollen myös teknologian ja osaamisen suhteen. Investointien vähyys, tukirahoituksen hyödyntämättömyys ja tietotaidon käytäntöön saattamisen vähyys muodostuu huomattavaksi heikkoudeksi alueellisen vetytalouden kehittymisen kannalta.

Tuotantoteknologioihin määrällisesti vähempi kiinnostus voidaan nähdä heikkoutena alueellisen tuotannon laajamittaisessa kehittämisessä. Vedyn käyttömahdollisuuksiin kohdistuva tietämättömyys osoittautuu teknologian ja osaamisen kannalta heikkoudeksi ajatellen vedyn käyttöön tarvittavaa kehitystä. Näiden heikkouksien vuoksi myös alueellinen vähäinen tunnettavuus ja näkyvyys koetaan heikkoutena teknologian ja osaamisen kannalta.

Mahdollisuudet

Kuviossa 19 esitetyt mahdollisuudet ilmenevät teknologian ja osaamisen kannalta hyödyntämisen varmistamisen vaativina tekijöinä. Selkeä kiinnostus liiketoiminnan edistämiseen on merkityksellinen ja vaikuttavuutta luova mahdollisuus alueellisen vetytalouteen kohdistuvan liiketoiminnallisen kehittämisen kannalta. Liiketoiminnan kehittämiseen liittyvät seikat kuten liiketoimintamallien ja uusien teknologioiden hyödyntäminen toiminnassa on nähtävissä selkeästi kuuluvan mahdollisuuksien joukkoon. Kiinnostus tiedon jakamiseen asiakkaille mahdollistaa suuremman tietoisuuden vetytaloudesta ja sitä myöten luo lisää vaikuttavuutta ilmiön mahdollisuuksille. Kiinnostus tukien hyödyntämiseen luo tukien konkretisoituessaan uusia merkittäviä mahdollisuuksia toiminnalle.

Kuten myös vahvuutena, yhteistyö ja verkostot ovat nähtävissä mahdollisuutena niin yritystoimijoiden kuin erilaisten ekosysteemien välillä. Näihin tulee kiinnittää erityistä huomiota laajoja kokonaisuuksia toteutettaessa. Teknologian ja osaamisen ylläpitämisessä ja kehittämisessä tärkeä rooli on sen todellisessa hyödyntämisessä. Näin ollen yhteistyön ja verkostojen mahdollisuudet ovat merkitykselliset ja vaikuttavat alueellisen toiminnan kannalta. Mahdollistajana ja palveluntarjoajana osaamiskeskittymällä on vetytalouden kannalta suuri määrä mahdollisuuksia myös osaamisen tuotteistamisessa. Keski-Suomen vetytalouteen liittyvän toiminnan näkyvyyden ja tiedottamisen kohdentaminen yritystoimijoille on mahdollisuus investointien konkretisoitumisen edistämiseksi. Tämä on luonnollisesti alueellisesti merkittävä ja vaikuttava vetytaloutta edistävä tekijä.

Käyttötekniologiaihin suuntautunut kiinnostus luo mahdollisuuksia, edistäen hyödynnettävyyteen kohdistuvaa kiinnostusta. Tämän huomiointi mahdollisuutena on varteenotettava alueellisen vedyn käytön kehityksessä. Vetytalouden tarve ilmenee huomioitavana mahdollisuutena esimerkiksi

vihreään vetyyn ja tulevaisuuden polttoaineratkaisuihin liittyvien teknologisten seikkojen ja osaamistarpeiden muodossa. Liikenteeseen liittyvät tekijät ovat selkeä mahdollisuus Keski-Suomelle myös teknologian ja osaamisen näkökulmasta. Sekä sisäisen että läpikulkuliikenteen edellyttämät vetyyn liittyvät ajoneuvot, huolto- ja jakeluverkostot olisi hyödynnettävä alueellisena mahdollisuutena. Tilaisuuksien sisältö ja niissä verkostoituminen nähdään vetytaloustoiminnan kehityksen kannalta huomioitavana uusia mahdollisuuksia luovana tekijänä.

Kansalliset toimijat mahdollistavat myös Keski-Suomen käyttöön pitkän kokemuksen kaasuverkostojen koko elinkaaren hallinnasta. Raaka-aineita, infraa, teknologisia ratkaisuja hyödynnettäessä tekeminen ruokkii teknologiaa ja osaamista, minkä johdosta ne ovat mahdollisuus. Päästövähentäminen mahdollisuutena on yksi koko vetytalouden peruspilareista, vaikkakaan sen ilmeneminen tutkimuksessa ei ollut määrällisesti merkittävä.

Uhat

Kuviossa 19 esitetyt uhat ilmenevät teknologian ja osaamisen kannalta poistettavina ja lievennettävinä sekä mahdollisuuksiksi käännettävinä tekijöinä. Talouden kuuluminen uhkiin on teknologiaan ja osaamiseen pohjautuvan vetytalouden mahdollisuuksien kannalta merkittävässä ja vaikuttavassa roolissa. Talouden vaikutusten kokonaisvaltaisuus voidaan nähdä yhdeksi vetytaloutta ohjaavaksi tekijäksi. Sen lisäksi, että tietämättömyys nähtiin merkittävänä heikkoutena, se osoittautuu tiedon puutteena myös merkittäväksi uhaksi. Tiedon kokonaisvaltainen puute on kaikin keinoin vältettävä ja mahdollisuudeksi kääntämistä vaativa tekijä teknologiaan ja osaamiseen painotuvassa vetytaloudessa. Teknologiaan ja osaamiseen kohdistuvana merkittävänä ja vaikuttavana uhkana on havaittavissa useiden mainintojen myötä resurssien riittävyys niin yritysten, osaajien, teknologioiden kuin kehittämisen kannalta. Tämä luonnollisesti kiristää entisestään jo uhaksi koettavaa kilpailua rajallisista resursseista.

Vaikkakin erot ovat pieniä, kiinnostus turvallisuuteen jäi Other valintoja lukuun ottamatta 6. kysymyksessä vetytalouden kiinnostuksia kysyttäessä vähiten kiinnostavaksi osa-alueeksi. Tämä on huomioitava uhkana toimivan ja ennen kaikkea turvallisen vetytalouden kehityksessä. Liikenteeseen liittyvät tankkausinfra ja turvallisuuden tuntemattomuus voi muodostua uhaksi, jollei niitä huomioida riittävällä tarkkuudella teknologisissa ratkaisuissa tai osaamista niihin liittyen ei ole.

Mahdollisten investoijien tarvitsemien valmiiden puitteiden puuttuminen ja ulkomaalaisille investoijille epätyypilliset toimintatavat mainitaan uhaksi vetytalouden alueelliselle kehitykselle, mikä tulee huomioida alueellisen vetytalouden kannalta mieluiten poistettavana uhkana. Vetytalouden "hysten" eli innostuksen haihtuminen ja teknologian kehittymättömyys voidaan todeta vähäisistä maininnoista huolimatta merkittävytensä vuoksi huomattaviksi uhiksi.

Teknologian kannattavuus ja arvoketjujen soveltamisen vähyyttä nähdään tutkimuksen mukaan mahdollisuuksiksi kääntämisen toimia vaativina uhkina. Tietämättömyys tietolähteistä esiintyi vain vähäisessä määrässä vastauksia, mutta se voidaan nähdä uhkana vetytalouden kokonaiskehittymisen kannalta.

8.1.4 Vedyn käytön SWOT-analyysi

Vedyn käytön SWOT-analyysi koostaa toimijoiden toiminnan näkökulmasta vetytalouden vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Näiden lisäksi analyysiin on yhdistetty vedyn ja siihen liittyvien raaka-aineiden tuotannon, käytön ja muun hyödyntämisen näkökulmasta kerätty aineisto.

Kuviossa 20 esitetään tutkimuksen aineiston analyysiin perustuen vedyn käytön osalta vastaukset ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Vastaavasti kuin teknologian ja osaamisen analyysissä, plus- ja miinus-merkkien määrä perustuu kyseiseen tekijä-kokonaisuuteen kertyneiden mainintojen määrään, niiden merkittävyyteen ja vaikuttavuuteen, sekä koko tutkimusaineistosta muodostuneeseen kokonaisvaltaiseen tulkintaan. "+ + +" ja "- - -" -merkein indikoidaan tekijän olevan merkittävä ja vaikuttava. "+ +" ja "- -" -merkein ilmaistaan huomattava tekijä. "+" ja "- -" -merkein kuvataan tekijä itseisarvoisena vahvuutena, heikkoutena ja niin edelleen.

KESKI-SUOMEN VETYALOUTEEN LIITTYVÄT VEDYN KÄYTTÖÖN KOHDISTUVAT TEKIJÄT	
VAHVUUDET - KÄYTÄ HYVÄKSI JA VAHVISTA	HEIKKOUEDET - POISTA, LIEVENNÄ, VÄLTÄ
<ul style="list-style-type: none"> +++ Vedyn käytön näkymä +++ Vedyn tuotannon näkymä +++ Jalosteet ++ Investointi halu / kyky + Valmiit rakenteet ja resurssit + Sijainti + Hapen kysyntä 	<ul style="list-style-type: none"> --- Rakenteet -- Raaka-aine saatavuus -- Rajalliset resurssit - Metanolin ylitarjonta - Kannattavuus / kilpailukyky
MAHDOLLISUUDET - VARMISTA HYÖDYNTÄMINEN	UHAT - POISTA, LIEVENNÄ, KÄÄNNÄ MAHDOLLISUUDEKSI
<ul style="list-style-type: none"> +++ Vedyn käyttö +++ Vedyn tuotanto +++ Raaka-aineet ja tuotteet +++ Metaanin tarve ++ Hiilidioksidin talteenotto ++ Liiketoiminta ++ Liikenne ja liikkuminen ++ Päästövähennys + Metanolin käyttö + Rakenteet ja infra 	<ul style="list-style-type: none"> --- Talous --- Asiakkaiden puute -- Hiilidioksidin riittävyys -- Poliittinen ohjaus -- Infra - Raaka-aineet

Kuvio 20. Keski-Suomen vetytalouteen liittyvät vedyn käyttöön kohdistuvat tekijät

Vahvuudet

Kuviossa 20 esitetyt vahvuudet ilmenevät vedyn käytön kannalta hyväksi käytettävänä ja jatkuvaa vahvistamista vaativina tekijöinä. Tuotetulle vedylle on tutkimuksen mukaan alueellista kasvavaa kysyntää, mikä muodostaa käytölle positiivisen näkymän. Kuten vedyn käyttö, myös tuotannon näkymä on merkittävä ja vaikuttava tekijä vetytalouden kehityksessä. Vedyn alueellisen tuotannon näkymä ja luottamus ilmiöön on alueen realiteetit kuten sataman puute huomioiden erittäin merkittävä ja vaikuttava tekijä, niin alueellisen kuin kansallisen vetytalouden kehittymisen kannalta. Jalosteiden parissa jo tehtävä toiminta ja kehitysnäkymä näyttäytyvät merkittävinä vahvuuksina, jotka vaikuttaa myönteisesti vedyn käytön edistämiseen. Halu ja kyky investoida on vedyn hyödyntämisen kannalta selkeä signaali, joka tulee hyödyntää ja ylläpitää toiminnan edistämiseksi.

Tehdyn tutkimuksen mukaan alueellisen vetytalouden kannalta vedyn käyttöön liittyvät valmiit rakenteet ja resurssit ovat vahvuus. Näillä on toimintaa edistävä merkitys erityisesti vedyn käyttöön liittyvää toimintaa suunniteltaessa ja aloitettaessa. Keski-Suomesta löytyy alueellisen suuruutensa ja maantieteellisen sijaintinsa puolesta vahvuudeksi helposti luokiteltavaa uusiutuvan energian

tuottopotentiaalia, joka edistää alueellisen vetytalouden muodostumista. Keski-Suomen sijainti liikenteen kiistattomana solmukohtana on vedyn ja sen hyödyntämisen kannalta vahvuus. Vedyn tuotannossa muodostuvan hapen hyötykäyttö kasvattaa tuotannon hyötysuhdetta. Hapen kasvava kysyntä näin ollen osaltaan myötävaikuttaa vedyn tuotantoa. Kasvava vedyn tuotanto edistää vedyn käyttöä, jolloin hapen kysyntä on nähtävissä vedyn käytölle vahvuutena.

Heikkoudet

Kuviossa 20 esitetyt heikkoudet ilmenevät vedyn käytön kannalta poistettavina, lievennettävinä ja vältettävinä tekijöinä. Vedyn käytön merkittävänä heikkoutena todettujen rakenteiden puutteet ja rajoitteet vaikeuttavat kokonaisvaltaisesti vedyn käyttöön saattamista. Tämä yhdistettynä huomattaviin raaka-aineiden saatavuuden ja rajallisten resurssien aiheuttamiin haasteisiin, heikentää se vedyn hyödynnettävyyden kasvua. Tutkimuksen mukaan alueelle mahdollisesti muodostuva metanolin ylläpito on heikkous ajatellen vedyn käyttöä synteettisen metanolin valmistuksessa. Kannattavuuden ja kilpailukykyyn heikkous vaikeuttaa investointivetoisesti etenevän vetytalouden rakentumista.

Mahdollisuudet

Kuviossa 20 esitetyt mahdollisuudet ilmenevät vedyn käytön kannalta hyödyntämisen varmistamisen vaativina tekijöinä. Vedyn käytöstä muodostuvat mahdollisuudet ovat käytön laajenemisen ja monipuolistumisen kannalta merkittävä ja vaikuttava tekijä. Tämä ja tutkimuksen mukaan tuottajia suurempi kuluttaja määrä muodostaa lisääntyvää kysyntää ja luonnollista kilpailua, joilla on olennainen rooli vedyn tuotannon kannalta. Vedyn tuotanto on alueellisesti vedyn käyttöä ajatellen merkittävä ja vaikuttava tekijä, tuotannon mahdollistaessa kulutuksen. Tuotannon käynnistämiseen ja ylläpitoon vaadittavat resurssit edistävät vetytalouden kehittymistä monilta osin, esimerkiksi tarvittavan teknologian ja osaamisen muodossa. Tuotanto mahdollistaa hiilidioksidia hyödyntävien jalosteiden valmistuksen lisäksi osaltaan happea ja hukkalämpöä hyödyntävien prosessien toiminnan kasvattamisen.

Raaka-aineet ja tuotteet nähtiin toimijoiden vastausten perusteella merkittävänä ja vaikuttavana mahdollisuutena uusiutuvuuden, monipuolisuuden ja hyödynnettävyyden perusteella. Tätä tukee

myös raaka-aineita koskevasta taulukosta 4 tehtävä havainto, että raaka-aineista jokaisen tuotanto ja käyttö pysyvät joko samana tai kasvavat. Ainoakaan kehitys ei ole laskeva. Metaanin kulutuksen kasvaessa samalla, kun tuotanto pysyy samana, muodostaa tämä mahdollisuuden synteettisen metaanin kysynnälle. Vedyn hyödyntäminen synteettisen metaanin tuotannossa toimii vedyn käytölle merkittävänä ja vaikuttavana mahdollisuutena. Mahdollisuus on kaikin keinoin syytä hyödyntää alueellisen vetytaloustoiminnan kehittämiseksi.

