

Reeta Kivinen

# **EU:N VETYSTRATEGIAN VAIKUTUKSET SUOMEN ENERGIASEKTORILLE**

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Kandidaatintutkielma  
Tarkastaja: Kalle Ruuth  
Huhtikuu 2026

# TIIVISTELMÄ

Reeta Kivinen: EU:n vetystrategian vaikutukset Suomen energiasektorille  
Kandidaatintutkielma  
Tampereen yliopisto  
Energiamurroksen tutkinto-ohjelma  
Huhtikuu 2026

---

Ilmastonmuutoksen hillintä ja energiajärjestelmän kestävyuden parantaminen ovat nousseet keskeisiksi tavoitteiksi Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikassa. Euroopan unioni on sitoutunut saavuttamaan ilmastoneutraaliuden vuoteen 2050 mennessä. Tähän pääseminen edellyttää merkittäviä muutoksia energian käytössä ja tuotannossa EU:n jäsenmaissa. Vetyä pidetään yhtenä keskeisenä ratkaisuna osana energiamurrosta erityisesti sektoreilla, joita on vaikea sähköistää suoraan, kuten teollisuudessa, liikenteessä ja energian varastoinnissa. Tämän kehityksen edistämiseksi EU julkaisi vuonna 2020 vetystrategian, jonka tavoitteena on lisätä uusiutuvalla energialla tuotetun vedyn käyttöä.

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastellaan EU:n vetystrategian vaikutuksia Suomen energiasektorille. Tutkielmassa analysoidaan strategian vaikutuksia Suomen energiantuotannon rakenteeseen, investointeihin sekä energiasektorin tulevaisuuden kehityssuuntiin. Lisäksi työssä tarkastellaan vetytalouden haasteita ja mahdollisuuksia Suomessa, huomioiden maan vähäpäästöinen sähköntuotanto sekä kasvavan uusiutuvan energian rooli ja potentiaali.

Tutkielma perustuu kirjallisuuskatsaukseen, jossa tarkastellaan EU:n energiapolitiikkaa, vetytalouden kehitystä sekä Suomen energiasektorin nykytilaa. Analyysissä huomioidaan strategian poliittiset, taloudelliset, teknologiset ja sektorisidonnaiset vaikutukset sekä mahdolliset muutokset energiajärjestelmän rakenteessa. Työssä ei käsitellä yksityiskohtaisesti vedyn tuotantoteknologioita tai loppukäyttösovelluksia.

Tulosten perusteella EU:n vetystrategia voi tarjota merkittäviä mahdollisuuksia energiasektorin kehittämiseen erityisesti uusiutuvan sähköntuotannon, vedyntuotannon ja -viennin näkökulmasta. Samalla vetytalouden kehitykseen liittyy kuitenkin merkittäviä teknologisia, taloudellisia ja infrastruktuuriin liittyviä epävarmuuksia. Nämä vaikuttavat siihen, kuinka merkittävässä roolissa vety tulee olemaan Suomen tulevaisuuden energiajärjestelmässä.

Avainsanat: vetystrategia, energiamurros, vety, uusiutuvat energianlähteet, vetytalous

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla

# TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia: ChatGPT, M365 Copilot

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: ChatGPT 5 ja M365 Copilot GPT-5 malli

Käyttötarkoitus: Olen käyttänyt tekoälyä rakenteen suunnittelussa, ideoinnin apuna ja tekstin hiomisessa.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: Kappaleet 1–6

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. EU:N VETYSTRATEGIA.....	3
2.1 Keskeiset politiikkatoimet.....	4
2.2 Keskeiset ohjauskeinot.....	5
2.3 Vetytalouden aikataulu ja investointitavoitteet.....	7
3. SUOMEN ENERGIASEKTORIN NYKYTILA .....	10
3.1 Energiantuotannon rakenne Suomessa.....	10
3.2 Uusiutuvan energian rooli .....	12
3.3 Vedyn tuotanto ja olemassa olevat hankkeet Suomessa .....	13
3.4 Sääntely- ja markkinaympäristö.....	16
4. EU:N VETYSTRATEGIAN VAIKUTUKSET SUOMEEN .....	18
4.1 Poliittiset vaikutukset .....	19
4.2 Taloudelliset vaikutukset.....	20
4.3 Teknologiset vaikutukset .....	22
4.4 Sektorisidonnaiset vaikutukset.....	23
5. HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET SUOMEN VETYTALOUESSA.....	27
5.1 Keskeiset haasteet .....	27
5.1.1 Sähkön saatavuus ja korkeahintataso.....	28
5.1.2 Taloudelliset ja teknologiset riskit.....	29
5.1.3 Infrastruktuurin puutteet .....	31
5.1.4 Sääntelyn epävarmuus ja sertifiointi.....	32
5.2 Keskeiset mahdollisuudet .....	34
5.2.1 Suomen kilpailukykyinen sähköntuotanto.....	35
5.2.2 Vientimahdollisuudet ja kasvava markkinakysyntä .....	36
5.2.3 Suomen asema EU:n vetytalouden edelläkävijänä.....	37
6. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	39

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

IPCEI	Important Project of Common European Interest
FF55	Fit For 55
RFNBO	Renewable Fuels of Non-Biological Origin
CCUS	Carbon Capture, Utilization and Storage
PCI	Projects Of Common Interest
EHB	European Hydrogen Bank
NHR	Nordic Hydrogen Route
NBHC	Nordic-Baltic Hydrogen Corridor
BSHC	Baltic Sea Hydrogen Collector
P2X	Power-to-X

# 1. JOHDANTO

Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikka on tiukentunut merkittävästi viime vuosien aikana. Tavoitteena on hillitä ilmastonmuutosta sekä parantaa energiajärjestelmän kestävyyttä. Keskeisenä tavoitteena EU on sitoutunut saavuttamaan ilmastoneutraaliuden vuoteen 2050 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttaminen edellyttää laajaa energiamurrosta, sillä päästöjen vähentämiseen on pyrittävä kaikilla talouden sektoreilla.

Yksi keskeinen osa tätä energiamurrosta on vedyn hyödyntäminen sektoreilla, jotka ovat vaikea suoraan sähköistää. Näitä sektoreita ovat erityisesti teollisuus, liikenne ja energian varastointi. EU:n vetystrategia hyväksyttiin heinäkuussa vuonna 2020, ja kaikkien 20 toimenpidekohtaa oli otettu käyttöön vuoden 2022 ensimmäiseen neljännekseen mennessä [1]. Strategiassa määritellään tavoitteet uusiutuvalla energialla tuotetun vedyn käyttöönotolle sekä vedyn rooli niin kutsutussa vihreässä siirtymässä.

Vetystrategian synnyn taustalla on tarve vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä vahvistaa energiaomavaraisuutta tilanteessa, jossa geopoliittiset ja taloudelliset haasteet ovat korostuneet entisestään. Energiamurros ei ole ainoastaan teknologinen muutos, vaan siihen liittyy merkittäviä poliittisia ja taloudellisia näkökulmia. Ohjauskeinot, sääntely ja investoinnit ovat keskeisessä asemassa murroksen toteutumisessa. Suomessa sähköntuotanto on jo suurelta osin vähäpäästöistä, ja vetystrategian odotetaan vaikuttavan merkittävästi energiasektorin kehitykseen tulevien vuosien ja vuosikymmenten aikana.

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastellaan EU:n vetystrategian vaikutuksia Suomen energiasektorille. Työn tavoitteena on selvittää, miten EU:n vetystrategia vaikuttaa Suomen energiasektorin rakenteeseen ja kehityssuuntiin. Tutkielmassa tarkastellaan strategian poliittisia, taloudellisia ja energiantuotannon rakenteellisia vaikutuksia Suomessa sekä niihin liittyviä haasteita sekä mahdollisuuksia. Tutkielmassa ei käsitellä yksityiskohtaisesti vedyn tuotantoprosesseja tai loppukäyttösovelluksia.

Työn rakenne on seuraava: Luvussa 2 käsitellään laajemmin EU:n vetystrategiaa. Luvussa 3 käsitellään Suomen energiasektorin nykytilaa. Luvussa 4 esitetään EU:n vetystrategian vaikutuksia Suomessa. Luvussa 5 analysoidaan keskeisiä haasteita ja mahdollisuuksia. Luvussa 6 esitetään tutkielman johtopäätökset ja yhteenveto.



## 2. EU:N VETYSTRATEGIA

EU:n vetystrategian myötä syntyvä vetytalous tulee olemaan keskeisessä roolissa tulevaisuuden energijärjestelmässä etenkin seuraavien vuosien ja vuosikymmenten aikana. Sen merkitys korostuu erityisesti ilmastonmuutoksen torjunnassa, energian varastoinnissa ja fossiilisten polttoaineiden korvaamisessa synteettisillä polttoaineilla. Vedyn hyödyntäminen mahdollistaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen, sillä vedyn käytöstä energiantuotannossa ei synny hiilidioksidipäästöjä.

Energian varastoinnin merkitys kasvaa uusiutuvan energiantuotannon kasvaessa. Uusiutuvan energian tuotantomuotojen haasteena on kuitenkin niiden epäsäännöllisyys ja vaikea ennustettavuus, koska sen saatavuus riippuu sääolosuhteista. Vedyn avulla voidaan tasata tätä tuotannon vaihtelua, sillä ylimääräinen sähkö voidaan käyttää vedyn tuotantoon ja varastoida myöhempää käyttöä varten.

Synteettiset polttoaineet ovat myös tärkeä osa hiilineutraalia energijärjestelmää, sillä niiden avulla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Esimerkiksi E-metaania ja E-metanolia voidaan tuottaa vedystä ja hiilidioksidista, jolloin osana polttoaineiden valmistusta voidaan hyödyntää hiilidioksidin talteenottoa. Puolestaan E-ammoniakkia tuotetaan vedystä ja typestä, joka saadaan erotettua ilmasta. Lisäksi Fischer-Tropsch-synteesin avulla voidaan tuottaa synteettisiä polttoaineita vedystä ja hiilimonoksidista, jota voidaan valmistaa hiilidioksidista. [2]

EU:n vetystrategia sai alkunsa ilmasto- ja energiapoliittisten tavoitteiden seurauksena. Tavoitteeksi on asetettu, että EU saavuttaa ilmastoneutraaliuuden vuoteen 2050 mennessä. Tämä tarkoittaa, että päästöjä voidaan tuottaa korkeintaan yhtä paljon kuin niitä vähennetään esimerkiksi hiilinielujen avulla. [3] Ilmastoneutraaliuden saavuttaminen edellyttää merkittäviä päästövähennyksiä kaikilla talouden sektoreilla. Vety tarjoaa tähän potentiaalisen ratkaisun erityisesti sektoreilla, jotka ovat vaikea suoraan sähköistää. EU:n vetystrategiassa korostetaan erityisesti uusiutuvalla energialla tuotetun vedyn merkitystä energiamurroksessa.

Tässä luvussa käsitellään vetystrategian keskeisiä politiikkatoimia, ohjauskeinoja sekä aikataulu- ja investointitavoitteita. Näillä kaikilla tekijöillä on hyvin vahva merkitys strategian toteutumiselle sekä, sille kuinka hyvin EU saavuttaa asettamansa ilmastotavoitteet.

## 2.1 Keskeiset politiikkatoimet

EU:n vetystrategiaan ja sen toteutukseen kuuluu useita toisiaan täydentäviä politiikkatoimia. Kaikkien näiden tavoitteena on vauhdittaa vedyn tuotantoa sekä käyttöönottoa koko Euroopassa.

Fit For 55-paketti sisältää 13 lainsäädäntöehdotusta, joiden avulla EU voisi vähentää päästöjä. Näistä ehdotuksista kahdeksan eivät ole täysin uusia, mutta ne vahvistavat jo olemassa olevaa lainsäädäntöä. Tämän FF5-paketin ehdotusten avulla EU:n mahdollisuudet ilmastoneutraaliuuden saavuttamisessa vahvistuvat ja kestävä kasvu jatkuu. [4] Tämä paketti ohjaa merkittävästi energiajärjestelmää ja esimerkiksi teollisuuden toimintaympäristöä kohti vähäpäästöisiä ratkaisuja. Se ei kuitenkaan keskity ainoastaan vedyn tukemiseen, vaan pyrkii ohjaamaan markkinoita kohti ilmastoneutraalia tulevaisuutta. Tämä vahvistaa investointien ennakoitavuutta ja kannattavuutta etenkin pitkällä aikavälillä. Paketin käyttöönotto edellyttää EU:n jäsenmailta johdonmukaisuutta, mikä voi vaikuttaa esimerkiksi vetymarkkinoiden kehityksen nopeuteen. Vaikka FF5-paketti toimii keskeisenä osana EU:n vetytalouden edistämistä, se ei yksinään riitä sen toteuttamiseen.

REPowerEU on strategia, jonka päätavoite on vähentää Euroopan riippuvuutta Venäjän maakaasusta. Tavoitteena on vahvistaa Euroopan energiaturvallisuutta ja edistää vihreää siirtymää, sillä fossiilisia polttoaineita pyritään korvaamaan uusiutuvilla tai vähähiilillä energianlähteillä. Strategiassa on asetettu kunnianhimoiset tavoitteet vedyn käyttöönotolle, sillä sen mukaan vuoteen 2030 mennessä noin 27 miljardia kuutiometriä Venäjältä tullutta kaasua pystytään korvaamaan 15 miljoonalla tonnilla uusiutuvaa vetyä. [5] Strategia kytkee vetypolitiikan entistä vahvemmin myös osaksi geopoliittista ja turvallisuuspoliittista näkökulmaa, sillä vety nähdään myös strategisena ratkaisuna energiariippuvuuden vähentämisessä. Samalla strategia voi nopeuttaa vetymarkkinoiden syntyä luoden poliittista kiireellisyyttä, antaen myös varmuuden kysynnästä. Turvallisuuden näkökulma voi myös mahdollisesti lisätä jäsenmaiden sitoutumista investointeihin, mikä voi osaltaan vauhdittaa uusiutuvan vihreän vedyn kaupallista läpimurtoa.

Important Projects of Common European Interest-hankkeet ovat EU-maiden yhteisiä hankkeita, joiden pohjimmaisena tavoitteena on edistää EU:n strategisia tavoitteita, sekä vahvistaa teollisuuden kilpailukykyä, talouskasvua ja työllisyyttä. [6] IPCEI-hankkeet ovat merkittävässä roolissa EU:n vetystrategian toimeenpanossa, sillä ne mahdollistavat laajamittaisen rahoitustuen keskeisille investoinneille. Rahoitusta voidaan kohdentaa esimerkiksi elektrolyyssereiden ja vedyn tuotantolaitosten rakentamiseen sekä

kehittämiseen. Lisäksi rahoitusta suunnataan tutkimukseen, infrastruktuuriin ja innovaatioihin, jotka ovat merkittävässä roolissa vetytalouden kehittymisen kannalta.

Yksi vetystrategian keskeisimmistä politiikkatoimista on sertifiointi. Sen tarkoituksena on varmistaa, että vedyn tuotanto täyttää EU:n asettamat kestävyyskriteerit ja päästövaatimukset. Sertifiointin avulla voidaan todentaa esimerkiksi vedyn hiilijalanjälki sekä jäljittää vety tuotannosta loppukäyttöön. Yhdenmukaisten sertifiointijärjestelmien avulla voidaan luoda toimivat ja luotettavat vetymarkkinat. [7]

Vihreää vetyä koskevassa sertifikaatissa otetaan huomioon kasvihuonepäästöt sekä EU:n muut lainsäädännön kestävyysvaatimukset. EU:n sääntelyn mukaan vety voidaan luokitella uusiutuvaksi RFNBO-polttoaineeksi, jos sen tuotanto on vähintään 70 % vähäpäästöisempää kuin fossiilisesti tuotettu. EU rahoittaa vain RFNBO vaatimusten mukaista vedyn tuotantoa ja valtiontuki voi myös useassa tilanteessa riippua tästä sertifiointista, joten myös tuen ja investointien takia sertifiointi on tärkeässä roolissa. [8] Sertifiointi ei ole ainoastaan tekninen hallinnollinen väline, vaan hyvin keskeinen osa EU:n vetypolitiikan uskottavuutta, investointien ohjausta sekä markkinoiden toimivuutta.

Edellä esitetyt politiikkatoimet muodostavat keskeisen perustan vetytalouden kehitykselle. Lainsäädäntö, rahoitusmekanismit ja sertifiointijärjestelmät ohjaavat sekä investointeja että markkinoiden kehittymistä. Näiden politiikkatoimien vaikutukset kohdistuvat energiasektorin kehitykseen ja vetytalouden mahdollisuuksiin.

## **2.2 Keskeiset ohjauskeinot**

EU:n vetystrategian keskeiset ohjauskeinot koostuvat selkeistä ja määrällisistä tavoitteista, vahvasta sääntelykehyksestä sekä taloudellisista tukimekanismeista. Nämä yhdessä muodostavat strategian välineistön, joiden avulla pyritään edistämään vetystrategian käyttöönottoa.

