

# Laajennettu tiivistelmä: Vety osana tulevaisuuden energiajärjestelmää

Keywords: vety, energiajärjestelmä, sektori-integraatio

\*Corresponding Author: Yrjö Majanne: Tampereen Yliopisto, E-mail: yrjo.majanne@tuni.fi

Second Author: Arttu Virtanen, Tampereen yliopisto, [arttu.virtanen@tuni.fi](mailto:arttu.virtanen@tuni.fi)

Third Author: Matti Vilkkö, Tampereen yliopisto, [matti.vilkkö@tuni.fi](mailto:matti.vilkkö@tuni.fi)

## 1 Johdanto

Vihreässä siirtymässä fossiiliset energialähteet korvataan uusiutuvilla energialähteillä. Käytännössä tämä tarkoittaa myös suurelta osin siirtymää säädettävästä energiantuotannosta säariippuvaan energiantuotantoon. Erityisesti sähköenergian suhteen tämä aiheuttaa systeemiteknisii haasteita, koska sähköenergiajärjestelmässä tuotannon ja kulutuksen on oltava tasapainossa joka hetki.

Sähköenergian suuren mittakaavan varastointi ei ole ainakaan lähitulevaisuudessa mahdollista, joten vaihtele-  
van tuotannon aiheuttama ongelma sähköenergiajärjestelmän tasapainottamisessa on ratkaistava joustavalla kulutuksella. Tällä hetkellä vihreään vedyntuotantoon perustuva vetytalous nähdään potentiaalisimpana keinona mahdollistaa siirtymä fossiilienergiavapaaseen yhteiskuntaan. Periaatteena on tasata säariippuvan sähköntuotannon vaikutuksia sähköenergiajärjestelmän toimintaan joustavalla sähköön perustuvalla vedyn tuotannolla.

Yksinkertaisen toimintaperiaatteen käytäntöönpano ei ole kuitenkaan helppo ja suoraviivainen asia. Jotta energiajärjestelmä voitaisiin tasapainottaa vedyn avulla, se edellyttää, että sekä vedyn tuotanto että vedyn jatkojalostusprosessit ovat käytöltään joustavia, ja tuotantoketjun välituotteita voidaan siirtää ja varastoida edullisesti. Toinen merkittävä seikka on mittakaava, paljonko sähköä ja elektrolyysikapasiteettia tarvitaan korvaamaan nykyisin käytössä olevat fossiiliset polttoaineet. Muutama esimerkki valaisee mittakaavaa; suunnitteilla oleva Raahan terästehtaan tuotannon muuttaminen hiilivapaaksi vaatii vuositason n. 10 TWh sähköä. Tämä on yli 10% Suomen tämän hetkisestä sähköenergian kulutuksesta. Suomessa käytettävien fossiilisten liikennepolttoaineiden korvaaminen ns. Power2X sähköpolttoaineilla vaatisi n. 150 TWh sähköä.

Tämä on lähes kaksi kertaa Suomen nykyinen sähkökulutus. Vihreän siirtymän toteuttaminen vedyn avulla on siis mittaluokaltaan valtava hanke, joka edellyttää koko energiainfrastruktuurin uudistamista.

Tässä esityksessä esitellään tutkimustuloksia Business Finlandin rahoittamasta HYGCEL hankkeesta, Hydrogen and carbon value chains in green electrification. Nelivuotisessa hankkeessa on mukana Tampereen yliopisto, LUT yliopisto ja Itä-Suomen yliopisto. Esityksessä kerrotaan mallinustehtävästä, jossa tutkitaan vetytalouden vaikutuksia Suomen energiainfrastruktuuriin, miten uusiutuva energian tuotanto, vedyn tuotanto, vedyn jatkojalostusprosessit ja erilaiset varastot tulisi sijoittaa niin että järjestelmä olisi toimiva ja toteutettavissa minimikustannuksin.

## 2 Vetytalouden komponentit

Vihreä vety on hiilivapaalla uusiutuvalla sähköllä elektrolyysiprosessissa vettä hajottamalla tuotettua vetyä. Vety on hankalasti siirrettävissä ja varastoitavissa olevaa ainetta, koska olemassa olevat siirtotiet ja varastot eivät materiaaliteknisistä syistä johtuen sovellu sellaisenaan vedylle. Tästä johtuen suurin osa tuotetusta vedystä tullaan prosessoimaan edelleen metaaniksi, metanoliksi, ammoniakiksi sekä muiksi kemian teollisuuden hiilivetyperusteisiksi raaka-aineiksi. Hiilivetyjen tuotannossa vedyn lisäksi tarvitaan myös hiilidioksidia, jonka saatavuus on yksi merkittävä tekijä tuotantoyksiköiden sijoitusta mietittäessä.