Hiilidioksidin talteenoton kehittäminen ja lisääminen toimii huomattavana mahdollisuutena vedyn käytölle synteettisten jalosteiden tuotannossa. Liiketoiminnan selkeästi havaittava kuuluminen mahdollisuuksiin antaa vetytaloudelle ja vedyn käytölle huomattavat edellytykset kehittyä. Liikenne ja liikkuminen on todettavissa huomattavaksi mahdollisuudeksi useiden toimijoiden tavoitellessa nolla-päästöistä liikkumista ja nähdessä siinä monipuolisia mahdollisuuksia ja kehityskohteita. Päästövähentäminen on huomattava vedyn käyttöä edistävä mahdollisuus, joka toimii myös yhtenä vetytalouden kokonaisvaltaisena ajurina. Metanolin käyttö alueella luo mahdollisuuden vedystä valmistetun synteettisen metanolin kulutukselle, jolloin se on nähtävissä mahdollisuutena. Rakenteet ja infra mahdollisuutena perustuvat valmiina oleviin vedyn käytön edellyttämiin toimiin.

Uhat

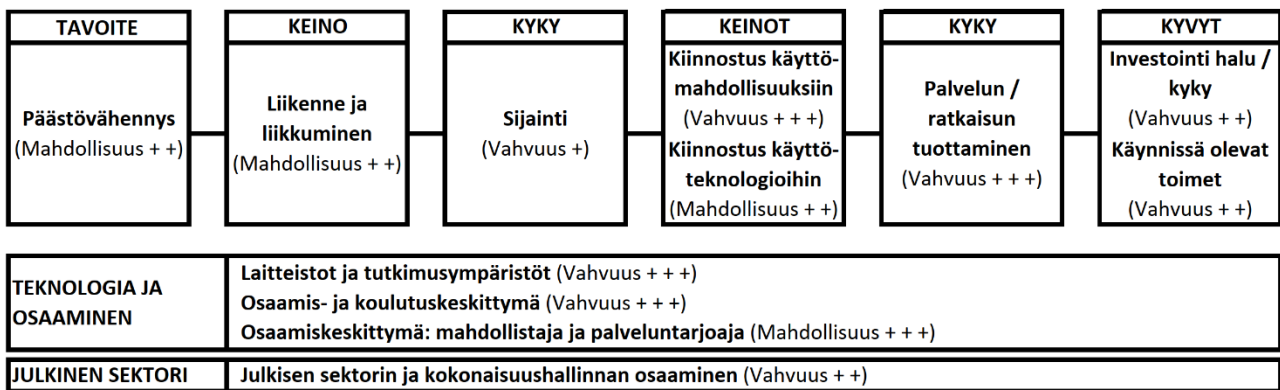
Kuviossa 20 esitetyt uhat ilmenevät vedyn käytön kannalta poistettavina ja lievennettävinä sekä mahdollisuuksiksi käännettävinä tekijöinä. Taloudellisten tekijöiden laajat vaikutukset on kiistattomasti merkittävä ja vaikuttava uhka vedyn käytön edistymiselle. Markkinataloudessa asiakkaiden puute on vedyn käytönkin näkökulmasta merkittävä ja vaikuttava uhka, jota on kaikin mahdollisin keinoin vähennettävä ja käännettävä mahdollisuudeksi. Hiilidioksidin tarve on ilmeinen synteettisten jalosteiden valmistuksessa, jolloin sen puute aiheuttaa huomattavan uhan myös vedyn käytölle. Vedyn käyttöä ja sen yleistymistä haastaa huomattavalla laajuudella poliittisen ohjauksen uhka. Uhat infran parissa ovat todelliset ja huomattavat sen riittävyyden, kannattavuuden ja aika-tilallisesti pitkäkestoisen kehittymisen haasteiden vuoksi. Näiden lisäksi raaka-aineiden riittävyys ja korvattavuus koetaan uhaksi.

8.2 Keski-Suomen vetytalouden arvoketjumahdollisuudet

2. Tutkimuskysymykseen ” Millaisia arvoketjumahdollisuuksia Keski-Suomen vetytaloustekijöistä voidaan muodostaa? ” vastataan 1. tutkimuskysymykseen vastaavia SWOT-analyysejä johdonmukaisesti arvoketjuiksi yhdistämällä. Ketjuissa tekijöiden perään sulkuihin on merkitty kyseisen tekijän SWOT-analyysien mukainen lohko sekä tekijän merkittävyyttä kuvaavat ”+” tai ”-” -merkit.

8.2.1 Vetyä hyödyntävä liikenne ja liikkuminen -arvoketju

Kuvio 21 esittää päästövähennykseen tähtäävän Vetyä hyödyntävä liikenne ja liikkuminen -arvoketjun. Arvoketjuun on asetettu tavoite ja sen saavuttamiseksi on määritelty alueella käytettävissä olevat keinot ja niiden toteuttamista edistävät alueelliset kyvyt. Arvoketjun läpileikkaavat tukitoimet ilmaistaan ketjun rinnalla.



Kuvio 21. Vetyä hyödyntävä liikenne ja liikkuminen -arvoketju

Arvoketju alkaa sekä teknologian ja osaamisen, että vedyn käytön SWOT-analyysiin kuuluneesta päästövähennyksen mahdollisuudesta. Päästövähennystä on edistettävissä liikenteen ja liikkumisen mahdollisuuksia tavoitellen. Näihin kuuluvat voimakkaasti Keski-Suomen osaamisen ja teknologian hyödyntäminen ja alueellisten toimijoiden tavoitteet nollapäästöisestä liikkumisesta. Keski-Suomen sijainti tärkeänä liikenteen solmukohtana edistää alueellisen vetytalouden rakentumista liikenteen ja liikkumisen ympärillä. Merkittävänä ja vaikuttavana toimina vedyn liikennekäyttöön saattamisessa toimivat vahvuudeksi luokiteltu ”kiinnostus käyttömahdollisuuksiin” ja mahdollisuutena havaittu ”kiinnostus käyttöteknologioihin”. Vahvuutena erityisesti kehityksen alkuun saattamisessa toimivat kyvyt palveluiden ja ratkaisuiden tuottamisessa. Tätä edesauttavat tutkimuksessa

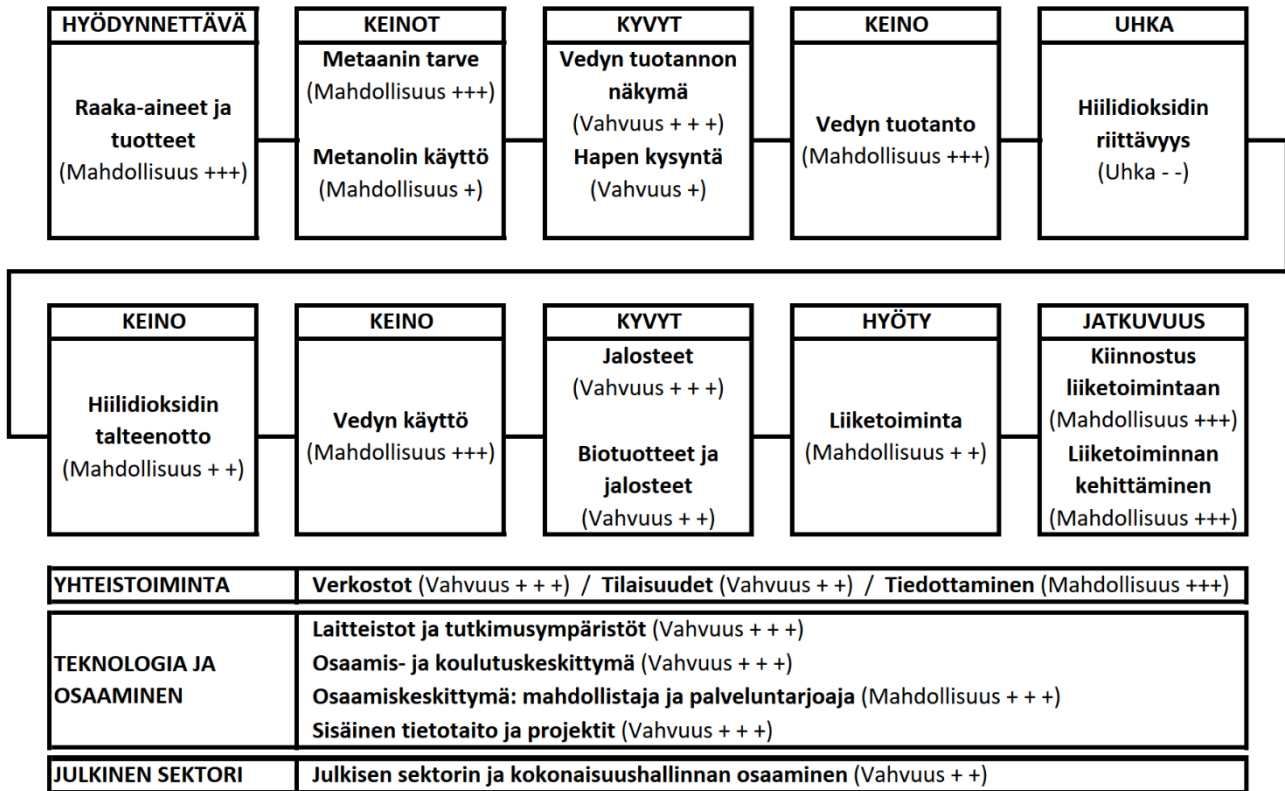
ilmenneet halu ja kyky investoida vedyn hyödyntämiseen. Jo käynnissä olevat toimet kuten Jyväskylän vetytankkausaseman suunnitelmat ja Toyotan vahvistuva läsnäolo toimivat kiihdyttävänä tekijöinä alueelliselle vedyn liikenne- ja liikkumiskäytön kehitykselle. Liikenne ja liikkuminen voivat perustua vetyä polttoaineena käyttäviin ratkaisuihin, joiden lisäksi olisi myös perusteltua jatkaa arvoketjua vedyn jalosteiden liikennekäytön osalta. Tämä tulee kuitenkin vahvasti ilmaistuksi Vedyn jalostus -arvoketjun yhteydessä.

Läpileikkaavana tukitoimena arvoketjulle toimii "Teknologia ja osaaminen". Tähän kuuluvat alueelta löytyvät, sekä kansallisesti että kansainvälisesti merkittävät ja vaikuttavat vahvuudet. Näihin lukeutuvat laitteistot ja tutkimusympäristöt sekä osaamis- ja koulutuskeskittymä ja niiden tarjoamat mahdollisuudet ja palvelut. Toisena tukitoimena tämän alueelliseen toimintaan painottuvan arvoketjun rakentumisessa toimii alueen vahva julkinen sektori ja sen omaama kokonaisuushallinnan osaaminen.

Arvoketjun toteutuman myötä se vähintäänkin lieventää useita tutkimuksessa havaittuja alueellisia heikkouksia ja uhkia. Näistä voidaan nostaa ilmi teknologian ja osaamisen SWOT-analyysissä havaitut heikkoudet koulutuslaitosten hyödyntämättömyydestä ja alueen näkyvyydestä. Samasta SWOT:sta mahdollisuudeksi käännettäväksi uhaksi voidaan todeta arvoketjuajatuksen soveltaminen. Arvoketjun edellyttäessä investointeja, se lieventää tutkimuksessa havaittua investointien vähyttä. Tämä luonnollisesti vaikuttaa lieventävästi sekä teknologian ja osaamisen että vedyn käytön yhteydessä ilmenneeseen "Talous" uhkaan.

8.2.2 Vedyn jalostus -arvoketju

Kuvio 22 kuvaa Vedyn jalostus -arvoketjun. Arvoketju perustuu vedyn jalostustoiminnan rakentamiseen. Ketjussa kuvataan raaka-aineiden ja tuotteiden hyödynnettävyyteen vastaavat alueella käytettävissä olevat keinot ja niiden edistämässä hyödynnettävät alueelliset kyvyt. Arvoketjun lopussa ilmaistaan saavutettava hyöty ja hyödyn jatkuvuuden varmistavat tekijät. Arvoketjun läpileikkaavat tukitoimet ilmaistaan ketjun rinnalla.



Kuvio 22. Vedyn jalostus -arvoketju

Vedyn jalostus -arvoketju perustuu raaka-aineiden ja tuotteiden hyödyntämiseen korkeampaa arvoa tai muuta hyötyä tavoiteltaessa. Hyötynä voi olla myös raaka-aineen helpompi ja turvallisempi käsiteltävyys. Tutkimuksessa ilmi tullut alueelle mahdollisesti muodostuva metaanin tarve synnyttää synteettiselle metaanille kysyntää. Alueella käytettävää metanolia voidaan korvata synteettisellä metanolilla. Synteettisen metaanin ja metanolin tarpeeseen vastaamista edistävät alueelliset positiivinen vedyn tuotannon näkymä ja hapen kysyntä. Vedyn kysyntään on vastattava vedyn tuotannolla. Jalosteiden valmistukselle uhaksi on tutkimuksessa havaittu hiilidioksidin riittävyys esimerkiksi polttamisessa muodostuvan hiilidioksidin vähentyessä. Hiilidioksidin puutteeseen on vastattavissa hiilidioksidin talteenottoa lisäämällä ja sen menetelmiä kehittämällä.

Synteettisten jalosteiden valmistus mahdollistaa vedylle uusia käyttökohteita esimerkiksi biokaasutuotannossa käytettävän vedyn rinnalle, mikä lisää vedyn kysyntää entisestään. Keski-Suomesta löytyvä vahva ja monipuolinen tausta ja osaaminen jalosteiden sekä biotuotteiden valmistuksessa toimivat jalostetoiminnalle vahvana perustana. Jalosteiden valmistukseen ja hyödyntämiseen poh-

jautuva arvoketju johtaa monessa kohdin uuteen liiketoimintaan. Liiketoiminnan jatkuvuutta taakavat siihen kohdistuva vahva kiinnostus ja merkitykselliseksi tunnistettu liiketoiminnan kehittämisen mahdollisuus.

Läpileikkaavana tukitoimena arvoketjulle toimii "Yhteistoiminta". Tämä koostuu merkityksellisistä ja vaikuttavista verkostoista ja järjestettävistä tilaisuuksista, joita tukee tiedottamisen avaamat mahdollisuudet. Verkostojen ja yhteistyön rooli korostuu vetytalouden edellyttäviä kokonaisuuksia toteutettaessa. Toisena tukitoimena arvoketjussa toimii Vetyä hyödyntävä liikenne ja liikkuminen -arvoketjun tavoin "Teknologia ja osaaminen". Tähän kuuluvat alueelta löytyvät, sekä kansallisesti että kansainvälisesti merkittävät ja vaikuttavat vahvuudet. Näihin lukeutuvat laitteistot ja tutkimusympäristöt sekä osaamis- ja koulutuskeskittymä ja niiden tarjoamat mahdollisuudet ja palvelut. Edellisestä arvoketjusta poiketen tässä merkittäväksi ja vaikuttavaksi tekijäksi tukitoimeen on lisätty sisäinen tietotaito ja projektit -kokonaisuus. Tällä viitataan vahvaan alueelliseen asiantuntijuuteen, suunnittelu-, konsultointi- ja projektitoiminnan osaamiseen. Julkinen sektori -tukitoimi on edellisen arvoketjun tapaan myös tämän, suuria kokonaisuuksia käsittävän arvoketjun muodostumisessa merkittävässä roolissa.