Strategian selkeät määrälliset tavoitteet toimivat päätöksenteon perustana, samalla antaen markkinoille suuntaa siitä, mihin investointeja tarvitaan. REPowerEU-strategiassa hyvin kunnianhimoiseksi tavoitteeksi asetettiin tuottaa uusiutuvaa vetyä 10 miljoonaa tonnia sekä tuoda 10 miljoonaa tonnia vuoteen 2030 mennessä. [9] Tätä tavoitetta edistää vetystrategiassa asetettu tavoite 40 GW:n elektrolyysikapasiteetista vuoteen 2030 mennessä [10].

Tavoitteet eivät kuitenkaan ainoastaan koske kapasiteetin ja tuotannon määrää. EU on lisäksi asettanut tavoitteen, että uusiutuva vety kattaa noin 10 % EU:n energiankulutuksesta vuoteen 2050 mennessä. Tämä myös mahdollistaa vaikeasti

sähköistettävien sektoreiden kuten teollisuuden ja liikenteen päästöjen vähentämisen. [9]

Selkeästi esitettyjen määrällisten tavoitteiden ansiosta EU saa myös viestittyä jäsenmailleen omasta sitoutumisesta vetymarkkinoiden pitkäjänteisestä rakentamisesta. Näiden tavoitteiden avulla myös investointiriskit pystytään minimoimaan ja yksityiset toimijat, kuten esimerkiksi yritykset voivat ennakoita omaa toimintaansa sekä kehittää sitä EU:n tavoitteiden suuntaiseksi.

Selkeiden tavoitteiden rinnalle EU on luonut kattavan sääntelykehiksen, joka on osana FF5-pakettia. Yhtenä keskeisenä osana tätä kehystä on vedyn ja vähähiilisen kaasun markkinapaketti, jonka avulla tuetaan vedylle tarkoitetun optimaalisen infrastruktuurin ja toimivien vetymarkkinoiden luomista. Toinen merkittävä sitova tavoite on uusiutuvan energian direktiivi, jossa asetetaan tavoitteet vedyn käyttöönotolle teollisuudessa ja liikenteessä vuoteen 2025 mennessä. [9]

Lisäksi sääntely koskee vedyn määrittelmää ja laatua. Vuonna 2023 hyväksyttiin kaksi uusiutuvaa vetyä koskevaa säädöstä. Ensimmäinen säädös koskee ei-biologista alkuperää olevia polttoaineita ja määrittelee kriteerit uusiutuvalla vedylle. Toinen säädös puolestaan esittelee järjestelmän elinkaaripäästöjen laskemiseksi, jotta kasvihuonepäästöjä voidaan vähentää direktiivin mukaisesti. Lisäksi heinäkuussa 2025 EU hyväksyi säädöksen, jossa otettiin käyttöön laaja menetelmä vähähiilisen vedyn ja polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen laskemiseksi. Sen mukaan vetyä ja sen johdannaispolttoaineita voidaan pitää vähähiilisinä, jos ne saavuttavat 70 prosentin päästövähennyskynnyksen. [9]

Sääntelyllä pyritään varmistamaan, että vetymarkkinat voivat syntyä ja toimia tehokkaasti. Yhtenäiset säännöt lisäävät markkinoiden läpinäkyvyyttä, helpottavat infrastruktuurin kehittämistä sekä luovat edellytykset avoimelle kilpailulle. Tämä lisää markkinoiden ennakoitavuutta ja vahvistaa eri toimijoiden luottamusta vetytalouden kehitykseen.

Vetytalouden ollessa vielä alkuvaiheessa taloudelliset tukimekanismit ovat merkittävässä ja ratkaisevassa roolissa markkinoiden syntyisessä sekä kehittämisessä. Vuonna 2022 Euroopan komissio perusti Euroopan vetypankin (EHB), jonka tavoitteena on tukea vetymarkkinoiden syntyä. EHB:lla on mahdollisuus investoida 3 miljardia euroa Euroopan uusiutuvan vedyn tuotannon edistämiseksi. Tukien jakaminen perustuu huutokaupamalliin. Kahdessa ensimmäisessä huutokaupassa se on myöntänyt yhteensä yli 1,7 miljardia euroa. EHB:n rinnalle on otettu käyttöön myös muita rahoitusmekanismeja, kuten esimerkiksi innovaatorahasto, jonka avulla voidaan

rahoittaa esimerkiksi teknologioiden kehittämistä. Lisäksi IPCEI luokiteltuja hankkeita tuetaan EU:n valtiontuella. [11]

Yksi keskeinen väline vetymarkkinoiden kehittämisessä on myös järjestelmä, joka yhdistää markkinoiden kysynnän ja tarjonnan. Tätä on tarkoitus hyödyntää erityisesti siihen, että vedyn tuottajat voidaan yhdistää vaikeasti sähköistettävien sektoreiden loppukäyttäjiin. Tämän avulla pyritään ratkaisemaan kysynnän puute, sillä tuottajien vetyhankkeet ovat jääneet monesti suunnitteluvaiheeseen, kun tuottajat ja kuluttajat eivät ole saaneet kauppoja aikaiseksi. [12]

EU:n vetystrategian ohjauskeinot muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden. Tavoitteiden avulla luodaan suuntaa vetytaloudelle sekä markkinoille. Sääntelyn avulla voidaan varmistaa markkinoiden avoin toiminta, yhdenmukaisuus sekä toimivuus. Taloudellisten tukimekanismien avulla pystytään ratkaisemaan etenkin alkuvaiheen investointihaasteita ja kehittämään teknologioita toimiviksi. Yhdessä nämä kaikki keinot nopeuttavat vetytalouden kehitystä, samalla varmistaen EU:n kilpailukykyyn globaalissa energiamurroksessa.

### **2.3 Vetytalouden aikataulu ja investointitavoitteet**

EU:n vetystrategiassa esitetään kolmivaiheinen etenemissuunnitelma vetytalouden kehittämiseksi. Vaiheet ovat jaettu vuosille 2020–2050. Näiden vuosien aikana EU:n tarkoituksena on saavuttaa ilmastoneutraalius. Vaiheiden jälkeen vedyn on tarkoitus olla merkittävässä roolissa osana energijärjestelmää.

Ensimmäinen vaihe ajoittui vuosille 2020–2024. Tänä aikana tavoitteena oli rakentaa EU:n alueelle vähintään 6 gigawatin edestä uusiutuvan vedyn elektrolyysikapasiteettia. Tällä kapasiteetilla saataisiin tuotettua noin miljoona tonnia vetyä. Lisäksi tavoitteena oli laajentaa elektrolyysien valmistusta jopa 100 megawattiin sekä hyödyntää tuotettua vetyä pääosin paikallisesti esimerkiksi vetytankkausasemilla ja teollisissa kohteissa. Lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä strategiassa huomioidaan vähähiilisen vedyn tarve. Sen hyödyntäminen edellyttää CCUS-infrastruktuurin käyttöönottoa, joka sisältää hiilidioksidin talteenottoon, hyödyntämiseen ja varastointiin liittyvät menetelmät ja teknologiat [13]. Lisäksi vedyn sekoittamista maakaasuun on tarkasteltu yhtenä mahdollisena ratkaisuna jakeluverkkojen hyödyntämiseksi siirtymävaiheessa [10].

Toinen vaihe sijoittuu vuosille 2025–2030. Tässä vaiheessa tarkoituksena on kasvattaa uusiutuvan vedyn elektrolyysilaitteistoa 40 gigawattiin. Tämän kapasiteetin avulla saataisiin tuotettua 10 miljoonan tonnin edestä uusiutuvaa vetyä, mikä on

kymmenenkertainen määrä ensimmäiseen vaiheeseen verrattuna. Vedyn hyödyntämisen avulla saadaan vähennettyä hiilidioksidipäästöjä erityisesti raskaassa liikenteessä ja teollisuudessa. Tämän lisäksi sitä voidaan myös hyödyntää varastona, joka tuo joustoa energiajärjestelmään. Tämän kehityksen mahdollistamiseksi on kuitenkin välttämätöntä kehittää vedyn kuljetus- ja jakeluinfrastruktuuria. Infrastruktuurin kehittäminen mahdollistaa vedyn kansainvälisen kaupan laajenemisen. EU:n tavoitteena on luoda kilpailukykyiset vetymarkkinat, joissa vetyä voidaan hyödyntää laajasti eri sektoreilla. [10]

Kolmas vaihe sijoittuu hieman laajemmalle aikavälille, sillä se on kohdistettu vuosille 2030–2050. Tällöin uusiutuvan vedyn tuotantoteknologioiden odotetaan olevan valmiita ja laajamittaisessa käytössä. Vetyä sekä siitä johdettuja synteettisiä polttoaineita hyödynnettäisiin erityisesti sektoreilla, joilla päästöjen vähentäminen on muuten haastavaa. Arvioiden mukaan mahdollisesti jopa neljännesosa EU:n uusiutuvan sähkön tuotannosta hyödynnettäisiin tulevaisuudessa vedyn tuotantoon. [10] Tämä edellyttää uusiutuvan sähkön tuotantokapasiteetin kasvattamista, jotta vedyn tuotanto voidaan toteuttaa kestävästi.

EU:n vetystrategiassa esitetään myös vetyalan investointitarpeet tavoitteiden saavuttamiseksi. Taulukossa 1 on esitetty keskeiset investointitarpeet. Tästä voidaan huomata, että vuoteen 2030 mennessä investointeja tarvittaisiin vähintään 320 miljardia euroa. Taulukossa 2 puolestaan on esitetty vedyn tuotannon kumulatiiviset investointitarpeet vuoteen 2030 mennessä, josta voidaan huomata, että uusiutuvan vedyn kumulatiiviset investointitarpeet ovat huomattavasti suuremmat. On myös arvioitu, että puhdas vety voisi vuoteen 2050 mennessä kattaa jopa 24 % maailman energiatarpeesta. Myyntituloja tästä voitaisiin arvion mukaan saada 630 miljardia euroa vuodessa. [10]

**Taulukko 1.** Investointitarpeet vuoteen 2030 mennessä [10].

Investointikohde	Investointitarve (mrd €)
Elektrolyysilaitteisto	24–42
Uusiutuvan energian tuotanto	220–340
Hiilidioksidin talteenotto- ja varastointiteknologiat	11
Vedyn jakeluverkot	65

**Taulukko 2.** Vedyn tuotannon kumulatiiviset investointitarpeet vuoteen 2030 mennessä [10].

Vedyn tuotantotyyppi	Investointitarve (mrd €)
Uusiutuva vety	180–470
Vähähiilinen fossiilinen vety	3–18

Voidaan todeta, että elektrolyysikapasiteetin kasvattaminen on keskeinen tavoite strategian kaikissa vaiheissa. Samalla vedyn infrastruktuurin suunnittelu, kehittäminen ja rakentaminen ovat ratkaisevassa roolissa vetytalouden toteutumisessa. Strategian tavoitteiden saavuttaminen edellyttää pitkäjänteistä politiikkaa, teknologista kehitystä sekä merkittäviä investointeja. Arvioiden mukaan vetytalouden investoinnit voivat kuitenkin tuoda huomattavaa taloudellista hyötyä pitkällä aikavälillä. Samalla ne tukevat EU:n ilmastoneutraaliustavoitetta sekä kestäväen energijärjestelmän kehittämistä.

### 3. SUOMEN ENERGIASEKTORIN NYKYTILA

Ilmastonmuutos on haastanut globaalisti energiantuotantoa, sillä fossiilisten polttoaineiden käytöstä on pyrittävä luopumaan. Suomen energiasektori on tällä hetkellä murrosvaiheessa, jossa päästövähennystavoitteet, sähköistyminen ja uusiutuvien energialähteiden lisääntyvä käyttö muokkaavat energijärjestelmän rakennetta sekä toimintaa.

Viime vuosien aikana Suomessa on tehty merkittäviä investointeja etenkin tuulivoimaan ja ydinvoimaan. Nämä investoinnit ovat vahvistaneet Suomen energiaomavaraisuutta ja tukeneet siirtymää kohti vähäpäästöistä energijärjestelmää. Samalla energiantuotantorakenne on monipuolistunut ja energiamarkkinoiden toimintaympäristö on muuttunut. Vedyn hyödyntäminen Suomessa on toistaiseksi vielä rajallista, mutta vetystrategian olisi tarkoitus vauhdittaa sen käyttöönottoa tulevina vuosina.

Vuoden 2025 Suomen energiatilastojen mukaan sähköntuotanto oli lähes fossiilitonta, kaukolämmön päästöt ovat tippuneet melkein kolmanneksella, ja sähkön hinta Suomessa on ollut Euroopan alhaisimpia. Tämä kertoo siitä, että sähkömarkkinat toimivat Suomessa tehokkaasti sekä päästöt vähenevät tavoitteiden mukaisesti. Sähkön kulutus kasvoi noin kaksi terawattituntia edellisvuoteen verrattuna. [14]

Sähkön kulutuksen odotetaan kasvavan edelleen, kun myös teollisuutta ja liikennettä sähköistetään laajemmin. Tämän seurauksena tuotantokapasiteettia on lisättävä merkittävästi, jotta kasvava energiantarve voidaan kattaa kestävällä tavalla.

Tässä luvussa tarkastellaan Suomen energiasektorin nykytilaa useasta näkökulmasta. Käsittelyssä on energiantuotannon rakenne Suomessa, uusiutuvien energialähteiden merkitys, vedyn tuotannon kehitys sekä toimintaympäristön markkinat ja sääntely. Lisäksi arvioidaan Suomen vahvuuksia ja haasteita vetytalouden kannalta.

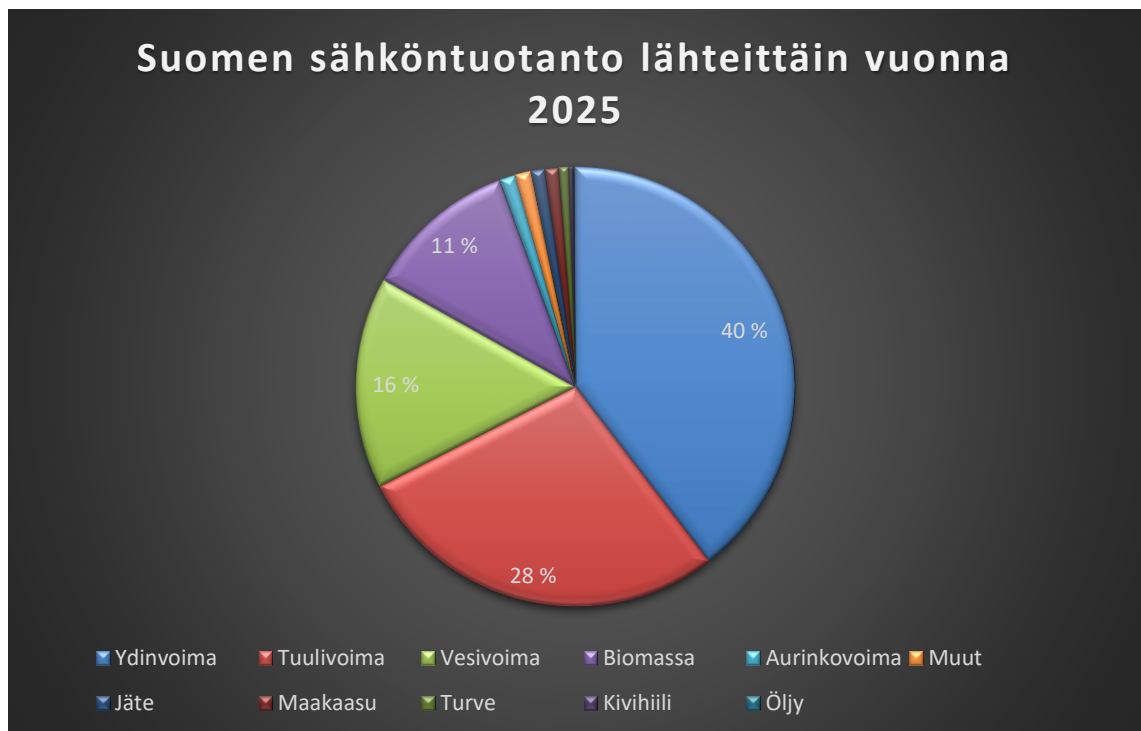
#### 3.1 Energiantuotannon rakenne Suomessa

Suomen energiantuotanto on ollut jo hyvin pitkään todella monipuolinen. EU:n tavoitteet kasvihuonekaasujen vähentämisestä, energiatehokkuuden parantamisesta ja uusiutuvan energian lisäämisestä on myös ohjannut vahvasti Suomen energiantuotannon rakenteen kehitystä viime vuosien aikana. Tällä hetkellä tavoitteena

on saavuttaa vuoteen 2030 mennessä 55 prosentin päästövähennykset sekä kasvattaa uusiutuvan energian osuus 45 prosenttiin energiankulutuksesta.

Suomen energiantuotanto on lähes jo saavuttanut nämä tavoitteet. Vuonna 2025 tuotetusta sähköstä 96 prosenttia oli hiilidioksidineutraalia sekä sähköntuotannosta 57 prosenttia tuotettiin uusiutuvalla energialla. Kaukolämmön tuotannossa fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus vähenee koko ajan, vuonna 2025 se oli vain 13 prosenttia. [15]

Suomen energiantuotannon rakenne on siten jo lähes fossiiliton. Kehitystyön on kuitenkin jatkettava, jotta päästään täysin fossiilittomaan tuotantoon. Tavoitteen saavuttamiseksi on lisättävä uusiutuvan energian ja ydinvoiman käyttöä, korvattava fossiilisia polttoaineita sähköistymisen avulla sekä kehittää energiajärjestelmän joustavuutta esimerkiksi energiavarastojen avulla. Lisäksi vihreän vedyn käyttöönoton odotetaan lisäävän energiajärjestelmän mahdollisuuksia vähentää päästöjä erityisesti teollisuudessa. Kuvassa 1 on esitetty Suomen sähköntuotanto lähteittäin vuonna 2025.



