

Aalto-Yliopisto
ELEC-A8001 - Johdatus sähköenergiajärjestelmiin

Sähkömarkkinoiden toiminta ja lähiajan haasteet Suomessa ja Euroopassa

Ryhmä 6

Joel Haavisto, 901633

Emil-Alexi Kempas,

Timo Petäjänniemi,

Laura Rautiainen, 897022

Palautettu: 15. lokakuuta 2023

Sisällys

| | |
|---|----------|
| 1 Johdanto | 3 |
| 2 Vedyn tuotanto | 4 |
| 2.1 Maakaasu | 5 |
| 2.2 Kivihiili | 5 |
| 2.3 Biomassa | 5 |
| 2.4 Vesi | 5 |
| 3 Sähköksi muuttaminen ja jalostaminen | 6 |
| 3.1 Energiatehokkuus | 6 |
| 3.2 Vedyn jalostaminen | 6 |
| 4 Vedyn taloudellinen merkitys ja ympäristövaikutukset | 7 |
| 5 Vedyn energiapoliittinen merkitys | 8 |

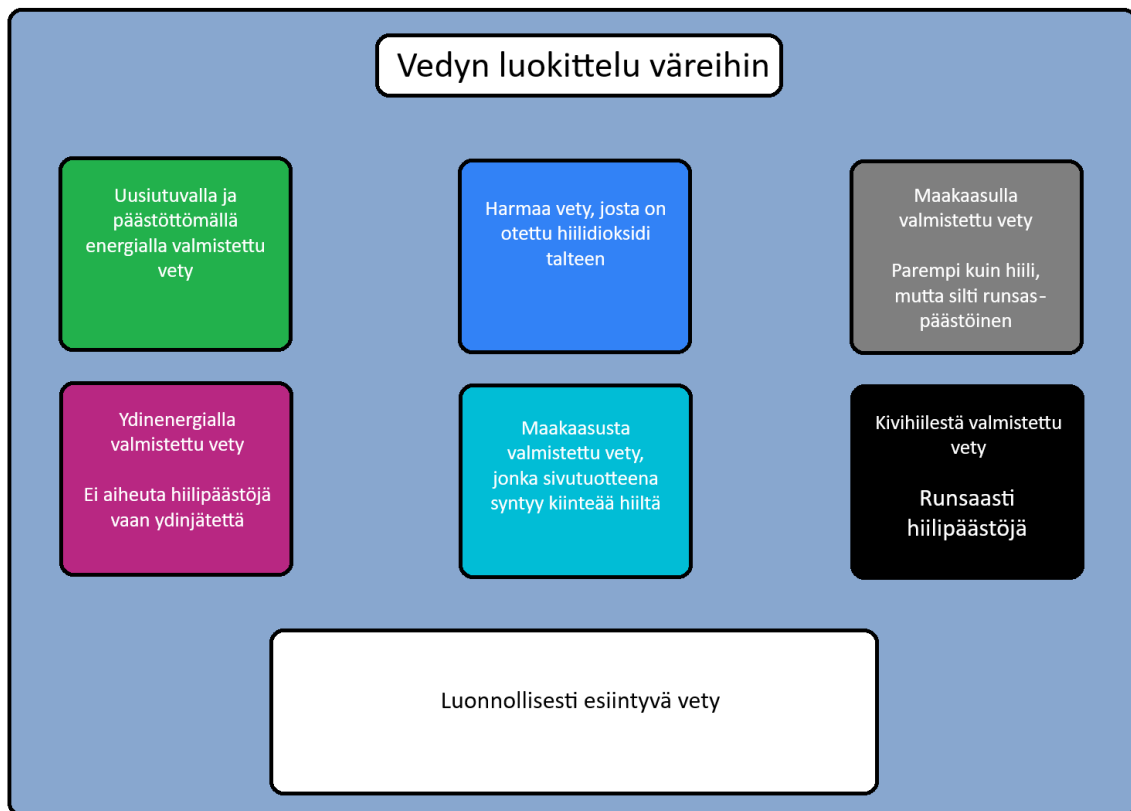
1 Johdanto

Vety, kevyt kaasumainen alkuaine, on noussut keskeiseksi toimijaksi nykypäivän energiamarkkinoilla, erityisesti ollessaan potentiaalinen ympäristöystävällinen energianlähde. Suomen ja EU:n päästövähennystoimet kasvattavat kysyntää vetyteknologian kaupallisille sovelluksille lähivuosina. Tässä tutkielmassa tarkastelemme vedyn tuotantoa, sen taloudellista merkitystä sekä energiapoliittista roolia. Keskitymme erityisesti vedyn valmistusmenetelmiin, niiden kustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin, sekä vedyn käyttömahdollisuuksiin eri sektoreilla, kuten liikenteessä, teollisuudessa ja energiantuotannossa. Lisäksi tarkastelemme EU:n ja Suomen vetystrategioita ja niiden vaikutusta energiapoliittisiin päätöksiin. Tutkielman tavoitteena on antaa kokonaisvaltainen kuva vedyn roolista tulevaisuuden energiamarkkinoilla ja sen vaikutuksesta ympäristö- ja energiapolitiikassa.

2 Vedyn tuotanto

Vedyn tuotannon kannattavuus vaikuttaa suoraan sen markkinatarjontaan, koska yhtiöiden on tehtävä voittoa. Tästä syystä suurin osa tällä hetkellä valmistettavasta vedystä tehdäänkin fossiilisista polttoaineista eikä se siksi ole erityisen ympäristöystävällistä polttoainetta[1]. Alle prosentti vuoden 2022 vedyn tuotannosta oli vähäpäästöistä. Tätä pyritään kuitenkin muuttamaan ja sähköllä onkin mahdollista tuottaa vetyä täysin päästöttömästi. Vedyntuotanto sopii hyvin nousevan tuulivoiman ja aurinkovoiman kaveriksi. Sillä voidaan ylituotannon aikaan tuottaa hyödyllistä vetyä, joka nostaa energiayhtiön tuottoja ja pienentää hiilidioksidipäästöjä muiden polttoaineiden korvaajana.