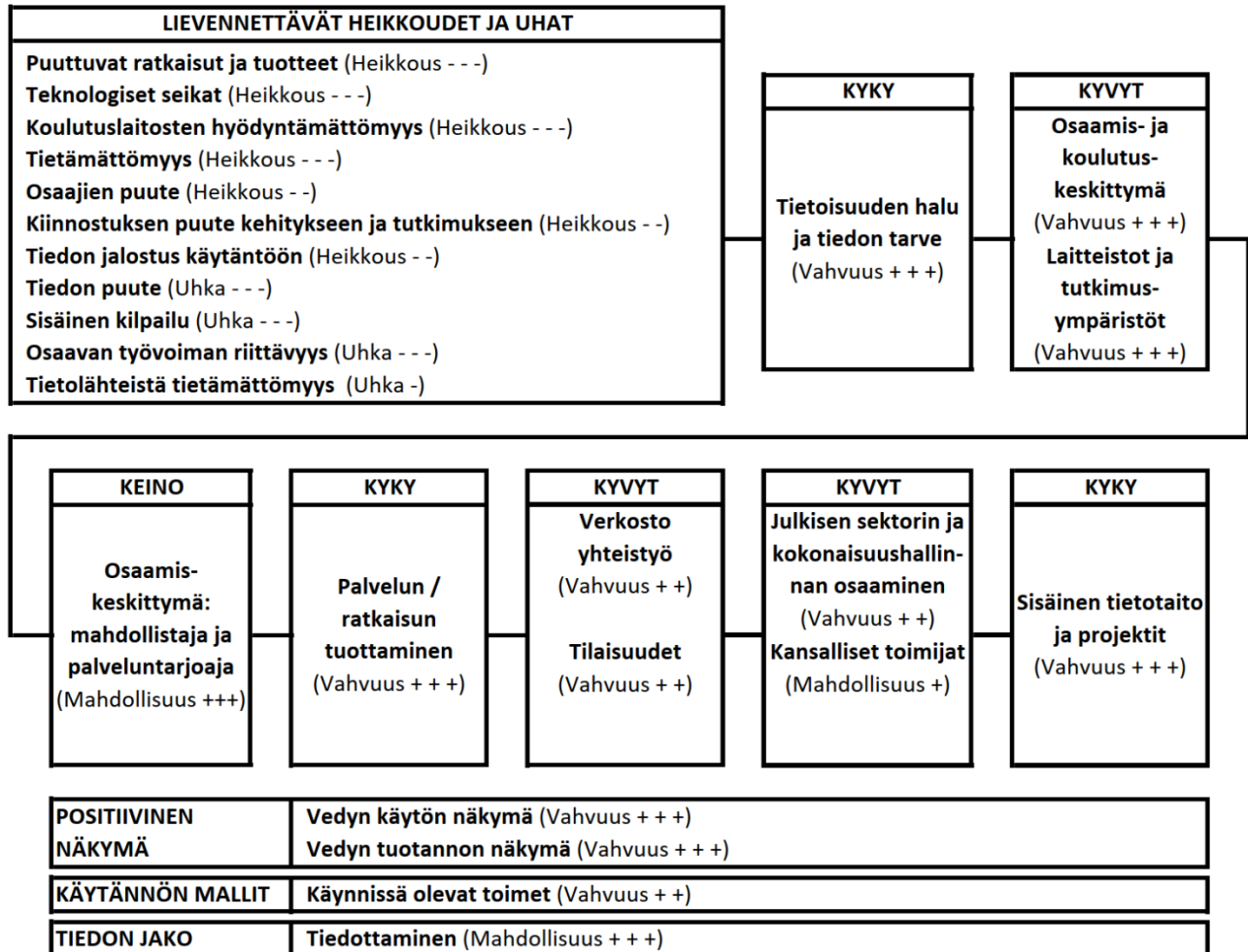
Arvoketjun ja sen toteutumisen edellyttävien investointien myötä vähintäänkin lievenevänä tekijänä on vedyn käytön SWOT:ssa oleva "rakenteet" heikkous. Jalostetoiminnan kehityksen myötä vedyn käytön kannattavuuden ja kilpailukyvyn heikkous voidaan arvioida myös vähintäänkin lievenevän. Hiilidioksidin riittävyyden uhka tulee arvoketjun toteutuessa käännettyä mahdollisuudeksi. Jalostetoiminnan oletettavan näkyvyyden myötä teknologian ja osaamisen heikkouksiin kuulunut näkyvyys tulee nähtävästi poistumaan.

8.2.3 Osaamisen -arvoketjut

Osaamisella vaikuttaminen -arvoketju

Kuvio 23 kuvaa Osaamisella vaikuttaminen -arvoketjun. Arvoketju perustuu vetytaloutta koskevien monien heikkouksien ja uhkien samanaikaiseen lieventämiseen. Tätä toteutetaan useita alueella käytössä olevia osaamisen keinoja ja kykyä hyödyntämällä. Ketjulla saavutettavat hyödyt ovat heikkouksien ja uhkien lievenemisen lisäksi osaamisen lisääntyminen ja kehittyminen kokemusop-

pimisen myötä. Arvoketjun läpileikkaavat tukitoimet ilmaistaan ketjun rinnalla. Arvoketjulla saavutettava laaja-alainen heikkouksien ja uhkien lieventäminen tulee näkymään positiivisina vaikutuksina koko alueellisen vetytalouden kehityksessä ja toimien näkyvyydessä.



Kuvio 23. Osaamisella vaikuttaminen -arvoketju

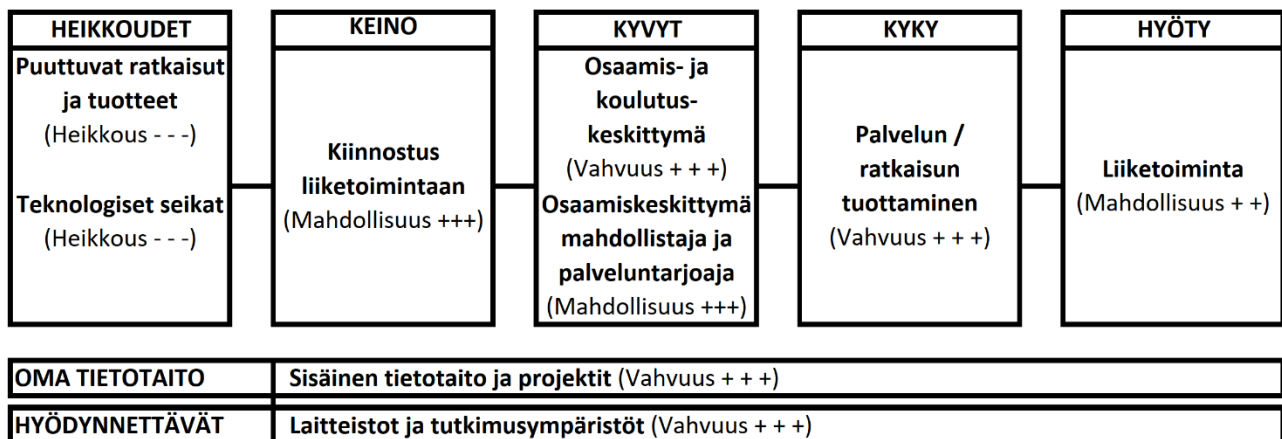
Ketjun lähtökohtana olevat heikkoudet ja uhat koostuvat erilaisista osaamisen ja tietoisuuden puutteista. Näiden lieventäminen alkaa tutkimuksessa ilmentyneellä merkittävällä tietoisuuden halulla ja tiedon tarpeen ilmaisulla. Tietoisuutta on saatavissa alueellista osaamiskeskittymää ja tutkimusympäristöjä hyödyntämällä. Tätä edesauttavat osaamiskeskittymän tarjoamat mahdollisuudet ja palvelut sekä alueellinen tunnistettu merkittävä vahvuus palveluiden ja ratkaisuiden oma-aloitteisessa tuottamisessa. Verkostoyhteistyöllä ja tilaisuuksilla voidaan edistää osaamisen jakamista laajemmin hyödynnettäväksi. Osaamisen laajentamista ja syventämistä osaltaan tukevat

julkisen sektorin ja kansallisten toimijoiden tuki. Kaikki lähtee kuitenkin toimijoista itsestään, jolloin sisäisen tietotaidon hyödyntäminen on ehdottoman tärkeää heikkouksien ja uhkien torjunnassa.

Tukitoimina Osaamisella vaikuttaminen -arvoketjulle toimii alueen vedyn käytölle ja tuotannolle tutkimuksessa havaittu positiivinen näkymä, jonka voidaan todeta kannustavan heikkouksien ja uhkien torjuntaan. Samaa kannustavuutta edesauttaa konkretisoituneet jo käynnissä olevat toimet ja niiden eteneminen. Ketjulle merkittävänä tukena toimii tiedottamisella saavutettavat hyödyt, jolla voidaan esimerkiksi havainnollistaa ja tuoda ilmi jo saavutettuja hyötyjä.

Osaamisella heikkouksista liiketoiminnaksi -arvoketju

Kuvio 24 kuvaa edellistä laajaa osaamisen ketjua tarkentaen Osaamisella heikkouksista liiketoiminnaksi -arvoketjun. Arvoketju perustuu heikkouksien lieventämiseen uutta liiketoimintaa luomalla hyödyntäen alueellista osaamista. Liiketoimintaan pyritään alueella käytössä olevia osaamisen keinoja ja kykyjä hyödyntämällä. Ketjulla saavutettavat hyödyt kohdentuvat liiketoiminnan harjoittajan eduksi. Arvoketjun läpileikkaavat tukitoimet ilmaistaan ketjun rinnalla.



Kuvio 24. Osaamisella heikkouksista liiketoiminnaksi -arvoketju

Arvoketjun lähtökohtana toimii tutkimuksessa tunnistetut merkittävät heikkoudet puuttuvien ratkaisuiden ja tuotteiden sekä teknologisten seikkojen parissa. Alueellinen merkittävä kiinnostus vetytalouteen liittyvään liiketoimintaan käynnistää ketjun muodostumisen. Kuten Osaamisella vaikuttaminen -arvoketjussa, niin tässäkin merkittävä rooli on alueellisella osaamis- ja

koulutuskeskittymällä ja sen mahdollistamilla palveluilla. Nämä antavat liiketoiminnalle vahvat edellytykset. Alueelle tunnistettu kyky tuottaa palveluita ja ratkaisuja edistävät hyödyksi määritellyn liiketoiminnan saavuttamista.

Tukitoimina tälle liiketoimintaan tähtäävälle arvoketjulle toimivat sisäinen tietotaito ja projektit, jota toimija pystyy hyödyntämään itsenäisesti. Kehityksessä hyödynnettäväksi on tutkimuksen mukaan tunnistettu alueelliset hyödynnettävät resurssit, tässä tapauksessa laitteistot ja tutkimusympäristöt. Arvoketju toteutuessaan tulee lieventämään kohteena olleiden heikkouksien lisäksi ainakin koulutuslaitosten hyödyntämättömyyden ja tukirahoituksen hyödyntämättömyyden heikkouksia sekä tiedon puutteen uhkaa.

8.2.4 Arvoketjujen summaus

Arvoketjut muodostuvat kaikkiaan 46 eri SWOT-analyysiin sisältyneestä tekijästä. Jokaisessa arvoketjussa ketjun osana tai tukitoimena käytettyjä tekijöitä ovat Osaamis- ja koulutuskeskittymä (Vahvuus + + +), Osaamiskeskittymä: mahdollistaja ja palveluntarjoaja (Mahdollisuus + + +) sekä Laitteistot ja tutkimusympäristöt (Vahvuus + + +). Vastaavasti kolmessa eri ketjussa esiintyvät Palvelun / ratkaisun tuottaminen (Vahvuus + + +) ja Julkisen sektorin ja kokonaisuushallinnan osaaminen (Vahvuus + +). Kahdella esiintymällä olleita tekijöitä on joitain. Saman tekijän usea käyttökerta kertoo sen merkityksellisyydestä ja laaja-alaisesta vaikuttavuudesta.

Arvoketjut muodostavista tekijöistä reilusti yli puolet (63 %) edustavat merkittävydeltään ”merkittävä ja vaikuttava” tekijää. Reilu neljännes (28 %) tekijöistä edustaa huomattavaa tekijää ja alle kymmenys (9 %) itseisarvoista vahvuutta, heikkoutta ja niin edelleen. Tämä jakauma korostaa arvoketjujen merkittävyyttä ja vaikuttavuutta.

Arvoketjuilla on mahdollisuus vaikuttaa laaja-alaisesti vetytalouden kehitykseen. Ketjut edistävät toteutuessaan esimerkiksi päästövähennystä, puhtaampaa liikkumista, vedyn tuotantoa ja käyttöä sekä hiilidioksidin talteenottoa ja hyödyntämistä. Ketjujen myötä kehittyvät vetytalouteen tarvittavat sekä osaaminen ja teknologia että liiketoiminnan rakentamisen kyvyt. Selvää on, että ketjujen toteutuminen vaatii investointeja ja valtavasti eri toimialojen yhteistä työtä yhteisen päämäärän eteen, mutta toteutuessaan näiden vaikutukset ovat merkittäviä. Vaikutukset näkyvät luonnolli-

sesti vetytalouden kannattavuudessa ja kilpailukyvyssä, mikä lieventää osaltaan talouden aiheuttamaa uhkaa. Arvoketjuilla on vaikutusta toimijoiden osaamiseen ja tietotaitoon sekä kykyyn ratkoa energiamurroksen aiheuttamia haasteita, kääntämällä ne mahdollisuuksiin uusien palveluiden ja ratkaisujen tuottamiseksi.

9 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa selkeä ja perusteltu näkemys Keski-Suomesta vetytalouden toimintaympäristönä. Tavoitteena oli selvittää vetytalouteen liittyviä ja siihen vaikuttavia tekijöitä ja muodostaa niistä arvoketjumahdollisuuksia vastaamalla asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Tutkimuskysymykset olivat ”Mitä tekijöitä Keski-Suomen vetytalouteen liittyy?” ja ”Millaisia arvoketjumahdollisuuksia Keski-Suomen vetytaloustekijöistä voidaan muodostaa?”. Lisäksi tavoiteltiin työn kokonaisuuden toimivan vakuuttavana ja kattavana tietolähteenä kaikille aiheesta ja sen osa-alueista kiinnostuneille.