**Kuva 1:** Suomen sähköntuotanto lähteittäin vuonna 2025 [16].

Kuvasta 1 voidaan nähdä, että suurimmat tuotantotavat olivat vuonna 2025 ydinvoima, tuulivoima ja vesivoima. Näistä etenkin tuulivoiman rooli on kasvanut viime aikoina voimakkaasti, kun taas vesivoiman rooli sähköntuotannossa vaihtelee hyvin paljon vesitilanteen mukaan. Näiden tuotantotapojen yhdistelmän ansiosta energiajärjestelmä toimii suhteellisen vakaasti ja joustavasti.

Ydinvoima tarjoaa vakautta energiajärjestelmään, kun taas uusiutuvat energianlähteet, kuten tuuli- ja vesivoima lisäävät tuotannon joustavuutta. Tarvittaessa sähköntuotantoa voidaan täydentää muilla tuotantomuodoilla, mikä auttaa varmistamaan energian riittävyyden eri tilanteissa.

Uusiutuvalla energialla on keskeinen rooli myös vihreän vedyn tuotannossa. Suomessa tuulisimmat alueet sijaitsevat erityisesti rannikoilla ja Lapissa, minkä vuoksi vedyn tuotanto saattaa tulevaisuudessa sijoittua näille alueille uusiutuvan energian hyvän saatavuuden vuoksi. Samalla kuitenkin energiantuotannon kapasiteettia on kasvatettava merkittävästi, jotta sähköistymisen ja vedyn tuotannon lisäämä energiankulutus voidaan kattaa luotettavasti.

Suomen energiantuotantoa on kehitettävä jatkuvasti ja sen kapasiteettia on lisättävä tulevana vuosina. Teollisuuden sähköistyminen, vetytalouteen liittyvät hankkeet ja datakeskusten lisääntyminen kasvattavat energian kysyntää merkittävästi. Samalla myös toimitusvarmuus on pidettävä korkealla tasolla, mikä lisää tarvetta esimerkiksi sähköverkkojen vahvistamiselle ja energian varastointiratkaisuille.

### **3.2 Uusiutuvan energian rooli**

Uusiutuvan energian merkitys on kasvanut merkittävästi erityisesti ilmastonmuutoksen torjunnan seurauksena. Sen avulla voidaan vähentää kasvihuonepäästöjä sekä samalla vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Suomi kuuluu tällä hetkellä uusiutuvien energian hyödyntämisessä Euroopan johtaviin maihin. Uusiutuvan energian lisäämisellä on myös merkittävä vaikutus Suomen talouteen, sillä se kasvattaa työllisyyttä ja teknologioiden kehitystä samalla vahvistaen energiaomavaraisuutta. [17]

Suomessa keskeisimpiä uusiutuvia energialähteitä ovat tuulivoima, vesivoima, bioenergia ja maalämpö. Näistä etenkin tuulivoiman tuotantokapasiteetti on kasvanut nopeasti viime vuosien aikana. [17]

Suomen kansallisten energia- ja ilmastopoliittisten linjausten lisäksi uusiutuvan energian hyödyntämiseen vaikuttavat myös vahvasti EU:ssa tehdyt päätökset ja direktiivit [18]. EU:n sääntely ohjaa jäsenmaiden energiapolitiikkaa sekä uusiutuvan energian käyttöönottoa, minkä vuoksi se on huomioitava kansallisia päätöksiä tehdessä.

Uusiutuvista energiantuotantomuodoista erityisesti tuulivoiman odotetaan muodostavan vetytalouden perustan Suomessa, ja monet hankkeet ovat riippuvaisia sen saatavuudesta. Sen laajamittainen hyödyntäminen siirtää samalla Suomen

energiasektorin painopistettä kohti joustavampaa järjestelmää, jossa vety voi toimia energian varastointimuotona sekä teollisuuden raaka-aineena.

2020-luvulla tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti. Tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta yli 50 prosenttiin. Vuonna 2024 sen osuus energian loppukulutuksesta oli jo yli 40 prosenttia. [17] Uusiutuvien energialähteiden osuus energian kokonaiskulutuksesta on Suomessa yksi maailman korkeimmista [19].

Uusiutuvan energian kasvava merkitys liittyy kolmeen strategiseen tavoitteeseen, jotka ovat ilmastoneutraalius, energiaomavaraisuus ja taloudellinen kilpailukyky. Suomi on sitoutunut saavuttamaan ilmastoneutraaliuden vuoteen 2035 mennessä [15]. Energiaomavaraisuuden vahvistamisen avulla voidaan katkaista riippuvuus tuontienergiasta ja mahdollistaa energian tuottaminen kotimaisilla resursseilla. Samalla myös runsas puhtaan energian saatavuus voi lisätä Suomen houkuttelevuutta investointikohteena. Tästä hyvänä esimerkkinä on Googlen miljardin euron investointi suomalaiseseen datakeskukseen runsaan uusiutuvan energian saatavuuden ansiosta [20].

### **3.3 Vedyn tuotanto ja olemassa olevat hankkeet Suomessa**

Vihreää eli uusiutuvaa vetyä tuotetaan elektrolyysereillä, joissa vettä hajotetaan uusiutuvasti tuotetun sähkön avulla hapeksi ja vedyksi. Suomessa vetyä hyödynnetään esimerkiksi öljyn ja metallien jalostuksessa, kemianteollisuudessa sekä kaivosteollisuudessa. Tällä hetkellä vedyn tuotanto Suomessa on noin 15–200 kilotonnia vuodessa. Tuotannosta suurin osa perustuu höyryreformointiin (174 kilotonnia), minkä lisäksi vetyä syntyy teollisuuden sivuvirroissa noin 23 kilotonnia sekä elektrolyysereillä noin 1,8 kilotonnia vuodessa. [21]

Vihreän vedyn tuotannon odotetaan kasvavan merkittävästi tulevina vuosina. Suomen arvioidaan voivan tuottaa jopa noin 10 prosenttia EU:n vihreästä vedystä vuonna 2030. [22]

Suomen ensimmäinen vihreän vedyn tuotantolaitos on P2X Solutionsin Harjavallassa sijaitseva laitos, jossa tuotanto käynnistyi helmikuussa 2025. Tämän laitoksen lisäksi Suomessa on kymmeniä esisuunnittelu- ja suunnitteluvaiheessa olevia tuotantolaitoksia. [21] Taulukossa 3 on esitetty esimerkkejä Suomessa toimivista vedyntuotantoon liittyvistä laitoksista ja toimijoista. Mukana on sekä teollisia tuotantolaitoksia että tutkimus- ja pilotointihankkeita. Vetyä tuotetaan Suomessa useilla eri menetelmillä, kuten elektrolyysillä, pyrolyysillä sekä kemianteollisuuden sivutuotteena.

**Taulukko 3: Esimerkkejä vedyntuotannosta ja siihen liittyviä toimijoita Suomessa [23].**

Yritys/toimija	Sijainti	Vedyn tuotantotapa	Käyttötarkoitus/lisätieto
STR Tecoil	Hamina	Elektrolyyseri (1 MW)	Käytössä jäteöljyn regenerointilaitoksessa
Hycamite	Kokkola	Pyrolyyseri	Tuottaa puhdasta vetyä ja kiinteää hiiltä maakaasusta
Fortum (Kalla-koelaitos)	Loviisa	Elektrolyyseri	Tutkimus- ja koelaitos
Woikoski	Kokkola	Elektrolyyseri	Vedyn tuotanto ja sivutuotteiden käsittely
Solar Foods (Factory 01)	Vantaa	Elektrolyyseri	Käytetään proteiinin tuotantoon bioreaktorissa yhdessä hiilidioksidin kanssa
Kemira	Joutseno ja Äetsä	Sivutuotteena syntyvä vety	Natriumkloraaatin tuotannon sivutuote
VTT	Suomi	Tutkimuselektrolyysarit	Tutkimus ja pilotointi
LUT-yliopisto	Lappeenranta	Tutkimuselektrolyysarit	Tutkimus ja teknologian kehitys

Vedyn siirtoinfrastruktuurin suunnittelu on käynnissä Suomessa. Gasgrid Finland suunnittelee vedyn siirtoverkoston, jonka tavoitteena on kehittää vedyn siirtoinfrastruktuuria sekä muodostaa yhteyksiä Euroopan vetymarkkinoille. Tavoitteena on vahvistaa Suomen asemaa osana eurooppalaista vetytaloutta sekä vahvistaa maan energiaomavaraisuutta ja huoltovarmuutta. [24]

Suunnitellun siirtoverkoston tavoitteena on yhdistää uusiutuvan energian tuotantoalueet teollisuusalueisiin eli vedyn loppukäyttäjiiin [25]. Joutsenon ja Imatran välille suunniteltiin Suomen ensimmäistä vedyn siirtoputkea. Sen avulla oli tarkoitus siirtää Kemira Oyj:n Joutsenon tehtaalla syntynyt vety Ovako Imatra Oy Ab:n Imatran terästehtaalle. Hanke kuitenkin keskeytettiin yhteisellä päätöksellä alkuvuodesta 2024. Tämän jälkeen Itä-Suomen vetykehityshanke on yhdistetty osaksi Gasgridin suunnittelemaa valtakunnallista vetyverkkoa. [24]

Gasgrid myös suunnittelee Nordic Hydrogen Routea (NHR) yhdessä ruotsalaisen Nordion Energyn kanssa, Nordic-Baltic Hydrogen Corridoria (NBHC) sekä Baltic Sea

Hydrogen Collectoria (BSHC) [25]. NHR-hankkeen tavoitteena on yhdistää Ruotsin ja Suomen vetyinfrastruktuurit sekä mahdollistaa vetymarkkinoiden kehittyminen Perämeren alueella vuoteen 2030 mennessä. NBHC-hankkeessa pyritään kehittämään vetyinfrastruktuuria vuoteen 2030 mennessä Suomesta Viron, Latvian ja Liettuan kautta Puolaan ja edelleen Saksaan. BSHC-hankkeessa puolestaan tutkitaan mahdollisuutta rakentaa Suomen, Ruotsin ja Keski-Euroopan yhdistävä offshore-vetyputkiverkosto. Näiden hankkeiden toteutuminen mahdollistaisi puhtaan ja kestäväen vedyn laajamittaisen tuotannon Euroopan markkinoille. [24]

Suomessa on käynnissä myös muita vetytalouteen liittyviä hankkeita, kuten esimerkiksi BalticSeaH2 ja Uudenmaan teollinen vetylaaksohanke [24]. BalticSeaH2-hankkeen tavoitteena on rakentaa Itämeren alueelle vetylaakso, jonka avulla voidaan kehittää integroitua vetytaloutta, vähentää eri teollisuudenalojen hiilidioksidipäästöjä sekä parantaa energiaomavaraisuutta [26]. Gasgrid Finland toimii hankkeessa laaksokoordinaattorina ja vastaa vetytalouden kehittämisestä Etelä-Suomen ja Viron välisessä päälaaksossa. Sen tehtäviin kuuluu muun muassa osallistuminen vetylaakson rakentamiseen, putkiliitosperiaatteiden kehittäminen vedyn tuottajille ja kuluttajille sekä vedyn loppukäyttäjien laatuvaatimusten selvittäminen. [24] Uudenmaan teolliseen vetylaaksohankeeseen osallistuvat Neste Oyj, Gasgrid Finland Oy, Helen Oy ja Vantaan Energia Oy. Hankkeessa selvitetään mahdollisuuksia kehittää teollinen vetylaakso Uudellemaalle. Sen tavoitteena on vahvistaa Suomen asemaa Euroopan vetymarkkinoilla sekä luoda teollisuudelle uusia investointimahdollisuuksia samalla tukien Suomen ja EU:n hiilineutraaliustavoitteita. Alkuvuodesta 2024 tämä hanke ja sen tavoitteet siirrettiin osaksi valtakunnallista runkoverkon suunnitelmaa. [24, 27]

Lisäksi Fingrid ja Gasgrid tutkivat yhteistyössä vedyn tuotantoon ja käyttöön liittyviä tulevaisuuden kehityspolkuja Suomessa. Tutkimuksessa tarkastellaan muun muassa sitä, millaisia vaatimuksia erilaiset vetytalouden skenaariot asettavat sähkön ja kaasun kantaverkkoyhtiöille. Kyseinen tutkimus toteutetaan osana HYGCEL-yhtymää, jossa mukana on useita suomalaisia yrityksiä ja korkeakouluja. Hanke on saanut Business Finlandilta yli 10 miljoonan euron rahoitustuen. Selvityksessä tarkastellaan myös sitä, miten Suomen sisäinen vetyverkko vaikuttaisi koko energiansiirtojärjestelmän toimintaan. Tämä voi auttaa varautumaan energiasektorin murrokseen sekä tukemaan Suomen hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista. Kyseinen yhteistyö toimii myös hyvänä konkreettisena esimerkkinä suunnitteluyhteistyöstä sekä sektori-integraatiosta. [24]

Suomessa on tällä hetkellä käynnissä laajasti erilaisia vetytalouteen liittyviä hankkeita. Monet niistä ovat kuitenkin vielä alkuvaiheessa ja niiden toteutuminen riippuu vahvasti

esimerkiksi rahoituksesta ja markkinoiden kehityksestä. Gasgridilla on keskeinen rooli vetytalouden infrastruktuurin kehittämisessä Suomessa. Mikäli suunnitellut hankkeet toteutuvat, Suomella on hyvät mahdollisuudet nousta yhdeksi Euroopan johtavista vetytalouden maista. Tämä olisi hyvin merkittävää Suomen talouskehitykselle ja energiaomavaraisuudelle.

### **3.4 Sääntely- ja markkinaympäristö**

Suomen sääntely- ja markkinaympäristö on vahvasti yhteydessä EU:n sääntelyyn. Eri säädöksiä toimeenpano ohjaa voimakkaasti investointeja sekä energiamarkkinoiden kysyntää. Viime aikoina energiasektorin muutoksiin on merkittävästi vaikuttanut esimerkiksi energian hinnan nousu Venäjän hyökkäyksen jälkeen sekä toimitusvarmuuden turvaaminen. Talven 2022–2023 jälkeen hinnat ovat kuitenkin palanneet kohtuulliselle tasolle, mutta markkinoiden mukautumisessa on vieläkin haasteita [28].

Irtautuminen Venäjän maakaasun riippuvuudesta on lisännyt tarvetta vaihtoehtoisten energialähteiden käyttöönololle. Myös Suomen tavoite saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä on vaikuttanut merkittävästi energiasektorin sääntely- ja markkinaympäristön kehitykseen.

Energiasektorin sääntelyn myötä Suomessa on nähtävissä niin kansallisia kuin EU-tason vaikutuksia. Sääntely ohjaa markkinoiden rakennetta sekä energiantuotantomuotojen kehitystä. Tällä hetkellä energiamarkkinoiden tärkeimpiä tavoitteita ovat toimitusvarmuuden, energiaomavaraisuuden, järjestelmän joustavuuden sekä hintavakauden turvaaminen. Lisäksi ympäristövaikutukset vaikuttavat merkittävästi energiantuotantomuotoihin, sillä sääntelyn avulla pyritään edistämään fossiilivapaata energiantuotantoa.

Gasgridille on annettu keskeinen rooli kansallisen vetyverkon, kansainvälisen vetyinfrastruktuurin sekä Itämeren alueen vetymarkkinoiden kehittämisessä [24]. Gasgrid toimii merkittävänä toimijana EU:n vetystrategian käyttöönotossa Suomessa. Kansallisen vetyverkon kehittäminen mahdollistaa uusiutuvalla energialla tuotetun vedyn siirron tuotantoalueilta loppukäyttäjille, kuten teollisuuteen. Tämä tukee eri teollisuudenalojen vähähiilistymistä.

Kansainvälisen infrastruktuurin ja Itämeren alueen vetymarkkinoiden kehittäminen on puolestaan keskeistä Suomen aseman vahvistamisessa osana eurooppalaisia vetymarkkinoita. Yhteydet muihin Euroopan maihin mahdollistavat vedyn viennin

alueille, joilla kysyntä on suurta. Tämä voi parantaa investointien kannattavuutta ja lisätä markkinoiden likviditeettiä.

Suomen vetytalouden kehitys riippuu pitkälti EU:n vetymarkkinoiden kehittymisestä. Vedyn siirtoverkoston liittyvät hankkeet NHR, NBHC ja BSHC, ovat saaneet EU:n PCI-statuksen [29,30,31]. Nämä hankkeet luovat vetyinfrastruktuuriyhteyksiä eri puolille Eurooppaa. Yhteyksien myötä kilpailu lisääntyy ja toimitusriskit voivat pienentyä. Markkinaympäristön kehittyessä on myös tärkeää varmistaa vedyn kysynnän kasvu. Kysyntää voidaan lisätä esimerkiksi teollisuuden ja liikenteen sähköistymisen sekä energian varastointiratkaisujen yleistymisen kautta.