Vedyn tuotantoon on käytettävissä erilaisia elektrolyysereitä, jotka eroavat toisistaan hyötysuhteen, tuotettavan vedyn puhtauden, toimintalämpötilan, toiminta-alueen leveyden ja toimintapisteen muutosnopeuden suhteen. Myös investointikustannuksiltaan erityyppiset elektrolyysilaitteistot poikkeavat toistaan huomattavasti mm. niissä käytettävien katalyyttien hinnoista johtuen. Elektrolyysereiden toimintalämpötilat vaikuttavat siihen, miten prosessissa syntyvää hukkalämpöä voidaan hyödyntää kytkemällä niitä osaksi lämmitysjärjestelmiä. Yleisesti ottaen elektrolyysit ovat toiminnaltaan joustavia, niillä on laaja toiminta-alue ja suuri kuormanmuutosnopeus.

Vedyn jatkojalostuksessa hiilivedyksi käytetään Fisher Tropsch ja Sabatier prosesseja, ja ammoniakin valmistuksessa Haber – Bosch prosessia. Nämä prosessit toimivat korkeissa lämpötiloissa ja paineissa, ja ne eivät ole toiminnaltaan kovinkaan joustavia, vaan niitä pyritään ajamaan vakiotoimintapisteesä.

Vedyn suora käyttö teollisuusprosessien raaka-aineena ja lämmönlähteenä ei ole kovin joustavaa, koska teollisuuden prosessit toimivat tyypillisesti vakiotoimintapisteesä vaatien tasaiset materiaali- ja energiavirtaukset.

Esimerkiksi rautamalmin vetyelkistystä osana teräksen valmistusprosessia ei voi heilutella tuuliolosuhteista riippuen.

Koska järjestelmä pitää sisällään sekä joustavia että joustamattomia komponentteja, tarvitaan varastoja tasamaan vaihtelevan tuotannon ja tasaisen kulutuksen välisiä eroja. Yksi keskeinen tutkimuskysymys hankkeessa onkin, kuinka paljon ja millaisia varastoja tarvitaan, jotta systeemi voi toimia.

### 3 Vetysysteemin mallintaminen osana energijärjestelmää

HYGCEL projektissa mallinnetaan Suomen energijärjestelmän toimintaa tilanteessa, missä järjestelmä sisältää runsaasti tuulivoiman tuotantoa, vedyn tuotantoa ja vedyn jatkojalostusta sähköpolttoaineiksi ja kemian teollisuuden raaka-aineiksi. Mallia käytetään optimaalisen kuormanjaon, eli dispatch-ongelman ratkaisemiseen. Mallin avulla etsitään vastauksia kysymyksiin:

- Kuinka paljon elektrolyysikapasiteettia tarvitaan tuottamaan haluttu määrä vetyä
- Kuinka paljon jatkojalostuskapasiteettia tarvitaan tuottamaan haluttu lopputuotemäärä
- Millaisia sähkön, vedyn, hiilidioksidin ja lopputuotteiden siirtokapasiteetteja tarvitaan eri tuotantoyksiköiden sijoitusvaihtoehdoilla
- Paljonko tarvitaan varastokapasiteettia tasamaan vaihtelevan tuotannon ja tasaisen kulutuksen välinen ristiriita
- Mitä tuotetta varastoidaan ja mihin varastot sijoitetaan
- Miten elektrolyysissä ja jatkojalostusprosesseissa syntyvä hukkalämpö saadaan hyödynnettyä
- Millaiseksi muodostuu vedyn ja siitä jalostettujen tuotteiden hinta erilaisilla infraratkaisuilla

Vetysysteemin ja muun energijärjestelmän toimintaa mallinnetaan VTT:n kehittämällä Backbone mallinnusohjelmalla. Backbone muodostaa syöttötiedostot GAMS ohjelmistolle, jota käytetään optimointiongelman ratkaisuun. Mallissa Suomi on jaettu yhdeksään maantieteelliseen alueeseen, jotka kytkeytyvät toisiinsa sähkönsiirtoverkon ja erilaisten vedyn, hiilidioksidin ja sähköpolttoaineiden siirtoyhteyksillä. Malliin on sisällytetty eri alueiden tuulivoiman tuotantopotentiaalit, hiilidioksidin saatavuus ja potentiaalinen vetyä käytävä teollisuus. Mallin avulla tutkitaan erilaisia skenaarioita, millainen infrastruktuuri tarvittaisiin, jos vetytalous kehitty ns. omalla painollaan, Business as Usual, jos pyritään kansalliseen energiaomavaraisuuteen, tai jos hyödynnetään Suomen kaikki uusiutuvan energian tuotantopotentiaali ja tähdätään suuren mittaluokan

energian viejäksi.

## 4 Yhteenveto

Esityksessä esitellään projektissa kehitetty simulointimalli ja hahmotellaan skenaarioita, miten erisuuret vetytalous hyödyntämishankkeet vaikuttaisivat Suomen energiainfraan. Simulointimallin avulla tutkitaan eri vaihtoehtojen toimivuutta, niiden aiheuttamia investointeja ja eri ratkaisuiden kustannuksia. Projektilla tuotetaan tietoa erilaista kehitysvaihtoehdoista, joilla mahdollistetaan vihreä siirtyä ja irtaantuminen fossiilitaloudesta.