9.1 Johtopäätökset ja jatkotutkimusaiheet

Kuten raportoinnista voidaan selkeästi havaita, vetytalouden parissa on valtavasti erilaisia lähtökohtia, osa-alueita, seikkoja ja niiden välisiä yhteyksiä, jotka luovat sen toteutumisen sekä mahdollisuuksia että uhkia. Näitä mahdollisuuksia määrätietoisesti kehittämällä ja hyödyntämällä eri toimijoiden välisiä synergioita hyödyntäen, voidaan Keski-Suomesta luoda vetytaloudelle erinomainen toimintaympäristö, josta voivat hyötyä niin alueelliset kuin alueen ulkopuoliset toimijat.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastauksina toimivat SWOT-analyysit perusteluineen antavat hyvän kokonaiskuvan Keski-Suomen vetytalouteen liittyvistä teknologian ja osaamisen sekä vedyn käytön alueellisista tekijöistä. Analyysit ilmentävät nimenomaan Keski-Suomea tutkimuksen aineiston ollessa lähtöinen alueella vaikuttavilta toimijoilta. Analyysit kuvaavat tutkimuksen tietoperustassa ilmenneitä tekijöitä, seikkoja ja niiden välisiä yhteyksiä, joista vetytalouden kaikkien muotojen muodostuu.

Alueellisilla kuten myös alueen ulkopuolisilla toimijoilla on mahdollisuus havainnoida analyysistä itselleen ja toiminnalleen merkittävimpiä tekijöitä ja pyrkiä hyödyntämään niitä toiminnassaan. Kuten analyysistäkin on havaittavissa on vetytalouden muutos tehtävä verkostojen hyödyntämällä,

sillä kukaan ei pysty yksin toiminnallaan rakentamaan kattavaa vetytaloutta. Vetytalouden ollessa jatkuvassa ja nopeatempoisessa muutoksessa, analyysien sisältö on näin ollen myös muutoksen vaikutuksen alaisena, mikä on syytä tiedostaa tuloksia hyödynnettäessä.

Toisen tutkimuskysymyksen vastauksiksi luodut arvoketjumahdollisuudet perusteluineen pohjautuvat ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastauksiksi saatuihin SWOT-analyysihin. Näin ollen arvoketjut ovat perustellusti alueellisista todellisista lähtökohdista muodostettuja. Arvoketjujen lähtökohtien, vaiheiden ja saavutettavien tavoitteiden ollessa vahvasti sidoksissa tutkimuksen tietoperustaan, myös ketjujen kokonaisuudet ja niillä saavutettava kehitys on tietoperustan tuke-
maa.

Tutkimuksessa muodostuneet arvoketjut ovat monelta osin yhdenmukaisia tietoperustan Arvoketjumalli arvon muodostamisessa -luvussa esitettyjen arvoketjunäkemyksen kanssa. Kuviossa 10. esitetty Suomalainen vetyarvoketju ja kuvioon viittaava teksti sisältää kaikki ne vetytalouden osa-alueet, joista opinnäytetyön tuloksina muodostuneet arvoketjut rakentuvat. Opinnäytetyössä muodostetut arvoketjut ovat aluekohtaisen tutkimuksen, eliittiotannan ja tarkan tutkimustyön ansiosta kohdennetumpia, konkreettisempia ja helpommin käytäntöön sovellettavissa kuin esimerkiksi kyseinen kuvattu Suomalainen vetyarvoketju.

Opinnäytetyön tutkimustuloksina toimivat analyysit ja arvoketjut eivät välttämättä anna toimijoille kuitenkaan valmiita vastauksia mitä näiden tulisi toiminnassaan tehdä vetytalouden kehittämiseksi. Tulokset toimivat ohjaavina esimerkkeinä ja malleina, joita hyödyntämällä toimijat voivat kehittää omaa toimintaansa ja edistää yhteiskunnallisesti merkittävää ilmiötä. Tutkimustulokset ja tutkimuksen kokonaisuus tukevat tietoperustassa ilmentyvää kehitykseen tähtäävää otetta.

Laajan ilmiön tutkiminen on luonnollisesti nostanut esiin sekä jatkotutkimuksen mahdollisuuksia, että uusia tutkimuksen aiheita. Jatkotutkimusaiheista merkittävimiksi voidaan nostaa tiedon ja osaamisen sekä osaajien puutteen täsmällinen tutkiminen. Tutkimuksessa nousi voimakkaasti esiin, että tietoa, osaamista ja osaajia tarvitaan. Tärkeää olisi selvittää tarkemmin minkälaisesta tiedosta ja osaamisesta alueellisesti on puute, jotta puutteeseen voidaan tehokkaasti vastata. Aiheet toki selviävät jo tämän tutkimuksen perusteella, mutta kohdennettu toimijoiden tarvitsema tieto ja sen soveltaminen käytäntöön on saatava selville. On tutkittava tarkemmin minkä alan tai

missä tehtävässä toimivia osaajia tarvitaan, jotta uusi osaaminen tukisi mahdollisimman tehokkaasti vetytalouden kehittymistä. Koulutuspotentiaali täytyy saada kohdennettua puuttuvan osaamisen koulutukseen, mihin koulutus- ja tutkimuslaitokset tietoperustan mukaisesti ovatkin jo alkaneet toimillaan panostaa.

Tietämättömyyttä ei voida ratkaista, jollei tiedetä mitä pitäisi ymmärtää ja tietää. Ongelmaa ei voida ratkaista ilman, että ongelma on tunnistettu. Koulutukseen ei auta, jollei tiedetä mitä kouluttaa. Näin ollen tarvitaan tieto siitä mitä todella tarvitaan. Tiedostamalla konkreettisia tarpeita voidaan osaamisella, koulutuksella ja muilla resursseilla vastata tähän tarpeeseen. Nämä tarpeet ilmenevät lähtökohtaisesti toimijoilta itseltään. Tämän tutkimus tuloksineen ilmentää niitä vetytalouden osa-alueita ja tekijöitä, joihin määrätietoista koulutusta, jatkotutkimusta ja vastaavia kehitystä edistäviä resursseja on syytä kohdentaa.

Vaikka tietoa, kiinnostusta, halua, kykyä ja osaamista monelta osin jo onkin, tutkimuksen perusteella vaikuttaa ettei tiedetä miten näitä tulisi hyödyntää vetytalouden edistämiseksi. Tarvitaan jälleen konkreettisia keinoja, joilla tätä jo olevaa tietotaitoa saadaan hyödynnettyä käytännössä. Valmiita toimintamalleja ei vielä laajalti ole, joten toimintamallit pitää luoda itse tai havainnoida muilta edellä käyviltä toimijoilta. Toimintamallien luonnissa on syytä hyödyntää tutkimuksessakin havaittua alueellisen osaamiskeskittymän vahvuutta.

Opinnäytetyöprosessin aikana ilmeni tutkimuksellista tarvetta vedyn tuotantoon liittyviä asioita kohtaan. Tällainen oli esimerkiksi vedyn tuotanto uusiutuvan energian tuotannon välittömässä läheisyydessä, käytännössä tuuli- ja tai aurinkopuiston vieressä. Tällä viitattiin mahdollisuuteen välttää sähkön siirron riittävyyden kysymykset. Energiapuistojen sijaitessa usein harvaan asutulla seudulla, tutkittavaa olisi myös tuotantolaitoksen hukkalämmön hyödyntämisen suhteen. Vedyn valmistukseen vahvasti liittyen on aiheellista tutkia myös alueellista vedyn varastoinnin merkittävyyttä.

Ilmiötä käsittelevissä keskusteluissa tuodaan usein selkeästi esille keskustelun kohteena olevan alueen, toimijan tai vastaavan kohteen vetytalouden vahvuudet ja mahdollisuudet. Harvemmin kuitenkaan paneudutaan vastaavalla tarkkuudella heikkouksiin ja uhkiin. Näillä on kuitenkin vähin-

tään yhtä suuri vaikutus vetytalouden kehittymiseen. Onnistuvan strategian toteutumiseksi vahvuuksia ja mahdollisuuksia tulee olla enemmän ja niiden tulee olla merkittävämpiä kuin heikkouksien ja uhkien. Tutkimusta pitäisi tehdä myös heikkouksien ja uhkien tunnistamisesta ja hallinnasta eli vähentämisestä ja estämisestä. Vain tällöin voidaan perustellusti määritellä todellinen potentiaali, muutoin määritellyksi tulee pelkästään positiivisiin tekijöihin perustuva potentiaali. Pelkästään alueellisten ominaisuuksien tutkimisen lisäksi olisi tärkeää tarkastella eri alueiden vetytaloustoimintojen kytkeytymistä toisiinsa, mahdollisimman suuren yhteisen hyödyn saavuttamiseksi.

Muodostettujen arvoketjumahdollisuuksien havainnollistamiseksi ja mahdollisuuksista tiedottamisesta voidaan toteuttaa jatkotoimenpiteitä esimerkiksi graafiseen toteutukseen ja markkinointiin erikoistuneiden resurssien kanssa. Ylipäättään tarve vetytalouden ilmiön saattamisesta konkreettisemmin yleiseen tietoon ilmeni tutkimustuloksissa selkeästi. Tähän viittasivat tietämättömyyteen, näkyvyyteen, tiedottamiseen ja verkostoitumiseen liittyvät tekijät. Tietoisuuden lisääminen on tärkeää erityisesti yritystoimijoiden osalta. Yritystoimijat ovat kuitenkin lähtökohtaisesti arvioiden niitä toimijoita, jotka tulevat olemaan vahvassa roolissa vetytalouden investoinneissa, kehityksessä, työllistämässä ja taloudellisten vaikutusten luonnissa.

Vetytalouden ilmiöön liittyen järjestetään paljon tilaisuuksia ja tapahtumia. Näissä verkostoituminen ja yhteinen ajatusten vaihto on tärkeä osa ilmiön ymmärtämistä ja yhteisen suunnan muodostamista. Kuten tutkimuksessa ilmenee, tilaisuuksien sisällön on oltava laadukasta, asioita edistävää ja nousujohteista. Pelkkä yhteen kokoontuminen ja asioiden yhdessä pohtiminen eivät kuitenkaan riitä viemään kehitystä alkua pidemmälle. Tapahtumia ja tilaisuuksia on järjestettävä myös konkreettisiin toimiin voimakkaasti tähtäävämmällä sisällöllä. Tällaisiin tilaisuuksiin osallistuvien on omattava riittävät perustiedot aiheesta ja oltava valmiina sitoutumaan ja antamaan panostuksensa asialle.

9.2 Luotettavuus ja eettisyys

Opinnäytetyön luotettavuuteen panostettiin koko prosessin ajan. Luotettavuutta parannettiin tarakan ja perustellun dokumentoinnin lisäksi käyttämällä tutkimusmenetelmien mukaisia luotettavuuden keinoja. Lomakekyselyn vastauksia ei seurattu saturoitumisen näkökulmasta, mutta aineiston analysoinnissa huomattiin aineiston alkaneen osittain toistaa itseään eli saturoitua. Osittaista saturoitumista tapahtui yleiseen tiedon tarpeeseen, liikenteeseen, liiketoimintaan, biotuotteisiin ja

jalostukseen liittyvien aiheiden osalta. Nämä esiintyivät useassa eri yhteydessä ja eri vastauksissa. Vastaavien vastausten lisääntyminen olisi voimistanut asian merkittävyyttä, mutta lähtökohtaisesti tekijöitä ja seikkoja tutkimuksessa etsittäessä, nämä olivat tulleet jo esille.

Määrällisen tutkimuksen ulkoinen ja osittain sisäinen validiteetti pätee tutkimustuloksissa. Perustellusti valitun tutkittavan näytteen ollessa eliittiotannan mukainen, voidaan tulosten arvioida olevan ulkoisen validiteetin mukaisesti luotettavia. Sisältövaliditeetti voidaan tutkimuksen osalta nähdä osittain horjuvana, sillä aihe ja ilmiö eivät selvästi ollut kaikille tutkittaville ennestään tuttu tai sitä ei ymmärretty samoin. Tutkittavan ilmiön ollessa laaja ja monitahoinen sisältövaliditeettia merkittävämpää on laadullisen luotettavuuden toteutuminen perusteltujen vastausten ollessa tutkimusasetelman mukaisia.

Tutkimuksen reliabiliteetti eli tulosten pysyvyys on ilmiön jatkuvasti ja nopeasti muuttuvasta ja kehittyvästä luonteesta johtuen osittain matalahko. Hypoteettisessa tilanteessa jossa ilmiön kehitys pysäytettäisiin ja tutkimus toteutettaisiin uudelleen, olisi tulokset tutkimuksen tuottamaa muutosta lukuun ottamatta oletettavasti pysyvät. Tämä on perusteltavissa tutkimuksen kohteena olevan näytteen laajuudella ja eliittiotannalla suoritetun valinnan perusteella. Tätä perustelua voidaan tukea Hirsjärven ja Hurmeen (2022, 193-194) näkemyksellä, että reliabiliteetti laadullisessa tutkimuksessa koskettaa jopa enemmän tutkijan toimintaa, kuin aineistojen antajien toimintaa, erityisesti aineiston analysoinnin osalta. Näin ollen tutkimuksessa käytettyjen menettelyjen perustelu ja aineiston koonti voidaan katsoa nostavan tutkimuksen reliabiliteettia.

Tutkimuksen luotettavuuteen voidaan arvioida vaikuttavat lisäksi tutkittavien motivoituminen ja luottamus tutkimusta kohtaan. Nämä vaikuttivat olevan korkealla tasolla vastausprosentin korkeuden ja vastausten sisällöllisen laadun perusteella.

Aineiston ja tulkintojen ristiriidattomuutta varmistettiin esittämällä aineistoa ja tehtyjä tulkintoja opinnäytetyöprosessin ohjausryhmälle ja pyydettiin ohjausryhmää antamaan kommentteja ja huomioita näistä. Tällä tavalla varmistuttiin aineiston tulkinnan oikeasta linjasta. Aineistoa tulkittaessa määrällisin menetelmin, saatiin laadullisille tulkinnoille numeraalista painoarvoa, mikä osaltaan vakuuttaa tulkinnat oikeiksi. Tutkijan itsensä osallistuessa opinnäytetyöprosessin aikana useisiin vetytalouteen liittyviin tilaisuuksiin, verkostotapahtumiin ja webinaareihin voidaan todeta näissä

tehtyjen havaintojen ja kertyneiden näkemysten perusteella opinnäytetyössä saavutettujen tulosten olevan oikeita, todellisia ja vaikuttavia.

Tutkimuksen eettisyydestä huolehdittiin ylläpitämällä asianmukaista ja harkittua toimintatapaa tutkimuksen jokaisessa vaiheessa. Tutkittava ilmiö ei sinällään sisällä eettisen tarkastelun kannalta kriittisiä asioita. Eettiset kysymykset työssä liittyivät enemmän tutkimukseen ja sen toteutukseen kuten aineiston keruuseen ja käsittelyyn. Eettisyyden varmistamisen keinoina aineisto kerättiin kestoaltaan inhimillisen mittaisella lomakekyselyllä, johon pyrittiin antamaan mahdollisimman selkeät ohjeet, pitkä vastausaika ja tutkijan yhteystiedot mahdollista yhteydenottoa varten. Vastausminen perustui ehdottomaan vapaaehtoisuuteen.

Tutkimusta varten kerätyt yhteystiedot, lomakekyselyn ja teemahaastatteluiden aineisto käsiteltiin erityisen tarkasti tutkimukseen osallistuneiden luottamuksen säilyttämiseksi. Aineisto sijoitettiin tietosuojatulle ja varmuuskopioidulle verkkolevyllä kansioon, johon pääsy rajattiin käyttöoikeuksin ainoastaan tutkimuksen tekijälle. Aineisto käsiteltiin puolueettomasti kenenkään yksilöllistä etua tuloksilla tavoittelematta. Koko opinnäytetyön prosessin elinkaaren voidaan todeta kokonaisuudessaan olevan luotettava ja eettinen.