Gasgridin toimintaa sekä investointeja ohjaa myös EU-tason sääntelykehys. Esimerkiksi TEN-E-asetus (Trans-European Networks for Energy) ohjaa jäsenvaltioiden energiainfrastruktuurien kehittämistä ja yhdistämistä [32]. Sääntely vaikuttaa esimerkiksi infrastruktuurihankkeiden lupaprosesseihin ja kustannuksiin. PCI-statuksen saaminen voi myös nopeuttaa hankkeiden toteutusta esimerkiksi rahoituksen ja lupamenetelmien sujuvoittamisen kannalta. EU:n sääntely vaikuttaa teknisten ratkaisujen lisäksi myös suoraan investointien taloudelliseen kannattavuuteen.

Gasgridin infrastruktuurihankkeet muodostavat keskeisen perustan Suomen integroitumiselle eurooppalaisiin vetymarkkinoihin. Mikäli infrastruktuurin kehittäminen onnistuu, kehitys voi merkittävästi vauhdittaa energiasektorin rakennemuutosta, edistää teollisuuden vähähiilistymistä sekä vahvistaa Suomen asemaa Euroopan vetymarkkinoilla. Kehitys kuitenkin riippuu myös laajemmista politiikkatoimista, kuten erilaisista tuki- ja investointimekanismeista. Ilman näitä tukitoimia infrastruktuurin investointien toteutuminen voi jäädä hyvin alhaiseksi.

## 4. EU:N VETYSTRATEGIAN VAIKUTUKSET SUOMEEN

EU:n vetystrategia tarjoaa Suomelle merkittäviä mahdollisuuksia. Sen avulla Suomi voi vahvistaa energiaomavaraisuuttaan sekä samalla kehittää vetytalouttaan. Suomen hallitus hyväksyi vuonna 2023 periaatepäätöksen, jonka mukaan Suomella on edellytykset tuottaa miljoona tonnia puhdasta vetyä vuonna 2030. Tämä vastaisi kymmentä prosenttia koko EU:n päästöttömän vedyn tuotannosta. Samalla Suomi myös tavoittelee johtoasemaa vetytaloudessa. [33]

EU:n vetystrategian tavoitteet tukevat myös Suomen omia ilmasto- ja energiapoliittisia tavoitteita. Vetytalouden avulla Suomi voi edistää hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista sekä vahvistaa asemaansa osana eurooppalaisia energiamarkkinoita. Lisäksi Suomi on saanut EU:lta rahoitustukea vetytalouden infrastruktuurin kehittämiseen. Näitä infrastruktuurihankkeita ovat esimerkiksi aiemmin esitellyt NHR, BSHC sekä NBHC. Näiden hankkeiden PCI-statuksen ja rahoitusavustusten myötä Suomen asema osana eurooppalaista vetytaloutta on vahvistunut.

Suomella on hyvät edellytykset puhtaan vedyn tuotantoon. Erityisesti tuuli- ja aurinkovoiman merkittävä lisärakentamispotentiaali mahdollistaa uusiutuvan sähkön laajamittaisen hyödyntämisen vedyn tuotannossa. Lisäksi Suomessa eri toimijat tekevät laajasti yhteistyötä vetytalouden kehittämiseksi, mikä luo vahvan perustan alan kasvuille. Suomesta löytyy myös vahvaa teollista osaamista, kehittyneitä digitaalisia ratkaisuja, prosessitehokkuutta ja runsaasti luonnonvaroja, jotka tukevat vetytalouden kehittämistä. [34] Näiden tekijöiden yhdistelmä luo Suomelle mahdollisuuden nousta yhdeksi vetytalouden johtavista maista Euroopassa.

Tässä luvussa tarkastellaan EU:n vetystrategian vaikutuksia eri näkökulmista. Poliittisten vaikutusten osalta tutkitaan lainsäädännön ja investointituen kehitystä. Taloudellisista vaikutuksista käsitellään muun muassa investointeja, kilpailukykyä, työpaikkojen syntymistä sekä markkinoiden kehitystä. Teknologisten vaikutusten osalta tarkastellaan vedyn varastointimahdollisuuksia, elektrolyysiteknologian kehitystä sekä Power-To-X-ratkaisuja. Lisäksi sektoreihin kohdistuvia vaikutuksia tarkastellaan sähköntuotannon, teollisuuden, liikenteen ja energiavarastoinnin osalta.

## 4.1 Poliittiset vaikutukset

EU:n vetystrategialla on merkittäviä poliittisia vaikutuksia Suomen energiasektorille esimerkiksi sääntelyn, investointitukien ja rahoitusmekanismien myötä. Keskeinen poliittinen vaikutus on vedyn aseman vahvistuminen osana EU:n sisäisiä markkinoita, joka on puolestaan lisännyt kansallista sääntelyä ja tukijärjestelmiä vetytalouden edistämiseksi.

Yksi lainsäädännöllisesti merkittävä kokonaisuus on EU:n Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package, joka on osa EU:n vihreän kehityksen kokonaisuutta ja FF55-pakettia. Sen tavoitteena on edistää uusiutuvan energian ja vähähiilisten polttoaineiden, kuten vedyn käyttöönottoa energijärjestelmässä. Paketti sisältää säännöksiä, joiden tarkoituksena on helpottaa energiatoimittajien ja -kuluttajien osallistumista markkinoille sekä antaa Euroopan komissiolle valtuudet määritellä vähähiilisen vedyn kriteerit. Säännökset on otettava käyttöön kansallisessa lainsäädännössä vuoteen 2026 mennessä. [35] Tämä merkitsee sitä, että myös Suomessa on kehitettävä vedyn siirtoon, infrastruktuuriin ja markkinoiden rakenteisiin liittyvää sääntelyä. Näiden toimien avulla voidaan vahvistaa vedyn asemaa osana kansallista energiapolitiikkaa.

EU:n sääntely vaikuttaa Suomessa myös teknisiin ja markkinoita ohjaaviin ehtoihin. Yhteiset markkinasäännöt ja vähähiilisen vedyn määritelmät luovat varmuutta investoinneille, samalla asettaen vaatimuksia tuotannolle esimerkiksi uusiutuvaan energian käytölle. Nämä vaatimukset voivat hetkellisesti lisätä tuotantokustannuksia, mutta pitkällä aikavälillä ne ohjaavat investointeja puhtaampaan energiantuotantoon ja energijärjestelmän sähköistymiseen.

Suomessa vaikutukset näkyvät poliittisesti erityisesti uusiutuvan tuotannon lisäämisellä ja sähköverkon kehittämisenä. Näiden toimenpiteiden ansiosta vedyn tuotannon kilpailukyky paranee, sillä vihreän vedyn tuotanto pohjautuu pitkälti uusiutuvan sähkön hintaan ja saatavuuteen.

Investointitukien osalta EU:n vetystrategia on tuonut käyttöön useita erilaisia rahoitusmekanismeja, joilla on myös vaikutusta Suomeen. Esimerkiksi aiemmin esitelty EHB tarjoaa tuotantotukea uusiutuvan vedyn hankkeille. Suomesta hyvänä esimerkkinä voidaan mainita Ren-Gas, joka sai ensimmäisessä EHB:n vetytukihaussa 45 miljoonan euron tuen uusiutuvan vedyn tuotantohankkeeseen [36]. Tällaiset

tukimekanismit voivat merkittävästi edistää kotimaisia investointeja ja mahdollistaa vedyn tuotannon laajentamisen Suomessa.

Myös IPCEI-hankkeiden kautta vetytalouden tukeminen on helpottunut. Jos hanke määritellään IPCEI-hankkeeksi, valtiontuen myöntäminen mahdollistuu joustavammin strategisesti merkittäviin hankkeisiin. Useat EU-maat ovat sitoutuneet miljardiluokan julkisiin investointeihin vetytalouden edistämiseksi, mikä puolestaan pyrkii vauhdittamaan yksityisiä investointeja. [37] Tämä luo myös Suomelle painetta kehittää omia kansallisia tukimekanismejaan sekä osallistua EU:n yhteisiin hankkeisiin, jotta investoinnit eivät siirry muihin jäsenmaihiin, joissa julkinen tuki on vahvempaa.

Suomessa vetystrategia on vaikuttanut myös kansallisen energiapolitiikan sisältöön. Linjauksissa rahoitusta suunnataan tuotannon ja infrastruktuurin kehittämiseen sekä tutkimustoimintaan. EU:n rahoituksen lisäksi käytössä on kansallisia tukivälineitä, kuten Business Finlandin tutkimus-, kehitys- ja innovaatorahoitus, jonka avulla voidaan tukea elinkeinoelämän uudistumista nopeuttavia riskipitoisia hankkeita [38]. Samalla sääntelyä kehitetään vedyn markkinoiden, infrastruktuurin ja turvallisuusvaatimusten osalta. Näiden toimenpiteiden tavoitteena on mahdollistaa vetytalouden laajanmittainen käyttöönotto Suomessa.

Yhteenvedona voidaan todeta, että EU:n vetystrategian poliittiset vaikutukset näkyvät Suomessa kahdella toisiaan täydentävällä tavalla. EU:n lainsäädäntö velvoittaa jäsenvaltioitaan toimimaan vedyn yhteisten markkinasäännösten mukaan. Tämä ohjaa kansallisen sääntelyn kehittämistä ja infrastruktuurin suunnittelua, kehittämistä sekä rakentamista. Rahoitus- ja tukimekanismit lisäävät investointien toteutumisten edellytyksiä, samalla kiristäen eri jäsenvaltioiden kilpailua vetyhankkeiden osalta. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta vedystä on muodostunut hyvin keskeinen osa Suomen energiapolitiikkaa sekä myös pidemmän tähtäimen strategista talouskehitystä.

## **4.2 Taloudelliset vaikutukset**

EU:n vetystrategialla on merkittäviä taloudellisia vaikutuksia niin koko EU:ssa kuin yksittäisissä jäsenmaissa. Vaikutukset näkyvät etenkin investointien kasvuna, kilpailukyvyyn vahvistumisena, uusien työpaikkojen syntymisenä sekä uusien markkinoiden kehittymisenä.

Yksi keskeisimmistä taloudellisista vaikutuksista liittyy investointien merkittävään kasvuun. Strategian tavoitteena on rakentaa EU:n alueelle laaja uusiutuvan vedyn tuotanto- ja jakelujärjestelmä, mikä edellyttää suuria investointeja tuotantolaitoksiin, infrastruktuuriin sekä teknologiseen kehitykseen. Tällä hetkellä on arvioitu, että EU:n

kokonaisrahoitus vetyyn liittyville hankkeille on noin 18,8 miljardia euroa vuosien 2021–2027 aikana [39]. Lisäksi EHB:n tavoitteena on tukea vetymarkkinoiden syntymistä ja alentaa investointiriskejä etenkin markkinoiden alkuvaiheessa. Näiden rahoitusmekanismien voidaan odottaa lisäävän myös Suomen houkuttelevuutta investointikohteena, sillä maassa on tarjolla runsaasti uusiutuvaa sähköä vedyn tuotantoon.

Vetystrategia voi vahvistaa myös eurooppalaisen teollisuuden kilpailukykyä. Vedyn roolin vahvistaminen esimerkiksi teollisuudessa auttaa yrityksiä siirtymään vähähiiliseen tuotantoon. Tämä auttaa yrityksiä säilyttämään kilpailukykyänsä globaalisti, kun ilmastopolitiikka ja päästövähennystavoitteet kiristyvät. Samalla fossiilisten energianlähteiden tuontiriippuvuuden vähentyminen parantaa energiaomavaraisuutta ja voi lisätä taloudellista vakautta pitkällä aikavälillä.

Vetytalouden kehitys luo Suomessa myös uusia työpaikkoja etenkin energia-, rakennus- ja teollisuussektoreille. Vetyinfrastruktuurin rakentaminen lisää työvoiman tarvetta esimerkiksi elektrolyysilaitosten, siirtoverkoston ja muiden tuotantolaitosten rakentamisessa. Lyhyellä aikavälillä työpaikkoja syntyy etenkin rakennus- ja asennustöihin. Pidemmällä aikavälillä pysyviä työpaikkoja syntyy etenkin vetypohjaiseen teollisuuteen esimerkiksi tuotantoon, huoltoon sekä järjestelmien suunnitteluun ja optimointiin. Vetytalouden kehittäminen edellyttää myös uudenlaista osaamista, sillä ala vaatii erikoistunutta asiantuntemusta. Arvioiden mukaan vetytalous voi mahdollistaa Suomeen jopa 115 000 uutta työpaikkaa vuoteen 2035 mennessä [34]. Lisäksi osa nykyisistä työpaikoista tulee muovautumaan uudenaikaisiksi, kun siirrytään pois fossiilisista prosesseista.

Strategian myötä myös vetymarkkinoiden kehitys vauhdittuu. EU:n tavoitteena on luoda yhteiset eurooppalaiset vetymarkkinat, joiden onnistuminen edellyttää vedyn yhteiset standardit, tukijärjestelmät ja infrastruktuurin. Sääntelyn ja julkisen rahoituksen avulla pyritään nopeuttamaan teknologioiden kehitystä ja auttamaan niitä saavuttamaan kustannuskilpailukyky fossiilisiin verrattuna.

Strategian taloudelliset vaikutukset ovat Suomen näkökulmasta pääosin positiivisia. Sen myötä investoinnit lisääntyvät, kilpailukyky energia- ja teollisuussektoreilla vahvistuu sekä uusia työpaikkoja syntyy. Lisäksi vedyn tuotantoon ja vientiin liittyvät mahdollisuudet voivat tarjota Suomelle kilpailuetua kehittyvillä vetymarkkinoilla. Investointien toteutuminen riippuu kuitenkin edelleen useista tekijöistä, kuten markkinoiden kehittymisestä, teknologian kustannuksista sekä EU:n tukimekanismien kohdentumisesta.

### 4.3 Teknologiset vaikutukset

Vetystrategian vaikutukset ulottuvat Suomessa myös teknologiseen kehitykseen, erityisesti teollisuuden päästöjen vähentämiseen liittyviin ratkaisuihin. Kuten aiemmin on todettu, vedyn käyttöönotto on keskeisessä roolissa erityisesti sektoreilla, joita on vaikea suoraan sähköistää. Näillä aloilla vety tarjoaa mahdollisuuden vähentää päästöjä merkittävästi. Strategia ohjaa Suomen teknologista kehitystä kohti uusiutuvaan energiaan perustuvia vetyteknologioita, samalla korostaen EU:n jäsenmaiden yhteistyötä ja erilaisia tukitoimia. Strategiassa esiintyvät säännökset uusiutuvan vedyn tuotannolle vaikuttavat merkittävästi eri teknologioiden kehitykseen ja käyttöönottoon.

Yksi keskeisimmistä teknologisista vaikutuksista liittyy elektrolyysiteknologian kehitykseen. EU:n tavoitteena on kasvattaa elektrolyysikapasiteettia merkittävästi ja vuoteen 2030 mennessä kapasiteetin tavoitteena on saavuttaa 40 gigawattia [10]. Tavoitteet kapasiteetin kasvattamisesta ohjaavat investointeja. Suomessa erityisesti nopea tuulivoiman kasvu mahdollistaa kilpailukykyisen vihreän vedyn tuotannon, mikä tekee maasta houkuttelevan investointikohteen vedyn tuotantoon liittyville hankkeille. Esimerkiksi Länsi-Suomeen on muodostumassa vetylaakso, jossa vihreän vedyn tuotannon odotetaan nousevan jopa 300 000 tonniin vuodessa ja investointien odotetaan olevan jopa kolme miljardia euroa [40].

Toinen merkittävä teknologinen kehityssuunta liittyy Power-to-X-teknologioihin. Näiden teknologioiden avulla sähköenergiaa voidaan muuntaa toiseen muotoon kuten esimerkiksi vedyksi tai synteettiseksi polttoaineeksi. P2X-teknologiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi teollisuudessa ja liikenteessä synteettisten polttoaineiden tuotannossa. Lisäksi teknologiaa voidaan hyödyntää energian varastoinnissa. [41] P2X-teknologioiden kehitys luo markkinoita myös e-polttoaineille. Suomessa teknologioiden käyttöönotto edellyttää uusien tuotantolaitosten rakentamista sekä hiilidioksidin talteenottoon ja hyödyntämiseen liittyvien teknologioiden kehittämistä.

Strategialla on myös merkittäviä vaikutuksia vedyn siirto- ja varastointiteknologioihin sekä niiden kehittämiseen. Gasgrid on vastuussa Suomen osalta vedyn siirtoinfrastruktuurin suunnittelusta ja kehittämisestä [24]. Infrastruktuurin rakentaminen edellyttää kuitenkin uusien teknisten ratkaisujen kehittämistä vedyn siirtoon, varastointiin ja jakeluun liittyen. Lisäksi turvallisuusnäkökulma on keskeinen osa teknologista kehitystä, mikä edellyttää mittausjärjestelmien sekä digitaalisten valvonta- ja ohjauksjärjestelmien kehittämistä.

EU:n investointi- ja rahoitusmekanismit vaikuttavat myös Suomessa tehtävään

tutkimus- ja innovaatiotoimintaan. Tutkimus- ja kehitysinvestointien merkitys korostuu etenkin Suomen kansallisten tavoitteiden näkökulmasta. Suomen tavoite tuottaa noin kymmenen prosenttia EU:n vihreästä vedystä vuonna 2030 korostaa tutkimuspanosten ja teknologisten investointien merkitystä sekä Suomessa että EU:n tasolla [33].

EU:n vetystrategia ei vaikuta ainoastaan Suomen energiantuotantoon ja -sektoriin, vaan käynnistää myös laajemman teknologisen kehityksen ja rakennemuutoksen. Elektrolyysi ja P2X-teknologioiden kehitys, infrastruktuurin uudistaminen, teollisten prosessien uudelleen muovaaminen sekä innovaatio- ja tutkimusinvestointien kasvu muokkaavat Suomen energiajärjestelmää ja teollisuutta merkittävästi. Pitkällä aikavälillä strategia voi vahvistaa Suomen asemaa vihreän vedyn tuotantoteknologioiden kehittäjänä Euroopassa.

#### **4.4 Sektorisidonnaiset vaikutukset**

EU:n vetystrategia vaikuttaa eri sektoreihin eri tavoin ja merkittävimmät vaikutukset kohdistuvat erityisesti sektoreihin, jotka ovat vaikea sähköistää suoraan eli esimerkiksi teollisuuteen ja liikenteeseen. Lisäksi vaikutuksia kohdistuu myös sähköntuotantoon ja energian varastointiin. Näillä sektoreilla vety toimii sekä energianvälittäjänä että raaka-aineena.

Sähköntuotannon osalta strategia lisää uusiutuvan sähköntuotannon kapasiteettia. Tämä kasvu perustuu siihen, että vihreän vedyn tuotanto tapahtuu uusiutuvalla sähköllä. Suomessa kehitys näkyy etenkin tuulivoiman lisääntymisenä. Tuulivoimaa rakennetaan Suomessa pääosin markkinaehtoisesti, joten vedyn tuotannon kasvaessa myös tuulivoimakapasiteettia lisätään kattamaan kasvava sähkön kysyntä [42].

Elektrolyysit voivat toimia myös sähköjärjestelmän joustoelementteinä. Vedyn tuotantoa voidaan lisätä silloin, kun uusiutuvaa sähköä on runsaasti tarjolla ja vähentää kulutushuippujen aikana. Tämä on tärkeää etenkin uusiutuvaan energiaan perustuvassa sähköenergiajärjestelmässä, jossa tuotanto on vahvasti sääriippuvaista ja siten vaikeasti ennustettavissa. Joustolla saadaan parannettua myös sähköjärjestelmän tasapainoa ja sähkömarkkinoiden toimivuutta.

Teollisuudessa vedyn vaikutukset ovat merkittäviä, sillä se mahdollistaa fossiilisten polttoaineiden korvaamisen. Vedyn avulla voidaan esimerkiksi tuottaa vähäpäästöisiä polttoaineita ja korvata maakaasua kaasuturbiineissa. Lisäksi vedyllä on keskeinen rooli etenkin korkeaa lämpötilaa vaativilla kemianteollisuuden aloilla, joissa suora sähköistäminen on usein haastavaa. [41] Vedyn käyttöönotto teollisuudessa edellyttää

kuitenkin uusien prosessiteknologioiden kehittämistä, investointeja uusiin laitteisiin sekä esimerkiksi automaatioteknologian kehittämistä. Pidemmällä aikavälillä tämä kehitys voi kuitenkin vahvistaa suomalaisen teollisuuden kilpailukykyä globaaleilla markkinoilla.

Yhtenä konkreettisena esimerkkinä vetystrategian toteuttamisesta Suomessa voidaan nostaa suunniteltu Pohjanlahden vetylaakso. Sen kehittämisen mahdollistaa alueen erinomainen tuulivoimapotentiaali. Lisäksi alueella on lukuisia sellu- ja paperitehtaita sekä rautamalmi- ja terästuotantoa. Vetylaakson tarkoituksena on yhdistää vedyn, lämmön, hapen ja sähkön kuluttajat ja toimittajat alueelliseksi ekosysteemiksi. [43]

Tällaisessa ekosysteemissä uusituvalla sähköllä tuotettu vety voidaan hyödyntää erityisesti energiantensiivisissä teollisuuden prosesseissa, kuten teräksen valmistuksessa tai kemianteollisuudessa. Samalla syntyvät sivuvirrat, kuten lämpö ja happi voidaan hyödyntää alueen teollisissa prosesseissa ja kaukolämpöjärjestelmissä. Vetylaakson kaltaiset teolliset keskittymät vastaavat EU:n vetystrategian tavoitteita luoden alueellisia vetyekosysteemejä, joissa tuotanto, varastointi ja kulutus kytkeytyvä toisiinsa. Suomen osalta tällaiset hankkeet edistävät erityisesti raskaan teollisuuden vähähiilistymistä. Samalla vedyn infrastruktuurin kehittäminen voi synnyttää uusia investointeja, samalla vahvistaen teollista kilpailukykyä.

Liikennesektorilla vedyn vaikutukset kohdistuva erityisesti raskaaseen liikenteeseen, jossa suora sähköistäminen on usein haastavaa. Polttokennoteknologiat mahdollistavat vedyn hyödyntämisen polttoaineena sekä erilaisten synteettisten polttoaineiden tuotannossa. [41,44] Synteettisten polttoaineiden ansiosta nykyiseen liikenteen infrastruktuuriin ei tarvitse tehdä suuria muutoksia. Suomen näkökulmasta vedyn yleistyminen voi lisätä investointeja satamien ja lentokenttien energiateknologioihin sekä vedyn jakelu- ja tankkausinfrastruktuuriin, joita kehitetään etenkin logistiikkakeskittymissä.

Vedyn hyödyntäminen raskaassa liikenteessä voidaan toteuttaa useilla eri teknologioilla. Yksi keskeinen sovelluskohde on vetypolttokennokuorma-auto, jossa vetyä hyödynnetään polttokennossa sähkön tuottamiseen ajoneuvon sähkömoottorille. Tällainen ratkaisu soveltuu erityisesti pitkän matkan kuljetuksiin, sillä vedyn korkea energiatiheys suhteessa massaansa mahdollistaa pitkän toimintamatkan ja suhteellisen nopean tankkauksen. [45]

Toinen vaihtoehto on vetyä käyttävä polttomoottorikuorma-auto, jossa vety toimii polttoaineena perinteisen polttomoottorin tapaan. Tämän teknologian etuna on mahdollisuus hyödyntää olemassa olevaa moottoriteknologiaa, minkä vuoksi sitä pidetään potentiaalisena kustannustehokkaana vaihtoehtona erityisesti raskaassa ja

pitkän matkan tavaraliikenteessä. Lisäksi se voi toimia vaihtoehtona akkukäyttöisille kuorma-autoille tilanteissa, joissa suuri akusto kasvattaa ajoneuvon painoa ja vähentää kuljetettavan kuorman määrää. Tutkimusten mukaan vetyperusteiset ratkaisut voivat olla kilpailukykyisiä erityisesti suurissa kuorma-autoissa ja pitkän matkan kuljetuksissa. [45]

Vedyn hyödyntäminen raskaassa liikenteessä nähdään siten yhtenä keinona vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja edistää liikennesektorin vähähiilistymistä sekä saavuttaa EU:n vetystrategian sekä ilmastopolitiikan päästövähennystavoitteet.

Energian varastointi tulee olemaan yhä merkittävämmässä roolissa uusiutuvaan energiaan perustuvassa energijärjestelmässä. Vety toimii pidemmän aikavälin energianvarastointiratkaisuna samalla täydentäen nykyisiä akkuteknologioita. Sen avulla voidaan tasapainottaa uusiutuvan energian tuotannon vaihteluita, sillä sähkö voidaan muuttaa vedyksi tilanteissa, joissa tuotanto ylittää kulutuksen. Myöhemmin tarpeen mukaan tämä energia voidaan hyödyntää eri sektoreilla. Varastointiteknologioiden kehittäminen edellyttää merkittäviä investointeja, jotta niiden tekninen ja taloudellinen potentiaali voidaan saavuttaa. Energian varastointi tukee myös sähköverkkojen toimintaa, sillä sen avulla voidaan tasapainottaa verkkoa ja vapauttaa energiaa käyttöön huippukysynnän ulkopuolella tai muissa tarpeellisissa tilanteissa. [46]

Tarkasteltaessa strategiaa sektorisidonnaisesti huomataan, että Suomen osalta strategia vahvistaa uusiutuvan energian tuotantoa, muuttaa teollisuuden prosesseja, luo uusia ratkaisuja raskaan liikenteen päästöjen vähentämiseen sekä mahdollistaa uudenlaisia energiavarastointiratkaisuja. Vedyn käyttöönottoa ohjaavat alueelliset vetylaaksot, teollisuuden hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja liikennesektorien pilottihankkeet. Keskeistä on sidosryhmien yhteistyö ja sektorien yhdistäminen. Haasteita aiheuttavat materiaali- ja infrastruktuurihaasteet. Näiden sektorien yhteisvaikutusten ansiosta Suomen energijärjestelmä kehittyy hybridimalliksi, jossa hyödynnetään sähköä ja vetyä. Tässä mallissa vety toimii keskeisenä osana eri sektoreiden välillä.



## 5. HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET SUOMEN VETYTALOUESSA

Suomessa vetytalous nähdään keskeisenä osana energiamurrosta. Energiajärjestelmän tavoitteena on siirtyä kohti fossiilivapaata ja hiilineutraalia energiantuotantoa, jossa fossiiliset polttoaineet korvataan sähköön perustuvilla ratkaisuilla. Vetytalous tarjoaa tässä muutoksessa merkittäviä mahdollisuuksia, mutta siihen liittyy myös haasteita.

Suomella on vetytalouden kehittämiseen poikkeuksellisen vahvat lähtökohdat ja esimerkiksi kasvava tuulivoimakapasiteetti, vähähiilinen sähköntuotanto ja teollisuuden osaaminen luovat kilpailuetua. Näiden tekijöiden ansiosta Suomella on mahdollisuus nousta EU:n vetytalouden edelläkävijäksi ja hyödyntää vetyä sekä kotimaisessa energiantuotannossa että vientituotteena.

Vetytalouden kehitykseen liittyy kuitenkin myös merkittäviä haasteita. Keskeisiä haasteita ovat sähkön hinnan suuret vaihtelut, teknologiset ja taloudelliset riskit, infrastruktuurin puutteet sekä EU:n sääntelyyn ja sertifiointiin liittyvät epävarmuudet.

Tässä luvussa käsitellään näitä vetytalouden keskeisiä haasteita ja mahdollisuuksia Suomen näkökulmasta. Vetytalouden kehitys riippuu hyvin vahvasti siitä, kuinka nopeasti investoinnit etenevät, millaiseksi toimintaympäristö muovautuu sekä kuinka tehokkaasti suunnitellut hankkeet saadaan toteutettua käytännössä.

### 5.1 Keskeiset haasteet

Suomen vetytalouden kehitystä hidastavat useat rakenteelliset ja markkinoihin liittyvät haasteet ja epävarmuudet. Näiden ratkaiseminen on edellytys sille, että vetyä voidaan hyödyntää laajamittaisesti esimerkiksi teollisuuden ja liikenteen vähähiilistämässä.

Keskisiä pullonkauloja aiheuttavat erityisesti sähkön riittävyys ja korkea hintataso sekä merkittävät taloudelliset ja teknologiset riskit. Sähkön saatavuus ja kustannukset vaikuttavat suoraan vihreän vedyn tuotannon kilpailukykyyn, sillä vedyn tuotanto elektrolyysin avulla edellyttää suuria määriä sähköä.

Lisäksi vetytalouden kehittäminen vaatii huomattavia investointeja tuotantoteknologioihin, kuten elektrolyysereihin sekä vedyn varastointi- ja logistiikkaratkaisuihin. Myös infrastruktuurin puute hidastaa vetytalouden kehittymistä. Suomessa ei toistaiseksi ole laajaa vedyn siirto- ja jakeluverkkoa, sillä tarvittavat järjestelmät ovat vielä pääosin kehitysvaiheessa.

Myös EU:n sääntelyn ja sertifiointin keskeneräisyys lisäävät haasteita. Sääntelyyn liittyvät epävarmuudet lisäävät investointiriskejä ja vaikuttavat siihen, miten uusiutuva vety voidaan määritellä ja todentaa. Tämä puolestaan vaikuttaa suoraan vedyn hyödyntämismahdollisuuksiin eri sektoreilla sekä markkinoiden kehittymiseen. [46]

Näiden haasteiden ratkaiseminen on keskeistä, jotta vetytalous voi kasvaa laajasti ja nopeasti Suomessa sekä muualla Euroopassa.

### 5.1.1 Sähkön saatavuus ja korkea hintataso

Vedyn tuotanto perustuu pääasiassa elektrolyysiin, joka vaatii suuria määriä sähköä. On arvioitu, että vetytuotantolaitosten kokonaiskustannuksista 70–90 % muodostuu sähkön hankintakustannuksista. Korkeat ja epävakaat sähkön hinnat voivat siten heikentää vihreän vedyn tuotannon kilpailukykyä suhteessa fossiilisiin vaihtoehtoihin verrattuna ja hidastaa investointeja. Suomessa uusiutuvan sähkön tuotantokapasiteetti kasvaa nopeasti, mutta sähkön riittävyys ja hintavaihtelut voivat muodostaa pullonkauloja vedyn tuotannolle. Esimerkiksi PPA-sopimusten avulla voidaan suojautua hinta- ja volyyimiriskeiltä. [46]

Sähkön hinnan lisäksi vihreän vedyn tuotantoa ohjaa EU:n sääntely, jonka mukaan vedyn tuotantoon käytettävän uusiutuvan sähkön ja vedyn tuotannon tulee vastata toisiaan tuntitasolla vuodesta 2030 lähtien. Tämä tarkoittaa, että vedyn tuotannon tulee seurata uusiutuvan energian saatavuutta. [47] Tämä tekee vedyn tuotannosta vaihtelevaa, eikä elektrolyysereiden käyttöaste välttämättä ole tasainen ympäri vuoden. Tuotanto painottuu tilanteisiin, joissa uusiutuvaa energiaa on runsaasti saatavilla ja sähkön hinta on alhainen. Mikäli sähkön saatavuus on rajallista tai hinnat pysyvät korkeina, investointien kannattavuus voi heikentyä, koska tuotantolaitteistoja ei voida hyödyntää täysimääräisesti.

Tuntikohtainen vastaavuus kuitenkin kannustaa investoimaan joustaviin tuotantomalleihin ja energian varastointiratkaisuihin. Vetyä voidaan esimerkiksi ylituotantotilanteissa hyödyntää varastointiin. Pidemmällä aikavälillä tämä voi tasapainottaa sähköjärjestelmää ja lisätä energijärjestelmän joustavuutta.

Uusien EU-säännösten mukaan vihreän vedyn tuotannossa käytettävä sähkö on tuotettava tuuli- tai aurinkovoimaloilla, jotka ovat otettu käyttöön enintään kolme vuotta aiemmin. Tämä tarkoittaa, että on rakennettava uutta uusiutuvan energian tuotantokapasiteettia. Säännöksen mukaan viimeistään vuoden 2027 loppuun mennessä käynnistyvät vedyn tuotantolaitokset saavat tästä kymmenen vuoden

vapautuksen. Säännöksen tarkoituksena on kannustaa jäsenmaita nopeisiin investointeihin, samalla kuitenkin luoden voimakkaan aikapaineen hankkeiden toteutukselle. [48] Positiivisena vaikutuksena voidaan nähdä investointien aikaistuminen, kun toimijat pyrkivät hyödyntämään sääntelyn tarjoamia joustavampia ehtoja. Suomessa tämä voi mahdollistaa vetytalouden nopeamman käynnistymisen, jos hankkeet etenevät nopeasti lupaprosessien ja rahoitusten osalta.

Toisaalta sääntely myös lisää tuotantokapasiteetin investointikustannuksia, mikä voi alkuvaiheessa johtaa korkeisiin vihreän vedyn hintoihin ja lisätä hankkeiden rahoitusriskejä. Suomessa uusiutuvan energiantuotannon laajentamisen haasteina ovat lupaprosessien kesto, sosiaalinen hyväksyttävyyys sekä sähköverkkojen kapasiteetti. Tuulivoimahankkeiden toteutuminen voi pahimmillaan viedä jopa vuosikymmenen ennen käyttöönottoa. [49]

Suomen osalta tämä sääntely voi muodostua joko kilpailueduksi tai -haitaksi riippuen siitä, kuinka nopeasti uutta uusiutuvan energian tuotantokapasiteettia pystytään rakentamaan. Jos sähköntuotantoa saadaan kasvatettua nopeasti, voi Suomi toimia vetytaloudessa edelläkävijänä. Toisaalta tuotantohankkeiden viivästyessä investoinnit voivat suuntautua vedyn tuotannon osalta maihin, joissa uusiutuvan energian tuotantokapasiteettia pystytään kasvattamaan nopeammin. Säädös toimii samalla ohjaavana ja rajoittavana tekijänä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että Suomessa on merkittävä potentiaali uusiutuvan sähkön tuotannon kasvattamiseen. Vetytalouden laajamittainen kehittyminen edellyttää kuitenkin sähkön saatavuuden turvaamista sekä tuotannon kustannustehokkuuden parantamista. Sähkön saatavuuteen ja hintavaihteluihin liittyvät epävarmuudet muodostavat siten keskeisen haasteen vetytalouden kehitykselle.