9.3 Tutkimusprosessin pohdinta

Tutkimuksen kannalta merkittävässä roolissa oli onnistunut aineiston keruu. Tutkimuksen primääriaineisto kerättiin lomakekyselyllä, johon vastasi 50 toimijaa vastausprosentin ollen yli 70 (70,4 %). Sekundäärisenä aineistona toimi tutkimuksen käyttöön saadut teemahaastatteluiden aineistot. Tutkimusaineiston voidaan todeta olleen määrältään ja laadultaan kattava. Aineistosta oli muodostettavissa vastaukset tutkimuskysymyksiin. Työ ja sen raportointi kokonaisuudessaan toimivat ratkaisuna tutkimusongelman lisäksi myös määritellyyn käytännön ongelmaan.

Tutkimuksen alueellisen rajauksen ollessa ainoastaan yhden maakunnan eli Keski-Suomen alue, ovat tutkimuksen tulokset tarkkuudeltaan ja laadultaan varteenotettavia ja hyödynnettäviä. Tutkimuksessa löydetty vetytalouteen liittyvät tekijät osoittavat, että Keski-Suomen alueella on vetytalouden kehittymisen kannalta teknologiaan, osaamiseen ja vedyn hyödyntämiseen liittyen suuri toiminnan kehittämisen potentiaali. Alueellista potentiaalia hyödyntämällä voidaan edistää sekä alueellisen että kansallisen ja jopa kansainvälisen vetytalouden rakentumista. Pelkästään Keski-

Suomen osalta tämän ollessa mahdollista, ei ole lainkaan tuulesta temmattua ajatella, että Suomessa on kaikki valttikortit kädessään ajatellen vetytalouden kansainvälisen kärkimaan roolia.

Opinnäytetyössä käsiteltävän ilmiön laajuus huomioiden oli sanomattakin selvää, että aihetta tulee rajata reilusti. Tutkimuksen rajaaminen vedyn käyttöön sekä vetyyn liittyvään teknologiaan ja osaamiseen oli perustelua alueellisten lähtökohtien ja ennakkoon tunnistettujen alueellisten tekijöiden perusteella. Opinnäytetyön raportin pituus ylittää ohjeellisen sivumäärän. Ilmiön laajuus, ajankohtaisuus, yhteiskunnallinen vaikuttavuus ja tutkimuksen luonne huomioiden sivumääräinen ylitys ei ole merkityksellinen tekijä työn laatua tarkasteltaessa.

Opinnäytetyölle määritettiin alustava aikataulu 21.6.2023 pidetyssä aloituspalaverissa. Tuolloin muistioon kirjattiin opinnäytetyön raportoinnin valmistuvan helmikuun 2024 loppuun mennessä ja tulosseminaari pidettäväksi maaliskuussa 2024. Tätä helmikuussa 2024 kirjoitettaessa, tulosseminaari on sovittu pidettäväksi 20.3.2024. Laajuudesta ja luonteestaan huolimatta työ on pysynyt suunnitellussa aikataulussa ja sisällössä.

Aikataulun pitämiseen on tunnistettuna tiettyjä seikkoja. Työn alussa tehty tarkka päävaiheiden aikataulut selkeytti etenemää ja tavoitteellisuutta. Kuukausittaiset ohjausryhmätapaamiset ja niissä määritellyt seuraavan kuukauden työt ohjasivat ja määrittivät tekemisen rytmiä. Henkilökohtaiset kykyni aikatauluttaa, hallita kokonaisuuksia, pitää kiinni sovitusta ja työskennellä määrätietoisella, tarkalla ja pitkäjänteisellä otteella kohti asetettua määränpäättä, ovat johtaneet työn kokonaisuuden valmistumiseen määritellyssä aikataulussa.

Parantamisen varaa luonnollisesti löytyy. Tutkimuksessa käytetyt menetelmät olisi voinut määrittää ennen tutkimukseen ryhtymistä tarkemmin. Tutkimusaineiston analysoinnissa olisi voinut monimenetelmäisen eli kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimusotteen sijasta käyttää ainoastaan kvalitatiivista otetta ja hyödyntää määrällisyyteen viittaavan aineiston käsittelyssä kvantifiointia. Kvantifiointi olisi ollut yksinkertaisempi toteuttaa ja sillä olisi ollut saavutettavissa vastaavat tulokset kuin kvantitatiivisen tutkimuksen menetelmiä käyttämällä. Kvantitatiivinen tutkimusote ei tuonut tutkimukselle niin paljo lisäarvoa kuin ennako-oletus oli. Tämä johtui kvalitatiivisen otteen ennako-oletusta laajemmasta käyttöarvosta.

SWOT-nelikentän käyttöä aineiston analysoinnissa harkittiin useasti. Tiedostettiin, että kyseinen nelikenttä voi jättää joitain merkityksellisiä tekijöitä tai seikkoja ilmentymättä. Analysointia varten muotoiltiin ja pohdittiin käytettäväksi muunlaista nelikenttää, mutta tuloksetta. Sovellettu ja ilman vahvoja perusteita jäänyt itse luotu nelikenttä ei olisi tuottanut luotettavasti lisäarvoa tutkimusaineiston analysoinnille. Näin ollen päädyttiin käyttämään yleisesti tunnettua SWOT-analyysiä.

Opinnäytetyön aiheen ollessa tutkijalleen ennen opinnäytetyöprosessia melko vieras, voidaan kat-tavan tietoperustan ja oman ymmärtämisen ja sen esittämistä pitää jo osittaisena kvalitatiivisen tutkimuksen kaltaisena, kirjallisuuskatsaukseen perustuvana aineistotutkimuksena. Tässä näke-myksessä sekundäärisenä aineistona voidaan pitää kaikkea sitä materiaalia ja teoksia, joita ilmiöstä on tehty ja julkaistu. Primäärisenä aineistona voidaan pitää sitä, mitä sekundäärisestä aineistosta havainnoitiin ja hyödynnettiin tietoperustan luonnissa.

Lopuksi

Opinnäytetyön myötä olen henkilökohtaisesti päässyt osalliseksi vetytaloutta käsitteleviin verkos-toihin, esittämään opinnäytetyöni sisältöä ja vaiheita asiantuntijatilaisuuksiin ja osallistumaan oh-jattavana ohjausryhmätoiminnan kulkuun. Näillä asioilla on ollut erittäin merkittävä vaikutus opin-näytetyön tekoon. Tämä on vaikuttanut niin työn etenemään kuin omaan motivaatioon, innokkuuteen ja haluun tehdä merkittävä ja laadukas asiantuntijuutta ilmentävä opinnäytetyö, jolle on ilmentynyt selkeä tarve ja kysyntä. Selvää on, että kehityksen on jatkuttava ja oltava nou-sujohteista.

Tämä tutkimus on merkittävä osoitus tutkimustyön ja ominaisuuksien tiedostamisen tärkeydestä, alkaen yksilöstä itsestään.

Lähteet

55-valmiuspaketti. 2023. Eurooppa-neuvoston verkkojulkaisu. Viitattu 12.11.2023.

<https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>.

About us. N.d. H2 Cluster Finlandin verkkosivu. Viitattu 18.12.2023. <https://h2cluster.fi/about-us/>.

Alasuutari, P. 2012. Laadullinen tutkimus 2.0. Uudistettu laitos. Tampere: Vastapaino. Viitattu 14.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Ellibs ebooks.

AMF Den Boer Multibake VITA. N.d. AMF bakery systems:n verkkojulkaisu. Viitattu 15.11.2023. <https://amfbakery.com/equipment/den-boer/multibake-vita/>.

Ammoniakki. 2022. Työterveyslaitoksen OVA-ohjeet. Viitattu 21.11.2023. <https://ova.ttl.fi/ammoniakki>.

Andersson, E., Wideskog, M., & Frostell, P. 2021. Uudet polttoaineet vähentävät meriliikenteen päästöjä. Meriteollisuus ry:n verkkojulkaisu 28.1.2021. Viitattu 11.12.2023. <https://meriteollisuus.teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/uudet-polttoaineet-vahentavat-meriliikenteen-paastoja>.

Arasto A. & Kiviaho J. 2023. Raha, valta ja vihreä siirtymä – eli miksi kaikki puhuvat nyt vedystä? VTT:n blogi kirjoitus. Viitattu 24.10.2023. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/raha-valta-ja-vihrea-siirtyma-eli-miksi-kaikki-puhuvat-nyt-vedysta>.

Aurelia Turbines ja vety. 2021. Aurelia Turbines Oy:n verkkojulkaisu. Viitattu 16.11.2023. <https://aureliaturbines.com/fact-sheets/aurelia-turbines-ja-vety>.

Bellotti, D., Rivarolo, M., & Magistri, L. 2022. A comparative techno-economic and sensitivity analysis of Power-to-X processes from different energy sources. University of Genoa. Viitattu 20.11.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890422003612?via%3Dihub>.

Brinkmann, S. 2013. Qualitative interviewing. USA, New York: Oxford University Press. Viitattu 10.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Ebook Central Academic Complete International Edition.

Burre, J., Bongartz, D., Bré e, L., Roh, K., & Mitsos, A. 2019. Power-to-X: Between Electricity Storage, e-Production, and Demand Side Management. Artikkelijulkaisusta Chemie Ingenieur Technik. Wiley Online Library. Viitattu 6.12.2023. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cite.201900102>.

Chen, L., Filot, I. & Hensen, E. 2023. Computational Study of CO₂ Methanation on Ru/CeO₂ Model Surfaces: On the Impact of Ru Doping in CeO₂. ACS Publication. Viitattu 20.11.2023. <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acscatal.3c03742>.

Chisalita, D., Petrescu, L. & Cormos, C. 2020. Environmental evaluation of European ammonia production considering various hydrogen supply chains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 130, pp. 109964. Viitattu 21.11.2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109964>.

Clean hydrogen economy strategy for Finland. 2023. Suomen vetyklusterin julkaisu 27.6.2023. Viitattu 18.12.2023. <https://h2cluster.fi/documents/>.

Climate Chance 2023 Synthesis Report. 2023 IPCC raportti. 2023. Viitattu 24.10.2023. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf.

COM(2019) 640 Final. 2019. Komission tiedonanto euroopan parlamentille, eurooppaneuvostolle, neuvostolle, euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Euroopan Komission tiedonanto 11.12.2019. Viitattu 24.10.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>.

Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184. Commission delegated regulation of supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin Official Journal of the European Union 20.6.2023. Viitattu 23.10.2023. http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1184/oj.

Commission proposes new EU framework to decarbonise gas markets, promote hydrogen and reduce methane emissions. 2021. Euroopan komission verkkojulkaisu. Viitattu 12.11.2023. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_6682.

Council and Parliament agree to decarbonise the aviation sector. 2023. Eurooppa-neuvoston lehdistötiedote 25.4.2023. Viitattu 11.12.2023. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/04/25/council-and-parliament-agree-to-decarbonise-the-aviation-sector/>.

DB Santasalo 2023. DB Santasalons verkkosivut. Viitattu 18.12.2023. <https://dbsantasalo.com/sv-fi>.

DRI production. N.d. iima International Iron Metallics Association :n verkkosivu. Viitattu 22.11.2023. <https://www.metallics.org/dri-production.html>.

Energiaa vai tuotteita? Luken tieteidenvälistä osaamista tarvitaan nopeasti etenevässä vetymurroksessa. 2023. Luken verkkouutinen 22.11.2023. Luonnonvarakeskus. Viitattu 21.12.2023. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/energiaa-vai-tuotteita-luken-tieteidenvalista-osaamista-tarvitaan-nopeasti-etenevassa-vetymurroksessa>.

Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T. 2023. Väyläviraston verkkojulkaisu. Viitattu 8.12.2023. <https://vayla.fi/vaylista/liikennejarjestelma/tent>.

Explore the hydrogen value chain. N.d. TÜV:n verkkojulkaisu verkkosivuiltaan. Viitattu 1.1.2024. <https://www.tuvsud.com/en/themes/hydrogen/explore-the-hydrogen-value-chain>.

Facts about hydrogen. N.d. Verkkojulkaisu Norwegian Hydrogenin sivulta. Viitattu 20.10.2023. <https://norwegianhydrogen.com/green-hydrogen/facts-about-hydrogen>.

Fimpec mukana vihreän vedyn edelläkävijä-projektissa. 2022. Fimpecin verkkojulkaisu 9.2.2022. Fimpecin verkkosivu. Viitattu 23.12.2023. <https://fimpec.com/ajankohtaista/fimpec-mukana-vihrean-vedyn-edellakavijaprojektissa/>.

Finland 2023 - Energy Policy Review. 2023. IEA. Viitattu 30.10.2023. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/07c88e41-c17b-4ea1-b35d-85dff665de4/Finland2023-EnergyPolicyReview.pdf>.

FItech Hydrogen. N.d.. FItechin hanke esittely FItechin verkkosivulta. Viitattu 21.12.2023. <https://fitech.io/fi/fitech/vetytalous/>.

Flender 2023. Flenderin verkkosivut. Viitattu 18.12.2023. <https://www.flender.com/en/>.

Food Out of Thin Air. N.d. Solar Foods yrityksen verkkosivut. Viitattu 31.10.2023. <https://solar-foods.com/>.

Fossiilitoman liikenteen tiekartta. 2021. Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:15. Viitattu 8.12.2023. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM_2021_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

FuelEU maritime initiative: Council adopts new law to decarbonise the maritime sector. 2023. Eurooppa-neuvoston lehdistötiedote 25.7.2023. Viitattu 11.12.2023. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/fueleu-maritime-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-maritime-sector/>.

Geopolitics of the Energy Transformation The Hydrogen Factor. 2022. IRENA julkaisu. Viitattu 14.11.2023. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jan/IRENA_Geopolitics_Hydrogen_2022.pdf?rev=1cfe49eee979409686f101ce24ffd71a.

GH2ADDVA - Lisäarvoa uusilla vihreillä vetyteknologioilla energiantuotantoon, siirtoon ja hyödyntämiseen. 8.2.2024. Hankkeen projektikuvaus verkkojulkaisuna JAMK:n verkkosivulla. Viitattu 24.2.2024. <https://www.jamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/tki-projektit/gh2addva-lisaarvoa-uusilla-vihreilla-vetyteknologioilla-energiantuotantoon-siirtoon-ja>.

Ghavam, S., Vahdati, M., Wilson, I. A. G. & Styring, P. 2021. Sustainable Ammonia Production Processes. Frontiers in Energy Research. Vol. 9. Viitattu 21.11.2023. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.580808>.

Global Hydrogen Review 2023. IEA:n raportti. Viitattu 20.10.2023. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8d434960-a85c-4c02-ad96-77794aaa175d/GlobalHydrogenReview2023.pdf>.

Global Methane Tracker. 2023. IEA:n raportti metaanista. Viitattu 20.11.2023. https://iea.blob.core.windows.net/assets/48ea967f-ff56-40c6-a85d-29294357d1f1/GlobalMethaneTracker_Documentation.pdf.

Gradia. N.d. Gradian verkkosivut. Viitattu 20.12.2023. <https://www.gradia.fi/>.

Hartikainen, J. 2022. Suomi lähti vetybuumiin jälkijunassa, mutta 2022 oli käänne - Suomeen investoidaan pian miljardeilla. Helsingin Sanomien verkkouutinen. Viitattu 26.10.2023. <https://www.hs.fi/talous/art-2000009260626.html?share=8f5be2d48695b004feef943ab1a51d62>.

Hartikka, T. 2023. Uusiutuva vety mullistaa kokonaisia teollisuudenaloja. Helen Oy:n artikkeli. Viitattu 23.10.2023. <https://www.helen.fi/artikkelit/2023/uusiutuva-vety-mullistaa-kokonaisia-teollisuudenaloja>.

Heikinmatti, A., 2020. Jos terästeollisuus olisi maa, sen hiilijalanjälki olisi maailman kolmanneksi suurin – tässä kolme syytä, miksi terästehtaat muuttuvat vihreämmiksi. Ylen verkkouutinen. Viitattu 22.11.2023. <https://yle.fi/a/74-20011478>.

Hiili terästeollisuudessa. N.d. Verkkosisältö Hiilitieto verkkosivulta. Viitattu 22.11.2023. <https://hiilitieto.fi/hiilitietoa/perustietoa-hiilesta/hiili-terasteollisuudessa/>.

Hiilidioksidiekvivalentti CO2ekv. N.d. LIPASTO Liikenteen päästöt tietokanta. Viitattu 8.12.2023. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/co2ekvs.htm>.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2022. Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. 2. painos. Helsinki: Gaudeamus. Viitattu 12.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Ellibs ebooks.

Honkanen H. 2024. Yliopettaja. JAMK, Biotalousinstituutti. Tiedonanto opinnäytetyöohjauksessa. 8.3.2024.

How does crude oil turn into oil and chemicals. 2021. Verkojulkaisu ePowermetals verkkosivulla. Viitattu 5.12.2023. <https://www.epowermetals.com/how-does-crude-oil-turn-into-oil-and-chemicals.html>.

Huhta, R., Heininen, A., Mäntynen, J., & Pajarre, M. 2023. Vetylentämisen selvitys. Vedyn käyttömahdollisuudet energialähteenä ilmailussa ja vetylentämisen rooli liikennejärjestelmässä. Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 2/2023. Traficom 7.2.2023. ISBN 978-952-311-839-3. Viitattu 29.12.2023. https://traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Vetylent%C3%A4misen_selvitys_Traficomin_tutkimuksia_02_2023_07022023.pdf.

Hydrocracking is an important source of diesel and jet fuel. 2013. Artikkelit U.S. Energy Information Administration (EIA):n verkkosivulta. Viitattu 5.12.2023. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=9650>.

Hydrogen. N.d. Euroopan komission verkkojulkaisu. Viitattu 23.10.2023. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en.

Hydrogen - data telling a story. 2021. Artikkelit Global Energy Infrastruktuuren sivulta. Viitattu 20.10.2023. <https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogen-data-telling-a-story/>.

Hydrogen Cluster Finland documents. N.d. H2 Cluster Finlandin verkkosivu. Viitattu 18.12.2023. <https://h2cluster.fi/documents/>.

Hydrogen delegated acts. 2023. Euroopan komission verkkojulkaisu. Viitattu 23.10.2023. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/hydrogen-delegated-acts_en.

Hydrogen Economy Hints at New Global Power Dynamics. 2022. IRENAn lehdistötiedote 15.1.2022. Viitattu 19.12.2023. <https://www.irena.org/news/pressreleases/2022/Jan/Hydrogen-Economy-Hints-at-New-Global-Power-Dynamics>.

HYBRIT – Edistysaskelia kohti fossiilivapaata terästuotantoa. N.d. Vattenfallin verkkojulkaisu. Viitattu 22.11.2023. <https://www.vattenfall.fi/fokuksessa/fossiilivapaa/hybrit/>.

Hämäläinen, M. 2019. Hiilen ja teräksen liitto murtuu – vety leikkaa päästöt terästehtaissa. Tekniikan Maailma verkkojulkaisu. Viitattu 22.11.2023. <https://tekniikanmaailma.fi/lehti/10b-2019/hiilen-ja-terakseen-liitto-murtuu-vety-leikkaa-paastot-terastehtaissa/>.

Ibounig, E., Saarela, L., Belt, A., Inovaara, S., Wilkko, W., Kangas, O., Kaskinen, T. & Turkki, J. 2023. Finland's Moonshots for Green Growth. Boston Consulting Group:n ja Climate Leadership Coalition:n raportti. Viitattu 25.10.2023. <https://web-assets.bcg.com/00/b9/f29b47d3483ab495047411f25680/bcg-finland-moonshots-for-green-growth-feb-2023.pdf>.

Ilmastotyö Keski-Suomen ELY-keskuksessa. 2022. ELY-keskuksen verkkosivu alueellisesta asiantuntijuudesta ja ilmastoyhteistyöstä. 30.6.2022. Viitattu 21.12.2023. <https://www.ely-keskus.fi/web/ely-keskukset-ilmastotoimijoina/keski-suomi>.

Ilmastolaki 423/2022. Suomen ilmastolaki. Annettu 6.10.2022. Viim. muutos 19.1.2023. Viitattu 13.11.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423>.

Innovation outlook renewable methanol. 2021. IRENA ja Methanol Instituten yhteysjulkaisu. Viitattu 20.11.2023. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7ec52e824041e8b20407ab2e6c7341.

Jamk. N.d. Jyväskylän ammattikorkeakoulun verkkosivut. Viitattu 20.12.2023. <https://www.jamk.fi/fi>.

Jokela, M. 2021. VTT:n päällikkötutkija: käyttövoimien vastakkainasettelu turhaa. Moottori verkkolehden uutinen. Autoliitto. Viitattu 6.12.2023. <https://moottori.fi/liikenne/jutut/vttn-paallikkotutkija-kayttovoimien-vastakkainasettelu-turhaa/>.

Jonsson, F. & Miljanovic A. 2022. Utilization of waste heat from hydrogen production. Tutkimusraportti. Viitattu 1.11.2023. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1670187/FULLTEXT01.pdf>.

Kaasu Suomessa. N.d. Suomen Kaasuyhdistyksen verkkojulkaisu. Viitattu 20.11.2023. <https://www.kaasuyhdistys.fi/kaasu-suomessa/kaasun-kaytto/>.

Kaasupaketti: jäsenmaat määrittivät kantansa tuleviin kaasu- ja vetymarkkinoihin. 2023. Eurooppa-neuvoston verkkojulkaisu 28.3.2023. Viitattu 12.11.2023. <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2023/03/28/gas-package-member-states-set-their-position-on-future-gas-and-hydrogen-market/>.

Kananen, J. 2014. Verkkotutkimus opinnäytetyönä Laadullisen ja määrällisen verkkotutkimuksen opas. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes print. Viitattu 10.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Booky

Kananen, J. 2015a. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes print. Viitattu 8.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Booky

Kananen, J. 2015b. Opinnäytetyön kirjoittajan opas Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes print. Viitattu 11.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Booky

Kananen, J. 2017a. Kehittämistutkimus interventiotutkimuksen muotona Opas opinnäytetyön ja pro gradun kirjoittajalle. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes print. Viitattu 8.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Booky

Kananen, J. 2017b. Laadullinen tutkimus pro graduna ja opinnäytetyönä. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes print. Viitattu 8.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Booky

Kankaanpää, T. 2022. Ammoniakin merkitys Suomen teollisuudelle. Muistio Liikenne- ja viestintäministeriölle. Yara. Viitattu 21.11.2023. <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaistuMetatieto/Documents/EDK-2022-AK-27061.pdf>.

Kantaverkon kehityssuunnitelma 2024-2033. 2023. Fingrid julkaisu verkkosivuiltaan. Viitattu 28.12.2023. https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_kehittamissuunnitelma_2024-2033.pdf.

Keski-Suomen liitto. N.d.. Keski-Suomen liiton verkkosivut. Viitattu 21.12.2023. <https://keski-suomi.fi/>.

Keski-Suomen maakuntakaava 2040 kaavaselostus Ehdotus Maakuntahallitus 1.9.2023. (§66). 2023. Keski-Suomen Liitto. Viitattu 1.11.2023. <https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2023/09/Keski-Suomen-maakuntakaava-2040-kaavaselostus-kaavaehdotus.pdf>.

Kirjavainen, L. 2023. Vedyn tuotanto ja käyttö teollisuudessa. Opinnäytetyö, AMK. JAMK, energia- ja ympäristötekniikka. Viitattu 15.11.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/801408/Opinnaytetyo_Kirjavainen_Lauri.pdf?sequence=2.

Koivuniemi, J. 2021. Itämerellä käytettävien laivapolttoaineiden vertailu. Opinnäytetyö, AMK. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (XAMK), Energia- ja ympäristötekniikka. Viitattu 11.12.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021110919594>.

Korhonen, A. 2023. Vety tekee tuloaan liikenteeseen – Suomen ensimmäinen tankkausasema avautuu ensi vuonna. Verkkouutiset 25.11.2023 päivitetty 27.11.2023. Viitattu 11.12.2023. <https://www.verkkouutiset.fi/a/vety-tekee-tuloaan-liikenteeseen-suomen-ensimmainen-tankkausasema-avautuu-ensi-vuonna/#8db0c482>.

Krankkala, E. N.d. SSAB Kohti fossiilivapaata teräksen valmistusta. SSAB:n pdf-esitysmateriaali. Viitattu 22.11.2023. https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/1218/f100c48/SSAB_Fossiilivapaa_teras_01022023.pdf.

Kriittiset raaka-aineet tietoon, talteen ja kiertoon (KRIIT). N.d. Jyväskylän yliopiston hankkeen hankekuvaus. Viitattu 19.12.2023. [Kriittiset raaka-aineet tietoon, talteen ja kiertoon \(KRIIT\) | Jyväskylän yliopisto \(jyu.fi\)](https://www.jyu.fi/kriittiset-raaka-aineet-tietoon-talteen-ja-kiertoon).

Laasasenaho, K., Viholainen, I., Mäki, T., Karirinne, S., & Valden, M. 2023. Uusi hanke selvittää vetytalon mahdollisuuksia ruokaketjussa Etelä-Pohjanmaalla. Uutinen SeAMK Verkkolehdestä. Viitattu 25.10.2023. <https://lehti.seamk.fi/kestavat-ruokaratkaisut/uusi-hanke-selvittaa-vetytalon-mahdollisuuksia-ruokaketjussa-etela-pohjanmaalla/>.

Laurikko, J., Ihonen, J., Kiviaho, J., Himanen, O., Weiss, R., Saarinen, V., Kärki, J. & Hurskainen, J. 2020. National hydrogen roadmap for Finland. Business Finland, Helsinki. ISBN 978-952-457-657-4. Viitattu 22.11.2023. <https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/bf-national-hydrogen-roadmap-2020.pdf>.

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutus. 2022. Traficom:n verkkojulkaisu. Viitattu 8.12.2023. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikenteen-kasvihuonekaasupaastot-ja-energiankulutus?toggle=L%C3%A4hteet%20ja%20lis%C4%tiedot>.

Lindgren, N. 2021. Mikä arvoketju on todellisuudessa? Artikkelit Renesanss:n verkkosivulla. Viitattu 10.10.2023. <https://www.renesansglobal.com/fi/mika-arvoketju-on-todellisuudessa/>.

Luukkonen, M. 2023. Vedyn jatkojalostus metanoliksi. Kandidaatintyö. Tampereen Yliopisto. Viitattu 20.11.2023. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/150777/LuukkonenMarkus.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Mainio, T. 2023. Norjalaisyhtiö kaavailee Suomeen 21 vetyaseman verkostoa – Kala voi lähivuosina tulla Norjasta vetyrekkojen kyydissä. Kauppalehti 24.3.2023. Viitattu 28.12.2023. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/norjalaisyhtio-kaavailee-suomeen-21-vetyaseman-verkosto-kala-voi-lahivuosina-tulla-norjasta-vetyrekkojen-kyydissa/dd9336ba-5163-4cbc-a923-d3d259a0303e>.

Marja-aho, E. 2023. Jyväskylään vetytankkausasemaa suunnitteleva HydRe Oy myyty Norjaan. Keski-suomalaisen verkkouutinen 2.2.2023. Viitattu 11.12.2023. <https://www.ksml.fi/paikkaset/5698064>.

Matikainen, S. 2021. Vedyn käyttö energijärjestelmissä. Opinnäytetyö, AMK. JAMK, energia- ja ympäristötekniikka. Viitattu 15.11.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/511790/Opinnaytetyo_Matikainen_Simo.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Metaani. 2023. Työterveyslaitoksen OVA-ohjeet. Viitattu 20.11.2023. <https://ova.ttl.fi/metaani>.

Metanoli. 2022. Työterveyslaitoksen OVA-ohjeet. Viitattu 20.11.2023. <https://ova.ttl.fi/metanoli>.

Mikä ihmeen energiamurros?. N.d. Artikkelin Fortumin sivulta. Viitattu 21.10.2023. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/uutiset-ja-julkaisut/tietopakettit-medialle/mika-ihmeen-ener-giamurros>.

Mitä on vetytalous ja miten se vähentää hiilidioksidipäästöjä? 2022. LUT-yliopiston artikkeli. Viitattu 16.11.2023. <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/mita-vetytalous-ja-miten-se-vahentaa-hiilidioksi-dipaastoja>.

Ojasalo, K., Moilanen, T., & Ritalahti, J. 2015. Kehittämistyön menetelmät: Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3. - 4. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. Viitattu 10.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Ellibs ebooks.

Osaaminen kilpailukyvyksi. N.d. Jyväskylän ammattikorkeakoulun strategia 2020 – 2030. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 20.12.2023. Strategia ladattavissa PDF-muodossa JAMK:n verkkosivulta: <https://www.jamk.fi/fi/jamk>.

P2X Solutions rakentaa Järvenpään Helsingin seudun ensimmäisen vedyn tankkausaseman. 2023. Julkaisu P2X Solutionsin verkkosivulta. Viitattu 11.12.2023. <https://p2x.fi/p2x-solutions-rakentaa-jarvenpaahan-helsingin-seudun-ensimmaisen-vedyn-tankkausaseman/>.

Paris Agreement. 2015. United Nations. Viitattu 24.10.2023. https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf.

Paul, D. & Cadle, J. 2020. Business analysis. 4. painos. Englanti, Swindon: BCS The Chartered Institute for IT. Viitattu 15.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Knovel Engineering Management & Leadership Academic.