### **5.1.2 Taloudelliset ja teknologiset riskit**

Vetytalouteen liittyvät teknologiat, kuten elektrolyysarit ja vedyn varastointi- ja kuljetusratkaisut ovat vielä tällä hetkellä suhteellisen kalliita ja osittain kehitysvaiheessa. Vetyyn liittyvät hankkeet ovat pääomavaltaisia ja niiden kannattavuus riippuu merkittävästi esimerkiksi kysynnän ja teknologioiden kehityksestä. Kysynnän, teknologioiden ja kustannusten epävarmuus muodostavat suuren kynnyksen teollisille investoinneille [46].

Vedyn tuotantoa rajoittavat myös riittämättömät investoinnit tuotantoteknologiaan tai elektrolyysilaitteiden rajallinen saatavuus [50]. Epävarmuus voi johtaa tilanteeseen, jossa toimijat venyttävät suuria investointipäätöksiä, odottaen teknologioiden halpenemista. Investointipäätösten venyessä koko vetytalouden kehittyminen hidastuu, sillä teknologian kehitys ja laajempi käyttöönotto viivästyy.

Elektrolyysilaitteiden pääomakustannukset ovat kuitenkin laskussa mittakaavaetujen ja kehittyvien teknologioiden ansiosta. Tällä hetkellä uusiutuvan vedyn kustannukset ovat 3–5,5 euroa kilolta ja kustannusten odotetaan puolittuvan vuoteen 2030 mennessä. Näin ollen kustannukset olisivat kilpailukykyisellä tasolla fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan vedyn tuotannon kanssa. [51] Vaikka kustannuskehitys näyttää hyvinkin lupaavalta, vihreän vedyn laajamittainen käyttöönotto edellyttää investointeja, kehitystä, riittävää uusiutuvaa sähköntarjontaa sekä ennustettavissa olevaa sääntely-ympäristöä.

EU:n tavoitteena on kasvattaa uusiutuvan vedyn tuotantoa merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. Nykyisellä eurooppalaisten elektrolyysilaitteiden valmistajien kapasiteetilla pystyttäisiin valmistamaan laitteita enintään 23,4 gigawatin edestä vuoteen 2030 mennessä. RE-PowerEU-suunnitelman mukainen 10 miljoonan tonnin vuosittainen vedyn tuotantotavoite kuitenkin edellyttäisi elektrolyysilaitteita noin 100–120 gigawatin edestä. [52] Tämä tarkoittaa, että tuotantokapasiteettia on kasvatettava merkittävästi nykyisestä.

Euroopan oma tuotantokapasiteetti on ilmastopoliittisen näkökulman lisäksi strateginen ja teollisuuspoliittinen valinta. Pelkästään tavoitteet kapasiteetin kasvattamisesta ei kuitenkaan riitä, jos investointiympäristö koetaan epävarmaksi tai kysyntä ei kehity odotetulla tavalla. Uusien tuotantolaitosten rakentaminen edellyttää merkittäviä investointeja, joiden toteutuminen pohjautuu markkinoiden kysyntään, tukimekanismeihin ja sääntelyn ennustettavuuteen. Myös elektrolyysilaitteistojen laajempi valmistaminen vaatii kriittisten materiaalien saatavuutta sekä toimivia toimitusketjuja.

Suomessa investointien kannattavuuteen vaikuttaa erityisesti se, kuinka nopeasti teollisuus alkaa hyödyntää vihreää vetyä. Mikäli kysyntä kasvaa odotettua hitaammin, tuotantokapasiteetti voi jäädä vajaakäyttöön ja heikentää vedyn käyttöönoton taloudellista kannattavuutta. Toisaalta varhaisessa vaiheessa toteutetut investoinnit voivat luoda Suomelle kilpailuetua, mikäli teknologian kehitys nopeutuu ja vetymarkkinat kasvavat odotettua nopeammin.

Näin ollen teknologiset ja taloudelliset riskit voivat hidastavat vetytalouden kehitystä, mutta samalla ne myös korostavat julkisen politiikan, säännösten ja tukijärjestelmien merkitystä etenkin vetytalouden alkuvaiheessa.

### 5.1.3 Infrastruktuurin puutteet

Suomessa vetytalouden kehitystä hidastaa infrastruktuurin puute. Toisin kuin monissa Keski-Euroopan maissa, Suomessa ei ole laajaa maakaasuverkkoa, joka voitaisiin muuntaa vedyn siirtoon. Tämän vuoksi vedyn siirto-, jakelu- ja varastointijärjestelmät ovat rakennettava pääosin alusta alkaen, mikä kasvattaa infrastruktuurin kustannuksia merkittävästi. Lisäksi vedyn vientimahdollisuuksia rajoittavat toistaiseksi siirtoyhteyksien puute sekä vedyn kysynnän ja markkinoiden kehittymisen epävarmuus. [46]

Toisaalta infrastruktuurin puuttuminen tarjoaa myös mahdollisuuden suunnitella vetyjärjestelmä alusta alkaen tulevaisuuden tarpeisiin. Ilman olemassa olevan maakaasuverkon teknisiä rajoitteita infrastruktuuri voidaan optimoida vedyn kuljetusta ja varastointia varten. Pitkällä aikavälillä tämä voi mahdollistaa jopa tehokkaamman ja turvallisemman verkon, vaikka alkuvaiheessa investointikustannukset ovat korkeammat.

Infrastruktuurin kehittämisen ja rakentamisen kannattavuus riippuu pitkälti vedyn kysynnän kehityksestä kotimaassa. Lisäksi tähän vaikuttaa se, että syntykö Suomesta merkittävä vedyntuottaja ja -viejä. Tämän vuoksi infrastruktuuriin liittyvät investoinnit ovat vahvasti sidoksissa vetymarkkinoiden kehitykseen ja teollisuuden investointipäätöksiin.

Suomen vetytalouden infrastruktuurin kehittämistä vaikeuttaa myös sopivien energianvarastointiratkaisujen rajallisuus. Esimerkiksi suolaluolat soveltuvat hyvin vedyn pitkäaikaiseen ja suuren mittakaavan varastointiin. Niiden häviöt ovat myös muihin varastointitekologioihin verrattuna alhaiset. [53] Suomessa suolaluolia ei ole, joten niiden puute rajoittaa varastointiratkaisuja [46]. Tämän vuoksi Suomessa on kehitettävä vaihtoehtoisia vedyn varastointiratkaisuja, joiden energiahäviöt voivat kuitenkin olla suurempia ja soveltuvuus pitkäaikaiseen varastointiin rajallisempaa. Näin ollen myös kansainvälinen yhteistyö esimerkiksi varastointiratkaisujen osalta voi muodostua tärkeäksi.

Suomessa on tutkittu myös mahdollisuuksia hyödyntää olemassa olevia maakaasuputkia vedyn kuljetukseen. Tutkimusten mukaan putkistoja voidaan tietyin edellytyksin mukauttaa vedyn siirtoon esimerkiksi paineenvaihteluita hallitsemalla sekä asianmukaisia turvallisuuskäytänteitä noudattamalla. Suomen kaasuverkosto sijaitsee

kuitenkin pääasiassa Etelä-Suomessa, kun taas vedyn tuotannon odotetaan painottuvan erityisesti länsirannikolle, jossa uusiutuvan sähkön tuotantopotentiaali on suurin. Tämän vuoksi vedyn siirtoa varten tarvitaan myös uusia erillisiä putkistoja. [54]

Osa nykyisestä maakaasuverkosta voitaisiin muuntaa kokonaan vedyn kuljetukseen, mikä mahdollistaisi kustannussäästöjä verrattuna täysin uuden infrastruktuurin rakentamiseen. Suomessa hyödyntämismahdollisuudet ovat kuitenkin rajallisemmat kuin monissa muissa Euroopan maissa kaasuverkon maantieteellisen sijainnin sekä sen rajallisen laajuuden vuoksi. [54] Vedyn infrastruktuurin kehittäminen edellyttääkin sekä olemassa olevan verkon hyödyntämistä että uuden infrastruktuurin rakentamista. Tämä korostaa investointien sekä alueellisen suunnittelun merkitystä vetystrategian toimeenpanossa.

Laajemmin tarkasteltuna Suomen energiajärjestelmän kehittämisessä tulisi huomioida sähkö- maakaasu-, LNG- ja biokaasuinfrastruktuuri sekä tulevaisuuden vedyn siirtoverkot. Samalla on tärkeää varmistaa energiajärjestelmän huoltovarmuus ja toimitusvarmuus. Energiajärjestelmää tulee kehittää kokonaisuutena, jossa tuotannon ja kulutuksen jousto sekä resurssien tehokas hyödyntäminen tukevat uusiutuvan energian kasvua ja energiajärjestelmän kestävyyttä. [46]

Mikäli energiajärjestelmän kehitystä ei onnistuta koordinoimaan ajoissa, seurauksena voi syntyä infrastruktuurin pullonkauloja, jotka rajoittavat vetytalouden kasvua ja heikentävät Suomen kilpailukykyä. Tämän vuoksi infrastruktuurin kehittäminen edellyttää pitkäjänteistä suunnittelua, poliittista ohjausta sekä eri toimijoiden välistä yhteistyötä.

Lisäksi kotimaassa on tärkeä käydä keskustelua siitä, millaisiin infrastruktuuri-investointeihin Suomi on valmis. Tämä auttaa selvittämään mahdollisuuksia ja investointien sijoitusta alueellisesti sekä myös niiden ajoitusta. [46]

#### **5.1.4 Sääntelyn epävarmuus ja sertifiointi**

EU:n vetytalouden kehitystä ohjaava sääntely on edelleen osittain keskeneräistä, mikä luo epävarmuutta investointiympäristöön. Vetytalouden kasvun kannalta on keskeistä, että sääntelykehys on selkeä ja ennustettava. EU:n tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä sekä vähentää kasvihuonepäästöjä vähintään 55 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. [46] Vetyyn liittyvä sääntely on keskeinen osa Euroopan komission FF55-pakettia [55].

Uusiutuvaa vetyä koskevat säädökset ovat lähes valmiita, mutta vähähiilisen vedyn osalta sääntelykehys on edelleen osittain avoin. Uusiutuvan vedyn tuotantoa koskevat säädökset ovat vahvistettu direktiivitasolla ja niitä on täydennetty delegoiduilla säädöksillä. Vuonna 2023 EU hyväksyi lisäksi toimia, joiden tavoitteena on parantaa vähähiilisen sekä uusiutuvan vedyn kustannuskilpailukykyä. [55]

Vähähiilisen vedyn sääntelyn keskeneräisyys aiheuttaa epävarmuutta investointimarkkinoilla. Epävarmuus hidastaa investointien toimeenpanoa ja hankkeiden käynnistymistä, sillä toimijat odottavat EU:n asettamia säädöksiä esimerkiksi päästörajoista ja sertifiointista. Samalla sääntelyn kehittäminen tarjoaa EU:lle mahdollisuuden mukauttaa säädösten kriteerejä esimerkiksi teknologisen kehityksen ja markkinoiden muutosten mukaisiksi. Tulevat säädökset voivat siten vaikuttaa merkittävästi tuotantoteknologioiden kilpailukykyyn sekä vetymarkkinoiden rakenteeseen pitkällä aikavälillä.

Sääntelyn kokonaisvaikutus markkinoihin on kuitenkin vielä epävarma [55]. Lopulliset säädökset päästörajoista, sertifiointijärjestelmistä ja tukimekanismeista vaikuttavat suoraan investointien kannattavuuteen sekä eri tuotantoteknologioiden kilpailuun. Tämän vuoksi markkinatoimijat odottavat sääntelyn tarkentumista ennen suurten investointipäätösten tekemistä.

Standardoinnin ja sertifiointin kehittäminen on keskeinen edellytys toimivien vetymarkkinoiden syntymiselle. Tällä hetkellä yhteiset standardit ja sertifiointijärjestelmät ovat vasta kehittymässä. [55] Ilman yhteisesti hyväksytyjä määritelmiä vedyn alkuperästä, päästöistä ja kestävydestä eri tuotantomuotojen vertailu on haastavaa, mikä hidastaa markkinoiden kehitystä erityisesti kansainvälisen kaupan osalta.

Yhtenä keskeisenä sääntelykysymyksenä on vedyn siirtoinfrastruktuurin markkinamalli. Euroopan komission teettämässä selvityksessä tarkasteltiin, mitä sääntelyltä edellytetään Euroopassa vedyn siirtoinfrastruktuurin rakentamisen osalta. Tarkastelussa oli esimerkiksi kolmansien osapuolten pääsy vetyverkkoihin. Tavoitteena on varmistaa, että myös yksityisten toimijoiden rakentamat verkot voivat tulevaisuudessa palvella laajempia markkinoita. Selvityksessä tuotiin myös esiin vetyverkkoliiketoimintaan liittyviä sääntelyhaasteita. Esimerkiksi siirtohinnoittelussa, kun maakaasu- ja vetyverkkojen yhteistä verkkotoimintaan sidottua omaisuutta ja pääomaa hyödynnetään, seuraukset voivat ilmetä ristisubventiona. Maakaasun loppukäyttäjät maksaisivat osan vetyverkon kustannuksista, ja tämä muodostuisi ongelmaksi etenkin silloin, jos maakaasun ja vedyn loppukäyttäjryhmät eroavat toisistaan. [46]

Edellä ilmenevät haasteet osoittavat, että vedyn siirtoinfrastruktuurin sääntelyssä täytyy tasapainotella investointien edistämisen sekä oikeudenmukaisten markkinoiden välillä. Liian tiukka sääntely voi hidastaa investointeja ja vähentää toimijoiden halukkuutta kehittää infrastruktuuria, kun taas liian väljä sääntely voi johtaa epäreiluihin markkinaolosuhteisiin.

Yhteenvedona voidaan todeta, että EU:n sääntely ja sertifiointikäytännöt ovat merkittävässä roolissa vetytalouden kehityksessä. Ne ovat kuitenkin vielä kehittymässä. Nykyinen sääntelyn epävarmuus lisää investointiriskejä ja hidastaa hankkeiden etenemistä. Pitkällä aikavälillä selkeä ja yhtenäinen sääntelykehys on edellytys toimiville vetymarkkinoille, sillä sen avulla voidaan vähentää markkinoihin liittyvää epävarmuutta ja tukea energiamurrosta.

## **5.2 Keskeiset mahdollisuudet**

Suomella on poikkeuksellisen vahvat edellytykset ja mahdollisuudet vetytalouden kehittämiseen. Näitä tukevat erityisesti Suomen energiajärjestelmän rakenne, vahva teollinen perusta sekä laaja teknologinen osaaminen. Suomen keskeisimpiä vahvuuksia ovat vähähiilinen sekä nopeasti kasvava sähköntuotanto, teollisuuden valmius siirtyä vähäpäästöiseen tuotantoon sekä merkittävä tuulivoimapotentiaali. [46] Näiden tekijöiden ansiosta Suomella on vahva potentiaali tuottaa vetyä kilpailukykyisesti tulevaisuudessa.

Euroopan vetystrategian myötä uusiutuvan vedyn kysynnän ennustetaan kasvavan merkittävästi. Samalla EU:n kiristyvät päästövähennystavoitteet lisäävät vähäpäästöisten energiaratkaisujen tarvetta. Tämä avaa Suomelle mahdollisuuksia kehittää uutta vientiliiketoimintaa vetytalouden ympärille samalla, kun vetyä voidaan hyödyntää myös kotimaisen teollisuuden ja energiantuotannon tarpeisiin.

Lisäksi Suomen vahva teknologinen ja teollinen osaaminen tukevat vetytalouden kehitystä. Suomessa on pitkät perinteet energia- ja prosessiteollisuudessa sekä energiateknologioiden kehittämisessä, mikä luo hyvän pohjan uusien vetyratkaisujen kehittämiseksi ja kaupallistamiseksi. Tämän ansiosta Suomi voi toimia vetytaloudessa edelläkävijänä sekä kehittää teknologioita ja ratkaisuja, joille on kasvavaa kysyntää kansainvälisillä markkinoilla.

Energiapoliittisten hyötyjen lisäksi vetytalous tarjoaa Suomelle myös laajemman strategisen mahdollisuuden talouden uudistumiseen. Vetytalouden kehittäminen voi vahvistaa Suomen teollista kilpailukykyä, luoda uusia investointeja sekä edistää kestävästä talouskasvusta pitkällä aikavälillä.

## 5.2.1 Suomen kilpailukykyinen sähköntuotanto

Suomen sähköntuotannon keskeinen vahvuus on sen vähäpäästöisyys, joka perustuu erityisesti tuuli- ja ydinvoiman merkittävään rooliin energiantuotannossa. Etenkin tuulivoimapotentiaalin ansiosta Suomella on erinomaiset lähtökohdat vihreän vedyn tuotannolle. Runsaan uusiutuvan energian potentiaalin ansiosta vetylaitoksia voidaan sijoittaa lähelle tuotantoalueita ja teollisia käyttökohteita, mikä parantaa tuotannon kustannustehokkuutta.