Penninkangas, P. 2023. Synteettisen metaanin käyttömahdollisuudet Suomessa. Diplomityö. Lappeenranta–Lahden teknillinen yliopisto LUT. Viitattu 20.11.2023. [https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/166410/Synteettisen %20metaanin %20k %C3 %A4ytt %C3 %B6mahdollisuudet %20Suomessa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/166410/Synteettisen%20metaanin%20k%C3%A4ytt%C3%B6mahdollisuudet%20Suomessa.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Peura, P., Hiltunen, E., Haapanen, A., Auvinen, K., Soukka, R., Törmä, H., Kujala, S., Pohjola, J., Mäkiranta, A., Välisuo, P., Grönman, K., Kumar, R., Rasi, S., Lehtonen, E. & Anttila P. 2017. Hajautetun uusiutuvan energian mahdollisuudet ja rajoitteet. Valtioneuvoston kanslia. Viitattu 19.10.2023. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160251/Hajautettun_uusiutuvan_ener-gian_mahdollisuudet_ja_rajoitteet_%28HEMU %29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160251/Hajautettun_uusiutuvan_ener-gian_mahdollisuudet_ja_rajoitteet_%28HEMU%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Porter, M. E. 2004. Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance. 1st Free Press export edition. Free Press.

Portillo, G. 2022. Hidrogeno-verde. Artikkelin Renewablegreen:n verkkosivulta. Viitattu 21.10.2023. <https://www.renovablesverdes.com/en/hidrogeno-verde/>.

Power-to-X - from green energy to green fuel. N.d. Tanskan teknillisen yliopiston verkkojulkaisu. Viitattu 21.11.2023. <https://baeredygtighed.dtu.dk/en/teknologi/power-to-x>.

Power-to-x (P2X) – Mitä se tarkoittaa ja miten se mullistaa energian- ja ruoantuotannon?. 2023. LUT-Yliopiston verkkoartikkeli. Alkuperäinen julkaisu 2018, päivitetty 2023. Viitattu 21.11.2023. <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/power-x-p2x-mita-se-tarkoittaa-ja-miten-se-mullistaa-energian-ja-ruoantuotannon>.

Production capacity of ammonia worldwide from 2018 to 2021, with a forecast for 2026 and 2030. 2023. Statista. Viitattu 21.11.2023. <https://www.statista.com/statistics/1065865/ammonia-production-capacity-globally/>.

Production of methanol worldwide from 2017 to 2022. 2023. Statista. Viitattu 21.11.2023. <https://www.statista.com/statistics/1323406/methanol-production-worldwide/>.

Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., Archer, E., Arneeth, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W.L., Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., Jacob, U., Insarov, G., Kiessling, W., Leadley, P., Leemans, R., Levin, L., Lim, M., Maharaj, S., Managi, S., Marquet, P. A., McElwee, P., Midgley, G., Oberdorff, T., Obura, D., Osman, E., Pandit, R., Pascual, U., Pires, A. P. F., Popp, A., ReyesGarcía, V., Sankaran, M., Settele, J., Shin, Y. J., Sintayehu, D. W., Smith, P., Steiner, N., Strassburg, B., Sukumar, R., Trisos, C., Val, A.L., Wu, J., Aldrian, E., Parmesan, C., Pichs-Madruga, R., Roberts, D.C., Rogers, A.D., Díaz, S., Fischer, M., Hashimoto, S., Lavorel, S., Wu, N. & Ngo, H.T. 2021. Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change; IPBES secretariat, Bonn, Germany, DOI:10.5281/zenodo.4659158. Viitattu 26.10.2023.

Rakenteilla olevat hankkeet. 2023. Suomen tuulivoimayhdistyksen tuottamat tilastot. Viitattu 1.11.2023. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/rakenteilla-olevat-hankkeet>.

Regulation (EU) 1315/2013. Regulation (EU) No 1315/2013 of the European Parliament and of the Council of Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU. Official Journal of the European Union 20.12.2013. Viitattu 9.12.2023. <http://data.europa.eu/eli/reg/2013/1315/oj>.

Regulation (EU) 2023/1804. Regulation of the European parliament and of the Council of the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU. Official Journal of the European Union 22.9.2023. Viitattu 9.12.2023. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj>.

Regulation (EU) 2023/1805. Regulation of the European Parliament and of the Council of the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC. Official Journal of the European Union 22.9.2023. Viitattu 11.12.2023. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805/oj>.

Renewable power-to-hydrogen innovation landscape brief. 2019. Raportti. IRENA. Viitattu 6.12.2023. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Power-to-Hydrogen_Innovation_2019.pdf?la=en&hash=C166B06F4B4D95AA05C67DAB4DE8E2934C79858D.

- Riecki, S. 2023. Toyota perustaa Jyväskylään teknologiakeskuksen – "Tavalliselle kaupunkilaiselle asiat näkyvät, kunhan ne alkavat konkretisoitua". Suur Jyväskylä Lehti, Verkkouutinen 3.8.2023. Viitattu: 18.12.2023. <https://www.sjl.fi/paikalliset/6113185>.
- Salonen, K., Eloranta, S., Hautala, T. & Kinos, S. 2017. Kehittämistoiminta ja kehittämisen menetelmiä ammatillisessa korkeakoulutuksessa. Turun ammattikorkeakoulun oppimateriaaleja 108. Viitattu 6.10.2023. <https://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522166494.pdf>.
- Simatupang T., Piboonrunroj P. & Williams S. 2017. The emergence of value chain thinking. International Journal of Value Chain Management. 01/2017. Viitattu 10.10.2023. <https://www.researchgate.net/publication/314301595> The emergence of value chain thinking.
- Sipola, T. 2021. Maailman ensimmäinen erä fossiilivapaata terästä on valmiina – uusi teknologia vähentää pian Suomen hiilidioksidipäästöjä seitsemän prosenttia. Ylen verkkouutinen 18.8.2021. Viitattu 22.11.2023. <https://yle.fi/a/3-12062634>.
- Sipola, T. 2023. Pohjois-Suomen ensimmäiset vetyjakeluasemat raskaalle liikenteelle avautuvat vuonna 2025. Ylen verkkouutinen 17.5.2023. Viitattu 11.12.2023. <https://yle.fi/a/74-20032292>.
- Sivill, L., Bröckl, M., Semkin, N., Ruismäki, A., Pilpola, H., Laukkanen, O., Lehtinen, H., Takamäki, S., Vasara, P. & Patronen, J. 2022. Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. Valtioneuvosto. Viitattu 10.10.2023. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163901/VNTEAS_2022_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Suomen vihreät investoinnit 2023. Elinkeinoelämän keskusliiton tuottama Dataikkuna palvelu. Viitattu 28.12.2023. <https://ek.fi/tutkittua-tietoa/vihreat-investoinnit/>.
- Suunnittelussa olevat hankkeet. 2022. Suomen tuulivoimayhdistyksen tuottamat tilastot. Viitattu 1.11.2023. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/suunnittelussa-olevat-hankkeet>.
- Suuritehoista koneoppimista uusien katalyyttien suunnitteluun (MLNovCat). N.d. Jyväskylän yliopiston hankekuvaus. Viitattu 21.12.2023. <https://www.jyu.fi/fi/hankkeet/suuritehoista-koneoppimista-uusien-katalyyttien-suunnitteluun-mlnovcat>.
- Sähkönsiirron selvitys osana Keski-Suomen maakuntakaavaa 2040. 2022. Rejlers Finland Oy:n selvitys Keski-Suomen Liitolle. Viitattu 1.11.2023. <https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2022/12/Sahkonsiirron-selvitys-osana-Keski-Suomen-maakuntakaavaa-2040-raportti.pdf>.
- Tana Oy. N.d. Tana Oy:n verkkosivut. Viitattu 18.12.2023. <https://tana.fi/fi/>.
- Tankkausasemat N.d. Mustankorkean verkkosivut. Viitattu 18.12.2023. <https://www.mustankorkea.fi/biokaasu/tankkausasemat/>.
- The City of Jyväskylä, Toyota Gazoo Racing World Rally Team, Toyota Mobility Foundation established a new organization to promote Jyväskylä's City Planning Project. 2024. CEFMOF säätiön 22.1.2024 julkaisema verkkouutinen. Viitattu 1.2.2024. <https://cefmo.fi/the-city-of-jyvaskyla-tgr-wrt-and-tmf-established-a-new-organization-to-promote-jyvaskylas-city-planning/>.

The Nordic Hydrogen Industry Report - What are the synergies and commitment of the Nordic hydrogen ecosystems for a joint trade and invest promotion?. 2023. Business Finland, Business Sweden, Innovation Norway ja Ruotsin energiavirasto yhteisraportti 02/2023. Viitattu 1.1.2024. [https://marketing.business-sweden.se/acton/attachment/28818/f-2584b042-17ec-4999-b38c-2e8999a2ed70/1/-/-/-/Nordic %20Hydrogen %20Industry %20Report %20- %20Publishing %20Version %20- %201.0 %20- %20Final.pdf](https://marketing.business-sweden.se/acton/attachment/28818/f-2584b042-17ec-4999-b38c-2e8999a2ed70/1/-/-/-/Nordic%20Hydrogen%20Industry%20Report%20-%20Publishing%20Version%20-%201.0%20-%20Final.pdf).

Tiedekunnat, laitokset ja erillislaitokset. N.d. Jyväskylän yliopiston verkkosivu. Viitattu 19.12.2023. <https://www.jyu.fi/fi/tiedekunnat-ja-yksikot>.

Tiseo, I. 2023. Distribution of carbon dioxide emissions produced by the transportation sector worldwide in 2022, by sub sector. Statista tilastopalvelu. Viitattu 6.12.2023. <https://www.statista.com/statistics/1185535/transport-carbon-dioxide-emissions-breakdown/>.

Traficom. 2023. Tilastotietokanta. Liikennekäytössä 30.09.2023 olevat henkilöautot alueittain. Viitattu 24.10.2023. https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi_Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/010_kanta_tau_101.px/table/tableViewLayout1/.

Transportation emissions worldwide - statistics & facts. 2023. Statista tilastopalvelun julkaisu. Viitattu 6.12.2023. <https://www.statista.com/topics/7476/transportation-emissions-worldwide/#topicOverview>.

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Toinen, uudistettu laitos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi. Viitattu 8.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Ellibs ebooks.

Tuominen, O. 2023. Safety of sustainable ammonia production with novel Haber-Bosch process integration. Diplomityö. LUT-Yliopisto. Viitattu 21.11.2023. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/166009/mastersthesis_tuominen_otto.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Turunen, T. 2023. Vety ei ratkaise vihreää siirtymää yksin – myös hiilidioksidin mahdollisuudet pitää huomioida. Elomaticin verkkojulkaisu. Viitattu 16.11.2023. <https://www.elomatic.com/fi/vety-ei-ratkaise-vihreaa-siirtymaa-yksin-myo-hiilidioksidin-mahdollisuudet-pitaa-huomioida/>.

Tutkinnot 2022: Onnittelut lähes 2800 tutkinnon suorittaneelle!. 2023. Jyväskylän yliopiston tiedote STT:n verkkosivulla. Jyväskylän yliopisto 30.1.2023. Viitattu 20.12.2023. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/69963891/tutkinnot-2022-onnittelut-lahes-2800-tutkinnon-suorittaneelle?publisherId=69817172>.

Tuulivoimatilastot 6/2023. 2023. Suomen tuulivoimayhdistyksen tuottamat tilastot. Viitattu 1.11.2023. <https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tilastot-2/tuulivoiman-rakentamisen-tahti-jatkuu-tasaisena-2>.

Uusi energiajärjestelmä. N.d. Artikkelit Energiateollisuus ry:n sivulta. Viitattu 21.10.2023. <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/uusi-energiajarjestelma/>.

Uusi vetytalouden koulutuskokonaisuus alkaa – FITech-verkostoyliopisto sai rahoituksen koulutuksen järjestämiseen. 2022. FITechin verkkouutinen 24.11.2022. Viitattu 21.12.2023. <https://fi-tech.io/fi/uusi-vetytalouden-koulutuskokonaisuus-alkaa-fitech-verkostoyliopisto-sai-rahoituksen-koulutuksen-jarjestamiseen/>.

Uusi vetytutkimusfoorumi kiihdyttää Suomen vetysiirtymää ja tukee kansainvälisessä kilpailussa. 2022. VTT:n verkkouutinen 17.6.2022. Viitattu 9.10.2023. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/uusi-vetytutkimusfoorumi-kiihdyttaa-suomen-vetysiirtymaa-ja-tukee>.

Valtioneuvoston periaatepäätös vedystä. 2023. Valtioneuvoston julkaisu 2023:17. Viitattu 25.10.2023. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164743/VN_2023_17.pdf?sequence=4&isAllowed=y.

Vanhanen, J., Pulkkinen, A., Salmi, W., Beniard, M., Järvinen, K., & Lehtomäki, J. 2022, Meriliikenteen vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinoiden kehitys ja vaikutukset Suomeen suuntautuvan meriliikenteen kustannuksiin. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 2022:13. ISBN PDF 978-952-243-901-7. Viitattu 11.12.2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-901-7>.

Vartiainen, E. 2020. Vetytalous tulee – ennemmin tai myöhemmin. Fortum:n tuottama artikkeli. Viitattu 20.10.2023. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/vetytalous-tulee-ennemmin-tai-myohemmin>.

Vasara, A. 2023. Sähkö tulee töpselistä, jakso 25. Vedyn ABC:vety pelastaa – vai pelastaako?. Podcast. Pohjolan voima. Julkaistu 13.9.2023. Viitattu 25.10.2023. <https://open.spotify.com/episode/5VGDmx31R41VskroUjkTpt>.

Vedyntuotanto ja vetytalouden arvoketjut. N.d. Hanke esittely VAMK:n verkkosivulta. Viitattu 29.12.2023. <https://www.vamk.fi/hanke/vedyntuotanto-ja-vetytalouden-arvoketjut>.

Vehkalahti, K. 2019. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Helsinki: Helsingin yliopisto. Viitattu 11.10.2023. <https://finna.fi>, Helda open Books.

Vety. 2022. Työterveyslaitoksen OVA-ohjeet. Viitattu 20.10.2023. <https://ova.ttl.fi/vety>.

Vety. 2023. Motivan verkkojulkaisua vedystä. Viitattu 20.11.2023. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/valitse-auto-viisaasti/energialahteet/vety>.

Vety ja uusiutuvat energialähteet. N.d. Kontram Oy:n verkkosivu. Viitattu: 18.12.2023. <https://kontram.fi/toimialat/vety-ja-uusiutuvat-energialahteet/>.

Vety teollisuusprosesseissa N.d. Kiwan verkkouutinen vedystä. Viitattu 16.11.2023. <https://www.kiwa.com/fi/fi/toimialat/uusiutuva-energia/vety/vety-teollisuusprosesseissa/>.

Vetyarvoketjussa on tilaa suomalaisyrityksille – nyt tarvitaan rohkeutta ja nopeutta. 2023. VTT:n verkkoartikkeli 28.8.2023. Viitattu 1.1.2024. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/vetyarvoketjussa-tilaa-suomalaisyrityksille-nyt-tarvitaan-rohkeutta-ja-nopeutta>.

Vetymarkkinat N.d.. Energiateollisuus ry:n artikkeli vetymarkkinasta. Viitattu 16.11.2023.
<https://energia.fi/energiatietoa/energiamarkkinat/vetymarkkinat/>.

Vetytalouskoulutus. N.d. Rambollin vetytalouskoulutuksen verkkosivu. Viitattu 21.12.2023.
<https://courses.digitaledu.ramboll.fi/vetytalouskoulutus/>.

Vetyteknologia ja polttokennot. N.d. VTT:n palveluesittely. Viitattu 21.12.2023.
<https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/vetyteknologia-ja-polttokennot>.

Vihreästä vedystä ja hiilidioksidista kehitettyä sähköpolttoainetta testataan ensimmäistä kertaa käytännössä. 2023. VTT:n lehdistötiedote 21.11.2023. Viitattu 21.11.2023.
<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/vihreasta-vedysta-ja-hiilidioksidista-kehitettya-sahkopolttoainetta-testataan>.

Vilka, H. 2021. Näin onnistut opinnäytetyössä Ratkaisut tutkimuksen umpikujiin. Jyväskylä: PS-kustannus.

Vuorinen, T., & Huikkola, T. 2023. Strategiakirja: 25 työkalua. Helsinki: Alma Talent. Viitattu 16.10.2023. <https://janet.finna.fi>, Bisneskirjasto (Alma Talent)

Vähähiilinen energia ja vetytalous ratkaisut. N.d. Elomatic Oy:n verkkosivu. Viitattu 23.12.2023.
<https://www.elomatic.com/fi/prosessi-ja-energia/vahahiilinen-energia-ja-vetytalous-ratkaisut/>.

Yle, artikkelihaku. 2024. Ylen verkkoartikkeleiden haku 2.1.2024. Viitattu 2.1.2024.
<https://haku.yle.fi/?page=1&query=vetytalous&time=custom&timeFrom=2023-01-01&timeTo=2023-12-31&type=article>.

Ylinen, J. 2023. Vihreä ammoniakki Suomesta – veden, tuulen ja maan synergiaa. Elomatic Oy:n verkkojulkaisu. Viitattu 21.11.2023. <https://www.elomatic.com/fi/top-engineer/vihrea-ammoniakki-suomesta-veden-tuulen-ja-maan-synergiaa/>.

Yliopistojen ja tutkimuslaitosten vetytalous koulutustarjonta ja tki-toiminta. 2022. Hydrogen Cluster Finlandin raportti 3/2022. Viitattu 21.12.2023. <https://h2cluster.fi/wp-content/uploads/2022/05/H2cluster-raportti-2022-Yliopistojen-ja-tutkimuslaitosten-koulutustarjonta.pdf>.

Liitteet

Liite 1. Lomakekyselyn saateposti

Petri Tuominen

Subject: Petri Tuominen: KESKI-SUOMI VETYTALOUDEN TOIMINTAYMPÄRISTÖNÄ -KYSELY

Hei

Tässä puhelussamme lupaamani sähköposti tiedonkeruukyselystä:

Suuritan tiedonkeruuta ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyötäni varten.
Alla linkki, ohjeet ja yhteystiedot kyselyyn.

Tästä linkistä pääset vastaamaan: <https://forms.office.com/e/Jhejr0USrm>

Ohjeet vastaajalle:

Kyselyyn vastaaminen on vapaaehtoista. Teidät on valittu kyselyyn potentiaalisena alueellisena toimijana, joten toivon saavani Teiltä vastauksen mahdollisimman pian, kuitenkin 22.12.2023 mennessä.

Pyri vastaamaan soveltuvilta osin kysymyksiin ajankohtaisimman käytettävissä olevan tiedon perusteella.

Kyselyyn vastaaminen kestää arviolta 15-20 minuuttia.

Vetytalous: Vetytaloudella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa vetyyn, metanoliin, metaaniin, ammoniakkiin sekä hiilidioksidiin ja happeen liitettävää toimintaa. Vetytalouteen liittyy olennaisena osana teknologia, kehitys ja osaaminen.

Kyselyn tavoitteet: Tavoitteena on löytää Keski-Suomesta niitä vetytalouteen liittyviä tekijöitä, asioita ja yhteyksiä, joista voidaan muodostaa uusia arvoketju mahdollisuuksia. Arvoketjuja hyödyntämällä voidaan saavuttaa Keski-Suomelle kilpailuetua vetytaloustoiminnassa.

Salassapito: Vastaukset saapuvat tutkimustyön tekijälle, ja vastaukset anonymisoidaan muodostamalla vastauksista analyysi, minkä jälkeen vastaus ja vastaaja eivät ole yhdistettävissä toisiinsa. Analyysin teon jälkeen vastausmateriaali tuhoetaan eikä sitä käytetä tämän tutkimuksen ulkopuolella.

Yhteistyötoimijoina: JAMK (Jyväskylän ammattikorkeakoulu), Keski-Suomen liitto ja Elomatic Oy

Lisätietoja kyselyyn ja aiheeseen liittyen saatte tutkimuksen toteuttajalta:

Petri Tuominen, YAMK-Insinööriopiskelija, Kestävä Energia, JAMK

Oma: (puhelinnumero poistettu), (sähköpostiosoite poistettu)

Työ: (puhelinnumero poistettu), (sähköpostiosoite poistettu)

(LinkedIn linkki poistettu)

Ystävällisin terveisin / Best regards

Petri Tuominen

Senior Design Engineer | ELOMATIC

Kangasvuorentie 10, 40320 Jyväskylä, FINLAND | www.elomatic.com

(sähköpostiosoite poistettu) | (puhelinnumero poistettu) | LinkedIn: (LinkedIn linkki poistettu)

Liite 2. Lomakekysely -lomake

KESKI-SUOMI VETYTALOUDEN TOIMINTAYMPÄRISTÖNÄ -KYSELY

Tämä kysely on osa ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyön tiedonkeruuta, lisätietoja alla.
Vastausaika päättyy 22.12.2023

* Required

Esitiedot kyselystä

Ohjeet vastaajalle:

Kyselyyn vastaaminen on vapaaehtoista. Teidät on valittu kyselyyn potentiaalisena alueellisena toimijana, joten toivon saavani Teiltä vastauksen mahdollisimman pian, kuitenkin 22.12.2023 mennessä.

Pyri vastaamaan soveltuvilta osin kysymyksiin ajankohtaisimman käytettävissä olevan tiedon perusteella.

Kyselyyn vastaaminen kestää arviolta 15-20 minuuttia.

Vetytalous: Vetytaloudella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa vetyyn, metanoliin, metaaniin, ammoniakkiin sekä hiilidioksidiin ja happeen liitettävää toimintaa. Vetytalouteen liittyä olennaisena osana teknologia, kehitys ja osaaminen.

Kyselyn tavoitteet: Tavoitteena on löytää Keski-Suomesta niitä vetytalouteen liittyviä tekijöitä, asioita ja yhteyksiä, joista voidaan muodostaa uusia arvoketju mahdollisuuksia. Arvoketjuja hyödyntämällä voidaan saavuttaa Keski-Suomelle kilpailuetua vetytaloustoiminnassa.

Salassapito: Vastaukset saapuvat tutkimustyön tekijälle, ja vastaukset anonymisoidaan muodostamalla vastauksista analyysi, minkä jälkeen vastaus ja vastaaja eivät ole yhdistettävissä toisiinsa. Analyysin teon jälkeen vastausmateriaali tuhoetaan eikä sitä käytetä tämän tutkimuksen ulkopuolella.

Yhteistyötoimijoina: JAMK (Jyväskylän ammattikorkeakoulu), Keski-Suomen liitto ja Elomatic Oy

Lisätietoja kyselyyn ja aiheeseen liittyen saatte tutkimuksen toteuttajalta:

Petri Tuominen, YAMK-Insinööriopiskelija, Kestävä Energia, JAMK

Oma: (puhelinnumero poistettu), (sähköpostiosoite poistettu)

Työ: (puhelinnumero poistettu), (sähköpostiosoite poistettu)

<https://www.linkedin.com/in/petrituomin3n/>

1. Edustamasi toimija:

(Tieto käytetään ainoastaan vastauksittavuuden määrittämiseen)

2. Saako teihin ottaa tarvittaessa yhteyttä vastauksenne jälkeen? *

Kyllä

Ei

3. Jätä nimesi ja yhteystietosi

4. Mikä on toimintanne toimiala, valitse enintään 3 kuvaavinta *

Please select at most 3 options.

- Teollisuus
- Metsäteollisuus
- Kappaletavaratuotanto
- Koneet ja kalusto
- Energiapalvelut
- Liikenne
- Elintarvike
- Infra
- Julkinen taho
- Other

5. Toimintanne suuruusluokka vuosiliikevaihtona (Jos määritettävissä)

- 0-2 milj.
- 2-10 milj.
- 10-50 milj.
- > 50 milj.

VETYYN LIITTYVÄ TEKNOLOGIA JA OSAAMINEN

6. Millaista **vetytalouteen** liittyvää tietoa, teknologiaa tai osaamista tarvitsette tai olette kiinnostuneita hyödyntämään toiminnassanne?

Voitte jättää lisätietoja seuraavaan lisätietokenttään.

- Yleistieto tai yleinen kiinnostus
- Turvallisuus
- Liiketoiminnan edistäminen
- Kehitys ja tutkimus
- Tuotantoteknologiat
- Käyttöteknologiat
- Käyttö mahdollisuudet
- Other

7. Mahdollinen lisätieto **vetytalouteen** liittyvästä teknologiasta ja osaamisesta

8. Mistä saatte tai löydätte tietoa **vedystä ja vetytaloudesta**?

9. Mitkä ovat toiminnassanne **vetytalouteen** liittyvät merkittävimmät **vahvuudet**:

10. Mitkä ovat toiminnassanne **vetytalouteen** liittyvät merkittävimmät **heikkoudet**:

11. Mitkä ovat toiminnassanne **vetytalouteen** liittyvät merkittävimmät **mahdollisuudet**:

12. Mitkä ovat toiminnassanne **vetytalouteen** liittyvät merkittävimmät **uhat**:

VETY

13. Tuotatteko, käytättekö tai muuten hyödynnättekö **vetyä** toiminnassanne Keski-Suomessa?
Tässä huomioidaan sekä tarkoituksella että tarkoituksetta tuotettu tai muodostunut vety.
Jos on lähitulevaisuuden (5 v) suunnitelmissa niin vastaa "Kyllä" *

Kyllä

Ei

14. Ilmoita **tuotettu tai muodostunut** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla?

15. Kuinka näette vedyn **tuotannon tai muodostumisen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?
Voit avata tarkemmin seuraavaan lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

16. Lisätietokenttä vedyn **tuotannon** tarkentamiseen

17. Ilmoita **kulutettu** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla:

18. Kuinka näette vedyn **kulutuksen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?
Voit avata tarkemmin lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

19. Lisätietokenttä vedyn **kulutuksen** tarkentamiseen

METANOLI

20. Tuotateko, käytättekö tai muuten hyödynnättekö **metanolia** toiminnassanne Keski-Suomessa?

Tässä huomioidaan sekä tarkoituksella että tarkoituksetta tuotettu tai muodostunut metanoli. Jos on lähitulevaisuuden (5 v) suunnitelmissa niin vastaa "Kyllä" *

- Kyllä
- Ei

21. Ilmoita **tuotettu tai muodostunut** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla?

22. Kuinka näette metanolin **tuotannon tai muodostumisen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin seuraavaan lisätietokenttään.

- Kasvaa reilusti
- Kasvaa
- Pysyy samana
- Vähenee
- Vähenee reilusti

23. Lisätietokenttä metanolin **tuotannon** tarkentamiseen

24. Ilmoita **kulutettu** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla:

25. Kuinka näette metanolin **kulutuksen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin lisätietokenttään.

- Kasvaa reilusti
- Kasvaa
- Pysyy samana
- Vähenee
- Vähenee reilusti

26. Lisätietokenttä metanolin **kulutuksen** tarkentamiseen

METAANI

27. Tuotatteko, käytättekö tai muuten hyödynnättekö **metaania** toiminnassanne Keski-Suomessa?

Tässä huomioidaan sekä tarkoituksella että tarkoituksetta tuotettu tai muodostunut metaani. Jos on lähitulevaisuuden (5 v) suunnitelmissa niin vastaa "Kyllä" *

Kyllä

Ei

28. Ilmoita **tuotettu tai muodostunut** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla?

29. Kuinka näette metaanin **tuotannon tai muodostumisen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin seuraavaan lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

30. Lisätietokenttä metaanin **tuotannon** tarkentamiseen

31. Ilmoita **kulutettu** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla:

32. Kuinka näette metaanin **kulutuksen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

33. Lisätietokenttä metaanin **kulutuksen** tarkentamiseen

AMMONIAKKI

34. Tuotatteko, käytättekö tai muuten hyödynnättekö **ammoniakkia** toiminnassanne Keski-Suomessa?

Tässä huomioidaan sekä tarkoituksella että tarkoituksetta tuotettu tai muodostunut ammoniakki.

Jos on lähitulevaisuuden (5 v) suunnitelmissa niin vastaa "Kyllä" *

Kyllä

Ei

35. Ilmoita **tuotettu tai muodostunut** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla?

36. Kuinka näette ammoniakkin **tuotannon tai muodostumisen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin seuraavaan lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

37. Lisätietokenttä ammoniakkin **tuotannon** tarkentamiseen

38. Ilmoita **kulutettu** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla:

39. Kuinka näette ammoniakkin **kulutuksen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

40. Lisätietokenttä ammoniakkin **kulutuksen** tarkentamiseen

HIILIDIOKSIDI

41. Tuotatteko, käytättekö tai muuten hyödynnättekö **hiilidioksidia** toiminnassanne Keski-Suomessa?

Tässä huomioidaan sekä tarkoituksella että tarkoituksetta tuotettu tai muodostunut hiilidioksidi.

Jos on lähitulevaisuuden (5 v) suunnitelmissa niin vastaa "Kyllä" *

Kyllä

Ei

42. Ilmoita **tuotettu tai muodostunut** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla?

43. Kuinka näette hiilidioksidin **tuotannon tai muodostumisen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin seuraavaan lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

44. Lisätietokenttä hiilidioksidin **tuotannon** tarkentamiseen

45. Ilmoita **kulutettu** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla:

46. Kuinka näette hiilidioksidin **kulutuksen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

47. Lisätietokenttä hiilidioksidin **kulutuksen** tarkentamiseen

HAPPI

48. Tuotatteko, käytättekö tai muuten hyödynnättekö **happea** toiminnassanne Keski-Suomessa?

Tässä huomioidaan sekä tarkoituksella että tarkoituksetta tuotettu tai muodostunut happi.

Jos on lähitulevaisuuden (5 v) suunnitelmissa niin vastaa "Kyllä" *

Kyllä

Ei

49. Ilmoita **tuotettu tai muodostunut** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla?

50. Kuinka näette hapen **tuotannon tai muodostumisen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin seuraavaan lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

51. Lisätietokenttä hapen **tuotannon** tarkentamiseen

52. Ilmoita **kulutettu** määrä (tai arvio määrästä) vuositasolla:

53. Kuinka näette hapen **kulutuksen** kehittyvän toiminnassanne seuraavan 5 vuoden aikana?

Voit avata tarkemmin lisätietokenttään.

Kasvaa reilusti

Kasvaa

Pysyy samana

Vähenee

Vähenee reilusti

54. Lisätietokenttä hapen **kulutuksen** tarkentamiseen

LOPUKSI

55. Vapaa sana aiheesta ja kyselystä:

This content is neither created nor endorsed by Microsoft. The data you submit will be sent to the form owner.

 Microsoft Forms