Suomessa sähkömarkkinat toimivat vakaasti ja sähköntuotannon päästöt ovat vähentyneet merkittävästi viime vuosina. Vuoden 2025 tilastojen mukaan Suomen sähköntuotanto on lähes fossiilitonta ja sähkön hinta on Euroopassa edullisinta. [14] Kuitenkin sähkön hinnan suuret vaihtelut ovat ongelma Suomessa ja korkeat hinnat voivat aiheuttaa vedyn tuotantoon pullonkauloja. Samaan aikaan kuitenkin sähköjärjestelmän rakenteen ansiosta Suomessa on poikkeuksellisen hyvät lähtökohdat vetytalouden kehittymiselle. Tämä on erityisen tärkeää, sillä merkittävä osa vetytuotantolaitosten kustannuksista aiheutuu sähkön hankintakustannuksista [46]. Uusiutuvan sähköntuotannon lisääminen on siten keskeinen tekijä vihreän vedyn kustannuskilpailukyyn varmistamisessa.

Vedyn tuotannon suuri sähkönkulutus tarjoaa myös mahdollisuuksia kysyntäjouston [47]. Elektrolyysiin perustuva vedyn tuotanto voi toimia joustavana sähkönkuluttajana, joka lisää kulutusta tilanteissa, joissa sähköä on runsaasti saatavilla ja hinnat ovat alhaiset. Tällainen joustavuus tukee sähköjärjestelmän tasapainoa ja parantaa energiajärjestelmän kokonaistehokkuutta. Kilpailukykyinen ja vähäpäästöinen sähköntuotanto muodostaa siten strategisen perustan vetytalouden kehitykselle. [48]

Elektrolyysit voivat lisätä sähköjärjestelmän joustavuutta myös mahdollistamalla energian varastoinnin vedyn muodossa. Kun uusiutuvaa sähköä on runsaasti saatavilla, sitä voidaan käyttää vedyn tuotantoon elektrolyysin avulla. Tuotettua vetyä puolestaan voidaan hyödyntää sähköntuotannossa polttokennojen avulla silloin, kun sähköntuotanto on vähäisempää. Polttokennon sivutuotteena syntyvä vesi voidaan käyttää uudelleen elektrolyysin raaka-aineena, mikä pienentää järjestelmän kokonaisvedenkulutusta. Tällainen teknologia mahdollistaa vedyn tuottajien osallistumisen sekä sähkö- että vetymarkkinoille. [47]

Samalla elektrolyysit lisäävät myös sähköjärjestelmän joustavuutta ja vähentävät uusiutuvan tuotannon vaihtelusta aiheutuvia kustannuksia. Vedyn varastointimahdollisuudet täydentävät sähkövarastoja, kun uusituvan tuotannon

kasvaessa energiajärjestelmässä jouston merkitys korostuu entisestään. Lisäksi elektroyysilaitosten osallistuminen reservimarkkinoille voi tuoda lisätuloja, mikä parantaa vihreän vedyn investointien kannattavuutta ja tukee samalla sähköjärjestelmän hallintaa [47].

Suomen vahvuutena on myös hyvin kehittynyt sähkön siirtoverkko, joka mahdollistaa sähkön tehokkaan siirron tuotantoalueilta kulutuskeskuksiin. Tämä tarjoaa Suomelle etulyöntiaseman verrattuna moniin Keski-Euroopan maihin, joissa sähköverkon kapasiteetti on paikoin rajallinen. Vetytalouden kehittyminen lisää kuitenkin sähkön kysyntää merkittävästi, minkä vuoksi myös siirtoverkkoon tarvitaan lisäinvestointeja tulevaisuudessa. [46].

Näin ollen Suomen kilpailukyky vetytaloudessa perustuu paitsi vähäpäästöiseen ja kilpailukykyiseen sähköntuotantoon myös sähköverkon riittävään kapasiteettiin ja sen jatkuvaan kehittämiseen.

## 5.2.2 Vientimahdollisuudet ja kasvava markkinakysyntä

Euroopan teollisuus tarvitsee merkittäviä määriä vähäpäästöistä vetyä esimerkiksi teräksen, kemikaalien ja synteettisten polttoaineiden tuotantoon. Kasvavan vedyn kysynnän myötä Suomella on mahdollisuus hyödyntää tätä kehitystä tuottamalla vetyä ja sen johdannaisia kansainvälisille markkinoille. Vedyn tuotannon lisäksi on tärkeää kehittää siihen liittyvää teknologiaa ja laitteistoja.

Vetytalous tarjoaa Suomelle merkittäviä mahdollisuuksia erityisesti vientiteollisuuden näkökulmasta. Maassa on jo valmiiksi vähähiilinen sähköntuotanto, huomattava tuulivoiman lisärakentamispotentiaali sekä vahva kantaverkko, joita voidaan hyödyntää vedyn ja sähköpolttoaineiden tuotannossa sekä kotimaassa, että vientimarkkinoilla. [56] Vetytalouden kehittyminen voi muodostua Suomelle strategisesti hyvin merkittäväksi kasvualaksi. Onnistuminen riippuu kuitenkin pitkälti siitä, kuinka tehokkaasti pystytään hyödyntämään maan vahvuuksia ja vastaamaan nopeasti muuttuviin kansainvälisiin markkinoihin.

Kotimaan tarpeiden kattamisen ohella Suomella on merkittävät mahdollisuudet viedä vetyä ja sähköpolttoaineita ulkomaille. Erityisen houkuttelevia ovat korkean jalostusarvon tuotteet, kuten esimerkiksi fossiilivapaasti tuotettu teräs, jotka voivat vahvistaa Suomen vientituloja ja teollista kilpailukykyä. [57] Korkean jalostusarvon tuotteiden vienti siirtää taloutta kohti teknologisesti kehittyneempiä ja ympäristöystävällisiä tuotantomuotoja.

Vetypohjaisten ratkaisujen avulla Suomen teollisuus pystyy vastaamaan kansainväliseen kysyntään, jossa eri toimijat pyrkivät vähentämään toimitusketjujensa hiilijalanjälkeä. Tämä kehitys voi myös lisätä suomalaisen teollisuuden houkuttelevuutta kansainvälisille investoinneille.

Vetytalous voi tarjota Suomelle merkittävän mahdollisuuden vahvistaa omaa asemaansa globaalisti puhtaan energian ja kestävä teollisuuden edelläkävijänä. Onnistuminen kuitenkin vaatii tiivistä yhteistyötä vetytalouden edistämiseksi sekä kykyä reagoida nopeasti markkinoiden muutoksiin. Näiden tekijöiden avulla Suomi voi hyödyntää vetytalouden tarjoamat kasvunäkymät sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta kestävästi.

Vientimarkkinoilla menestyminen edellyttää myös kansainvälisten yhteistyöverkostojen rakentamista ja pitkäaikaisten asiakassuhteiden luomista. Tuotannon on pysyttävä luotettavana ja kustannustehokkaana, jotta Suomi voi toimia vedyn markkinoilla kilpailukykyisesti. Pitkällä aikavälillä vetytalous voi vahvistaa Suomen asemaa kestävä teollisuuden edelläkävijänä, samalla tukien työllisyyttä ja talouskasvua.

### **5.2.3 Suomen asema EU:n vetytalouden edelläkävijänä**

Suomen asemaa vetytalouden osalta vahvistavat suunnitteilla olevat investoinnit, vetytalousklusterit ja kansalliset strategiat. Mikäli Suomi pääsee varhaisessa vaiheessa liikkeelle vedyn tuotannossa ja vetytalouden kehittämisessä, voi ne luoda maahan merkittävää osaamista, houkutella investointeja sekä vahvistaa maan roolia Euroopassa.

Suomen tavoitteena on saavuttaa johtava kilpailuasema vetytaloudessa. Tavoitteena on tuottaa 10 prosenttia EU:n vihreästä vedystä. Vahvuuksina Suomessa on etenkin vakaa ja ennakoitava toimintaympäristö, suhteellisen sujuvat lupaprosessit sekä toimiva maankäytön suunnittelu. Investointien toteutuminen edellyttää myönteistä ja kannustavaa ilmapiiriä, edistävää sääntelyä ja riittäviä taloudellisia kannustimia. [33] Investointien toteutumisen kannalta keskeisessä roolissa ovat myös pitkäjänteinen poliittinen suunnittelu ja sitoutuminen sekä yhteistyö eri sektoreiden ja yritysten välillä.

Vetytalouden kehittäminen vahvistaa myös Suomen energiaomavaraisuutta ja vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Samalla se lisää Suomen vientimahdollisuuksia sekä edistää alueellista kehitystä erityisesti alueilla, joilla uusiutuvan energian tuotanto on suurta.

Suomen kilpailukykyinen sähkön hinta, luotettava energijärjestelmä sekä runsaat uusiutuvan energian sekä biogeenisen hiilidioksidin varannot tekevät Suomesta erinomaisen toimija Euroopan vetytaloudessa [24]. Näiden tekijöiden ansiosta Suomella on mahdollisuus tuottaa vihreää vetyä kustannustehokkaasti, mikä luo edellytyksiä toimia sekä vedyn tuottajana että viejänä.

Suomesta löytyy vetytaloutta tukevaa osaamista ja teknologiateollisuutta [58]. Tämä osaaminen sekä pitkälle kehittyneet teknologiat tukevat vetytalouden kehitystä merkittävästi. Suomessa olisi tärkeää panostaa tutkimukseen, teknologiseen kehitykseen sekä osaajajoukon kasvattamiseen, jotta vetytalouden mahdollisuudet voidaan hyödyntää täysimääräisesti.

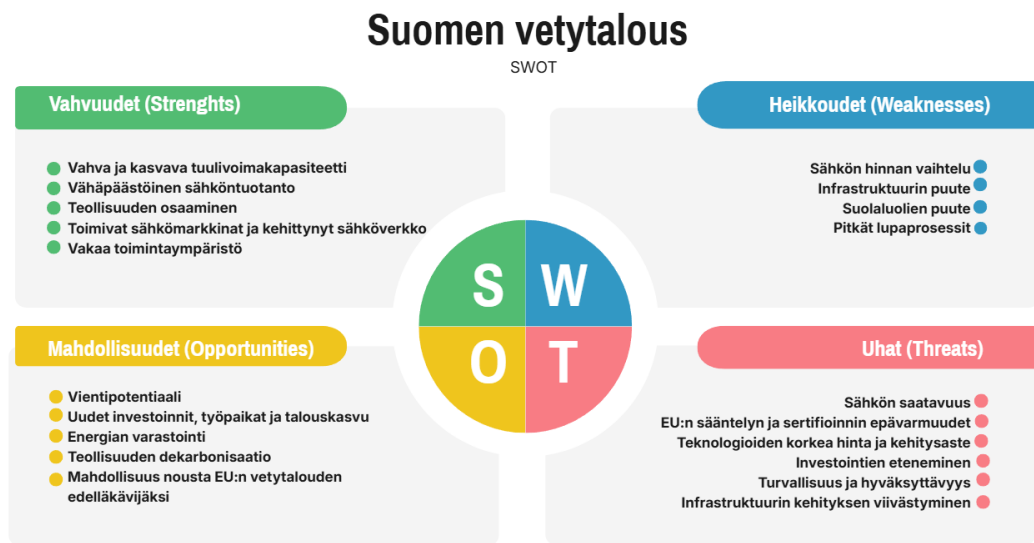
Vedyn tuotannossa syntyvää hukkalämpöä voidaan hyödyntää Suomessa esimerkiksi kaupunkien kaukolämpöverkoissa tai myydä teollisuuden käyttöön [47]. Tämä lisää energiatehokkuutta ja taloudellista kannattavuutta. Samalla energiantuotanto saa lisäarvoa ja Suomen asema vihreän vedyn tuottajana vahvistuu, kun vedyn tuotanto sulautuu olemassa olevaan infrastruktuuriin.

Vetyklusterin julkaisemassa vetytalouden tiekartassa esitetään toimenpiteitä, joiden avulla Suomi voi nousta Euroopan kilpailukykyisimmäksi vetytalousmaaksi vuoteen 2035 mennessä [59]. Tiekartassa korostetaan etenkin uusiutuvan energian tuotannon lisäämistä, vedyn tuotantokapasiteetin kasvattamista sekä infrastruktuurin kehittämistä vetytalouteen sopivaksi. Näiden toimenpiteiden avulla Suomi voi luoda vahvan pohjan vetytaloudelle. [23]

Suomella on hyvät mahdollisuudet kehittää vetytaloutta ja saavuttaa alalla kilpailuetua. Vetytalouden kehittäminen vahvistaa maan taloutta, energijärjestelmää sekä kansainvälistä kilpailukykyä. Onnistuminen riippuu kuitenkin hyvin pitkälti siitä, kuinka hyvin Suomi onnistuu hyödyntämään omat vahvuudet ja samalla vastaamaan alan tulevaisuuden haasteisiin. Kehitystyötä on jatkettava määrätietoisesti ja yhteistyö eri toimijoiden kanssa tulee olemaan keskeisessä roolissa tavoitteiden saavuttamisessa

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkasteltiin EU:n vetystrategian vaikutuksia Suomen energiasektorille. Työssä perehdyttiin Suomen energiasektorin rakenteeseen ja sen kehityssuuntiin vetytalouden näkökulmasta, poliittisten, taloudellisten ja rakenteellisten tekijöiden kautta sekä analysoitiin niihin liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia. Kuvassa 2 on esitetty Suomen vetytalouden vahvuudet, mahdollisuudet, heikkoudet ja uhat SWOT- taulukon avulla.



**Kuva 2:** SWOT-analyysi Suomen vetytaloudesta

Vedyllä tulee olemaan merkittävä rooli Suomen, Euroopan ja globaalin energijärjestelmän tulevaisuudessa. Sen avulla voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä, turvata kestävä energiantuotanto sekä luoda uusia teollisuuden ja viennin mahdollisuuksia. Vedyn hyödyntäminen edellyttää kuitenkin jatkotutkimuksia ja merkittäviä investointeja muun muassa vedyn tuotanto- ja jakeluratkaisuihin liittyen. Sen laajamittainen käyttöönotto tuo mukanaan sekä mahdollisuuksia että uusia haasteita.

Suomella on vetytalouden kehittämiseen erinomaiset lähtökohdat, erityisesti runsaan uusiutuvan energian tuotantopotentiaalin ja vakaan energiainfrastruktuurin ansiosta. Tämä tarjoaa mahdollisuuden saavuttaa kilpailuetua puhtaan vedyn tuotannossa ja viennissä Euroopan markkinoille. Samalla vetytalouden onnistuminen edellyttää omien vahvuuksien hyödyntämistä, nopeaa reagointikykyä muuttuviin markkinaolosuhteisiin sekä toimijoiden välistä yhteistyötä ja jatkuvaa tutkimus- ja kehitystyötä.

Vedyn laajamittaisen käyttöönoton haasteita ovat teknologian kustannukset, infrastruktuurin rakentamisen vaatimukset ja vedyn kysynnän kehittyminen, jotka vaikuttavat käyttöönottoon ja kannattavuuteen. Laajamittainen vedyn tuotanto lisää riippuvuutta sähköntuotannon kapasiteetista ja sähköverkkojen toimintavarmuudesta. Häiriöt sähköverkossa tai sähköntuotannossa voivat vaikuttaa suoraan vedyn tuotantoon, mikä tuo esiin uusia haasteita energiaturvallisuuteen. Tämän vuoksi vetytalouden kehittämisen rinnalla on välttämätöntä panostaa sähköverkkojen toimintavarmuuteen, hajautettuun uusiutuvaan tuotantoon, vedyn varastointiratkaisuihin sekä kotimaisen teknologiaosaamisen vahvistamiseen, jotta sen potentiaali voidaan hyödyntää turvallisesti ja kestävästi.

EU:n vetystrategian pitkän aikavälin vaikutukset riippuvat monista tekijöistä, kuten sähkön saatavuudesta ja hinnasta, infrastruktuuri- ja investointihankkeiden toteutumisesta sekä vedyn kysynnän kehittymisestä. Näiden epävarmuustekijöiden vuoksi strategian vaikutuksia voidaan tarkastella parhaiten skenaariotarkastelun avulla.

Parhaimmassa skenaariossa Suomessa toteutuu merkittävä tuulivoimakapasiteetin kasvu, mikä mahdollistaa edullisen ja runsaan sähköntuotannon. Vedyn kysyntä kasvaa erityisesti terästeollisuudessa, kemianteollisuudessa sekä synteettisten polttoaineiden tuotannossa. Vetyinfrastruktuuri rakentuu ja P2X-hankkeet toteutuvat myös suunnitellusti. Suomi voi tuottaa jopa 10 % EU:n vihreästä vedystä vuoteen 2030 mennessä, mikä luo merkittävää taloudellista hyötyä ja yli 100 000 uutta työpaikkaa.

Realistisimmassa skenaariossa osa suunnitelluista investoinneista toteutuu, mutta osa viivästyy tai kokonaan peruuntuu. Vedyn tuotanto keskittyy tässä vain muutamiin teollisiin keskittymiin, kuten Perämeren alueelle ja länsirannikolle. Sen keskeisimmät käyttökohteet ovat vihreän teräksen tuotannossa, kemianteollisuudessa sekä raskaassa liikenteessä synteettisenä polttoaineena. Vetytalous muodostuu merkittäväksi uudeksi teollisuudenalaksi ja vientimahdollisuudeksi, mutta ei kuitenkaan Suomen talouden keskeiseksi peruspilariksi. Taloudelliset vaikutukset voivat olla noin 10–20 miljardia euroa vuodessa, samalla luoden kymmeniä tuhansia uusia työpaikkoja. Samalla vedyntuotanto kasvattaa merkittävästi sähkön kysyntää ja vedystä tulee yksi Suomen suurimmista sähkönkuluttajista.

Pahimmassa skenaariossa vihreän vedyn tuotanto ei saavuta riittävää kustannuskilpailukykyä ja vihreän vedyn tuotanto jää liian kalliiksi. Sähkön hinta pysyy korkeana tai vaihtelevana, mikä heikentää elektrolyysillä tuotetun vedyn kannattavuutta. Investoinnit voivat siirtyä EU:n ulkopuolelle, infrastruktuurin rakentaminen viivästyy ja paikallinen vastustus tai sääntely hidastavat hankkeiden toteutumista. Tällöin EU:n

vetystrategian vaikutukset Suomen energiasektorille ja kansantaloudelle jäävät odotettua pienemmiksi.

Kaikki skenaariot osittavat, että EU:n vetystrategian vaikutukset voivat vaihdella merkittävästi riippuen taloudellisista, teknologisista ja poliittisista tekijöistä. Vaikka vetytalouteen liittyy epävarmuuksia, sillä on potentiaalia nousta merkittäväksi uudeksi teollisuuden ja energiasektorin kehityssuunnaksi Suomessa tulevina vuosikymmeninä. Vetytalouden onnistuminen edellyttää kuitenkin sähköverkon ja infrastruktuurin joustavuutta sekä kotimaisen teknologiaosaamisen vahvistamista, jotta sen mahdollisuudet voidaan hyödyntää turvallisesti, kestävästi ja taloudellisesti kannattavalla tavalla.

# LÄHTEET

- [1] European Commission. Key actions of the EU Hydrogen Strategy. Saatavissa (21.1.2026): [https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy_en)
- [2] Fanny Pekkala. (2024). Vetyperusteisten polttoaineiden tuotanto. [kandidaatintyö Oulun yliopisto] Saatavissa (21.1.2026): <https://oulurepo oulu.fi/bitstream/handle/10024/49958/nbnfioulu-202405243924.pdf;jsessionid=A8DAAB7353FF82B0B804EF4FC422960A?sequence=1>
- [3] Joutsenmerkki. Ilmastoneutraali Eurooppa. Saatavissa (22.1.2026): <https://joutsenmerkki.fi/ymparistoteemat/eu-green-deal/ilmastoneutraali-eurooppa/>
- [4] Makkonen W. (2022). Perceptions of the Finnish Stakeholders on the EU's Fit for 55 package proposal on Forestry Carbon Removals and Social Wellbeing. Saatavissa (22.1.2026): [https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN\\_TAMPO/1j3mh4m/alma9911745386805973](https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911745386805973)
- [5] REPower the EU, yhteistyö energiakumppaneiden kanssa muuttuvassa maailmassa. Luxembourg: Publications Office; 2022. Saatavissa (22.1.2026): [https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN\\_TAMPO/176jdv/cdi\\_officepubeu\\_primary\\_vtIs000530834](https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdv/cdi_officepubeu_primary_vtIs000530834)
- [6] IPCEI BATTERIES. About IPCEI. Saatavissa (22.1.2026): <https://www.ipcei-batteries.eu/about-ipcei>
- [7] Gasgrid. (2025). Vedyn sertifiointi tuo tervetullutta läpinäkyvyyttä puhtaan vedyn markkinoille. Saatavissa (22.1.2026): <https://gasgrid.fi/2025/09/16/vedyn-sertifiointi-tuo-tervetullutta-lapinakyvyytta-puhtaan-vedyn-markkinoille/>
- [8] EUI Florence School Of Regulation. (2024). Hydrogen certification. Saatavissa (22.1.2026): <https://fsr.eui.eu/hydrogen-certification/>
- [9] European Commission. Hydrogen. Saatavissa (9.2.2026): [https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen_en)
- [10] European Hydrogen Observatory. (2025). EU Hydrogen Strategy under the EU Green Deal. Saatavissa (9.2.2026): <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/eu-policy/eu-hydrogen-strategy-under-eu-green-deal>
- [11] Norton Rose Fulbright. Understanding hydrogen in the EU. Saatavissa (9.2.2026): <https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/7b3fdaed/understanding-hydrogen-in-the-eu>
- [12] European Commission. Mechanism to support the market development of hydrogen. Saatavissa (9.2.2026): [https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy_en)

[system/hydrogen/european-hydrogen-bank/mechanism-support-market-development-hydrogen\\_en](https://www.euro-hydrogen.eu/system/hydrogen/european-hydrogen-bank/mechanism-support-market-development-hydrogen_en)

- [13] American Institute of Chemical Engineers. What is CCUS?. Saatavissa (9.2.2026): <https://www.aiche.org/ccusnetwork/what-ccus>
- [14] Energiateollisuus. (2026). Energiatilastot 2025: Kaukolämmön päästöt putosivat kolmanneksella, sähkö lähes fossiilitonta ja Euroopan edullisinta. Saatavissa (10.2.2026): <https://energia.fi/tiedotteet/energiatilastot-2025-kaukolammon-paastot-putosivat-kolmanneksella-sahko-lahes-fossiilitonta-ja-euroopan-edullisinta/>
- [15] Energiateollisuus. Energiantuotanto. Saatavissa (9.2.2026): <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/>
- [16] Energiateollisuus. Sähköntuotanto. Saatavissa (9.2.2026): <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/#collapse-header-38572>
- [17] Työ- ja elinkeinoministeriö. Uusiutuva energia Suomessa. Saatavissa (11.2.2026): <https://tem.fi/uusiutuva-energia>
- [18] Motiva. Uusiutuva energia. Saatavissa (11.2.2026): <https://www.motiva.fi/uusiutuva-energia/>
- [19] Aaro Ruohola. (2019). Uusiutuvan energian lisäyspotentiaali Suomen sähkön- ja lämmöntuotannossa. [kandidaatintyö Tampereen Yliopisto]. Saatavissa (12.2.2026): <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/118857/RuoholaAaro.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [20] Reuters. (2024). Google invests 1 billion euros in Finnish data centre to drive AI growth. Saatavissa (10.2.2026): <https://www.reuters.com/technology/google-invests-1-billion-euros-finnish-data-centre-drive-ai-growth-2024-05-20/>
- [21] H.Kivilinna, S.Kokko ja M.Meckelin. (2025). Vedyn tuotanto ja käyttö – nykytilan raportti. Saatavissa (11.2.2026): <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/899046/Vedyn%20tuotanto%20ja%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20-%20nykytilan%20raportti.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [22] Työ- ja elinkeinoministeriö. (2023). Hallitus hyväksyi periaatepäätöksen vedystä – Suomella edellytykset valmistaa 10 prosenttia EU:n vihreästä vedystä 2030. Saatavissa (12.2.2026): <https://tem.fi/-/hallitus-hyvaksyi-periaatepaatoksen-vedysta-suomella-edellytykset-valmistaa-10-prosenttia-eu-n-vihreasta-vedysta-2030>
- [23] H2 Cluster Finland. Hydrogen economy roadmap for Finland: Europe's most competitive hydrogen economy. Saatavissa (12.2.2026): <https://h2cluster.fi/wp-content/uploads/2026/01/Hydrogen-economy-roadmap-for-Finland.pdf>
- [24] Gasgrid. Suomesta maailman houkuttelevin vetytalousmaa. Saatavissa (11.2.2026): <https://gasgrid.fi/kehitys/suomesta-maailman-houkuttelevin-vetytalousmaa/>

- [25] Energiateollisuus. Vetymarkkinat. Saatavissa (11.2.2026): <https://energia.fi/energiatietoa/energiamarkkinat/vetymarkkinat/>
- [26] BalticSeaH2. Creating Europe's First Large-Scale Cross-Border Hydrogen Valley. Saatavissa (11.2.2026): <https://balticseah2valley.eu/>
- [27] Uudenmaanliitto. (2024). Uudenmaan EU-tasoisien TKI-toiminnan tiekartta. Saatavissa (11.2.2026): <https://uudenmaanliitto.fi/wp-content/uploads/2024/02/Uudenmaan-EU-tasoisien-TKI-toiminnan-tiekartta.pdf>
- [28] Työ- ja elinkeinoministeriö. (2024). Irtautuminen venäläiskaasusta etenee – EU varautuu tulevaan talveen. Saatavissa (11.2.2026): <https://tem.fi/-/irtoaminen-venalaiskaasusta-etenee-eu-varautuu-tulevaan-talveen>
- [29] Gasgrid. Nordic Hydrogen Route. Saatavissa (11.2.2026): <https://gasgrid.fi/kehitys/nordic-hydrogen-route/>
- [30] Gasgrid. Nordic-Baltic Hydrogen Corridor. Saatavissa (11.2.2026): <https://gasgrid.fi/kehitys/nordic-baltic-hydrogen-corridor/>
- [31] Gasgrid. Baltic Sea Hydrogen Collector. Saatavissa (11.2.2026): <https://gasgrid.fi/kehitys/baltic-sea-hydrogen-collector/>
- [32] EUR-Lex. Trans-European networks (TENs). Saatavissa (11.2.2026): <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/glossary/trans-european-networks-tens.html>
- [33] Valtioneuvosto. (2023). Hallitus hyväksyi periaatepäätöksen vedystä – Suomella edellytykset valmistaa 10 % EU:n vihreästä vedystä 2030. Saatavissa (11.2.2026) <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/hallitus-hyvaksyi-periaatepaatoksen-vedysta-suomella-edellytykset-valmistaa-10-prosenttia-eu-n-vihreasta-vedysta-2030>
- [34] Teknologiateollisuus. (2023). Suomella on ainutlaatuinen tilaisuus nousta Euroopan johtavaksi vetytaloudeksi. Saatavissa (11.2.2026): <https://teknologiateollisuus.fi/suomella-on-ainutlaatuinen-tilaisuus-nousta-euroopan-johtavaksi-vetytaloudeksi/>
- [35] European Hydrogen Observatory. (2025). Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package. Saatavissa (12.2.2026): <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/eu-policy/hydrogen-and-decarbonised-gas-market-package>
- [36] Ren-Gas. (2024). Nordic Ren-Gas Wins in the First EU Hydrogen Auction with EUR 45 million Bid. Saatavissa (10.2.2026): <https://ren-gas.com/news/nordic-ren-gas-wins-in-the-first-eu-hydrogen-auction-with-eur-45-million-bid/>
- [37] European Commission. Approved IPCEIs in the Hydrogen value chain. Saatavissa (10.2.2026): [https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/ipcei/approved-ipceis/hydrogen-value-chain\\_en](https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/ipcei/approved-ipceis/hydrogen-value-chain_en)
- [38] Työ- ja elinkeinoministeriö. Tutkimus-, kehitys- ja innovaatorahoitus. Saatavissa (11.2.2026): <https://tem.fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatorahoitus>
- [39] Euroopan tilintarkastustuomioistuin. (2024). Erityiskertomus 11/2024: Uusiutuva vetyä koskeva EU:n teollisuuspolitiikka – Säädoskehitys pääosin hyväksytty – tilannearvion aika. Saatavissa (11.2.2026):

[https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN\\_TAMPO/1u1dubj/cdi\\_officepubeu\\_primary\\_vtIs000590709](https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1u1dubj/cdi_officepubeu_primary_vtIs000590709)

- [40] European Hydrogen Observatory. (2025). Western Finland becomes EU's Bothnia Hydrogen Valley. Saatavissa (11.2.2026): <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/western-finland-becomes-eus-bothnia-hydrogen-valley>
- [41] Kaisa Kallio. (2023). Vetytalouden tulevaisuuden mahdollisuudet. [kandidaatintyö Tampereen Yliopisto]. Saatavissa (11.2.2026): <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/148616/KallioKaisa.pdf;jsessionid=4E10645D9505CAA837E9441C8233CE11?sequence=2>
- [42] Energiateollisuus. Tuulivoima. Saatavissa (12.2.2026): <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/tuulivoima/>
- [43] Karjunen, H., Inkeri, E., & Tynjälä, T. (2021). Mapping Bio-CO<sub>2</sub> and Wind Resources for Decarbonized Steel, E-Methanol and District Heat Production in the Bothnian Bay. *Energies*, 14(24), 8518. Saatavissa (9.3.2026): <https://doi.org/10.3390/en14248518>
- [44] Wolti Power. Energian varastointi vetyteknologialla. Saatavissa (11.2.2026): <https://wolti.fi/energian-varastointi-vetyteknologialla/>
- [45] Magnino, A., Marocco, P., Saarikoski, A., Ihonen, J., Rautanen, M., & Gandiglio, M. *Journal of Energy Storage*. (2024). Total cost of ownership analysis for hydrogen and battery powertrains: A comparative study in Finnish heavy-duty transport. Saatavissa (9.3.2026): <https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1016/j.est.2024.113215>
- [46] Valtioneuvosto. (2022). Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. Saatavissa (12.2.2026): <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/server/api/core/bitstreams/4e52173c-4d47-4173-9485-237359f2e9e3/content>
- [47] Onni Tikkanen. Fimpec. (2023). Vetymarkkinan nykytila ja tulevaisuus. Saatavissa (12.2.2026): <https://fimpec.fi/nakemyksia/business-insights/vetymarkkinan-nykytila-ja-tulevaisuus/>
- [48] Vattenfall. (2023). Fossiilivapaa vety tulee – näin vetytalous muuttaa yhteiskuntaa. Saatavissa (12.2.2026): <https://www.vattenfall.fi/fokuksessa/fossiilivapaa/fossiilivapaa-vety/>
- [49] Niko Stenius. OAMK. (2025). Tuulivoimapuistojen rakentaminen Suomessa – hankkeesta käytäntöön. Saatavissa (12.2.2026): <https://oamkjournal.oamk.fi/2025/tuulivoimapuistojen-rakentaminen-suomessa-hankkeesta-kaytantoon/>
- [50] McKinsey. (2023). Global energy perspective – hydrogen outlook. Saatavissa (12.2.2026): <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-hydrogen-outlook>
- [51] Euroopan Komissio. (2020). Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energia alan kilpailukyvyen edistymisestä. Saatavissa

- (12.2.2026): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0953>
- [52] Kiviaho, J. VTT. (2025). Näin vihreä vety muuttaa energiajärjestelmäämme. VTT. Blogit. Saatavissa (12.2.2026): <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/nain-vihrea-vety-muuttaa-energiajarjestelmaamme>
- [53] Catapult Energy Systems. (2025). What you need to know about hydrogen salt cavern storage – Frank Bridge and Dr. Daniel Curry. Saatavissa (12.2.2026): <https://es.catapult.org.uk/insight/hydrogen-salt-cavern-storage>
- [54] Lipiäinen, S., Lipiäinen, K., Ahola, A., & Vakkilainen, E., International Journal of Hydrogen Energy. (2023). Use of existing gas infrastructure in European hydrogen economy. Saatavissa (10.3.2026): <https://doi-org.lib-proxy.tuni.fi/10.1016/j.ijhydene.2023.04.283>
- [55] Euroopan tilintarkastustuomioistuin. (2024). Erityiskertomus 11/2024: EU:n uusiutuva vetyä koskeva teollisuuspolitiikka – Oikeudellinen kehys on pääosin hyväksytty – aika tarkastella tilannetta. Saatavissa (13.2.2026): <https://www.eca.europa.eu/en/publications?ref=SR-2024-11>
- [56] Valtioneuvosto. (2022). Tutkimus: Vetytalous on Suomelle mahdollisuus vientiteollisuuden kautta. Saatavissa (17.2.2026): <https://valtioneuvosto.fi/-/10616/tutkimus-vetytalous-on-suomelle-mahdollisuus-vientiteollisuuden-kautta>
- [57] Sivill, L. AFRY. (2022). Vetytalouden mahdollisuudet ja rajoitteet Suomessa. Saatavissa (17.2.2026): [https://afry.com/sites/default/files/2022-04/2\\_vety\\_suomessa\\_29\\_03\\_2022\\_v1.pdf](https://afry.com/sites/default/files/2022-04/2_vety_suomessa_29_03_2022_v1.pdf)
- [58] TEK. (2025). Vetytalous Suomelle tukipilariksi. Saatavissa (17.2.2026): <https://www.tek.fi/fi/uutiset-blogit/vetytalous-suomelle-tukipilariksi>
- [59] STT Info. (2026). Suomen vetyklusterin tiekartta julki: Euroopan kilpailukykyisin vetytalous tehdään yhteisvoimin. Saatavissa (17.2.2026): <https://www.sttinfo.fi/tiedote/71732382/suomen-vetyklusterin-tiekartta-julki-euroopan-kilpailukykyisin-vetytalous-tehdaan-yhteisvoimin?publisherId=69820741&lang=fi>