Vety jaetaan usein erilaisiin väreihin sen valmistustavan mukaan. Valmistusmuotojen luokittelu on tehty hiilipäästöt ja muut ympäristövaikutukset huomioon ottaen suureen kirjoon, joita en käsittele alla olevassa kuvassa kokonaisuudessaan. Vedyntuotannon kehittyessä uusia värejä syntyy, kun valmistustavat halutaan kaategorisoida aina tarkemmin ja tarkemmin. Kuvassa olevat vetytyypit ovat: Vihreä vety, sininen vety, harmaa vety, vaaleanpunainen / violetti vety, turkoosi vety ja musta vety luettuna vasemmalta oikealle, ylhäältä alas.



Niinkuin kuvasta näkyy, niin maapallolta löytyy myös luonnollista vetyä. Luonnollisista vetyesiintymistä ei tiedetä vielä kovin paljon, mutta ne ovat yksi ratkaisu puhtaan vedyn tavoittelemisessa. Luontainen vety on huomattavasti nopeammin uusiutuvaa, kun maaöljy tai -kaasu eikä siitä tule hiilidioksidi päästöjä. Luonnollisen vedyn mahdollisuudet on siis pidettävä mielessä muiden tuotantomuotojen pohdittaessa.

2.1 Maakaasu

Maailman vedystä tuotettiin maakaasulla 2022 noin 70%. Sillä saadaan tuotettua vetyä noin kahdella eurolla per kilo, joka tekee siitä hyvin kannattavaa vedyn tuottajille. Raakaaineesta erotetaan vety, mistä vapautuu paljon hiilidioksiidia, jolloin tällaisen vedyn tuotanto ei tuo merkittävää ympäristöetua verrattuna perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin. Suurin syy harmaan vedyn suureen tuotantoon on juuri pienet kulut verrattuna tuotetun vedyn määrään. Euroopassa sen tuotantoa on kallistanut Venäjän ja Ukrainan välinen sota, mutta sillä tuotetaan silti suurin osa maailman vedystä[1].

2.2 Kivihiili

Toiseksi eniten maakaasua tuotetaan kivihiilellä, jonka osuus on noin 30%. Kivihiilestä voidaan tuottaa vetyä kaasuttamalla. Tässä prosessissa vapautuu noin kaksi kertaa enemmän hiilidioksiidia kun maakaasun vetytuotannossa, jonka takia tällä tavalla tuotettua vetyä kutsutaan mustaksi vedyksi. Hiilellä toimivien vetyvoimaloihin tarvittavat suuret investoinnit, päästöt ja huono energiatehokkuus ovat onneksi nostaneet kynnyksen hiilituotantoon ryhtymiseen, mutta hiilituotantolaitokset tuottavat silti merkittävästi ilmastopäästöjä joka vuosi. Kivihiilellä vetyä tuottaa lähinnä Kiina, joka tuottaa 90% kaikesta hiilellä tuotetusta vedystä[1].

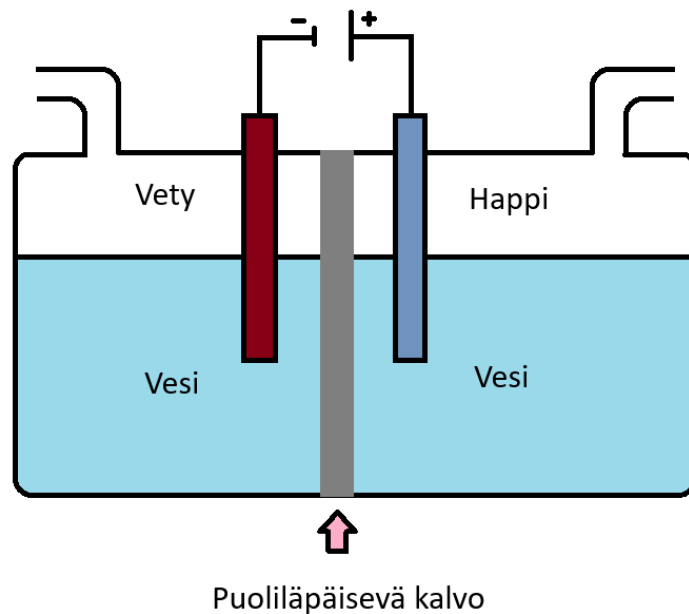
2.3 Biomassa

Vetyä voidaan erottaa biomassasta hyvin saman kaltaisesti, kun hiilestä. Biomassa lämmitetään korkeaan lämpötilaan ja siitä jalostetaan kaasua, josta puolestaan voidaan erottaa vetyä. Tämänlaisten voimaloiden energiatehokkuus ei ole kovin suuri, mutta etuna on, että polttoaine on uusiutuvaa joka olisi usein muuten mennyt vain jätteeksi. Yhdistettynä metaanin tuotanto laitokseen päästöhiili voidaan hyödyntää moneen kertaan, joka pienentää kokonaishiilipäästöjä[2].



2.4 Vesi

Vedyn vedestä erottamiseen on tällä hetkellä muutama keino. Kaikki niistä perustuvat elektrolyysiin, jossa vedestä erotetaan vety ja happi sähkökemiallisella prosessilla[2]. Vettä laitetaan tankkiin, jossa se jaetaan kahteen osaan puoliläpäisevällä kalvolla. **Kuva Elektrolyysi.** Vesi läpäisee kalvon, mutta se estää elektrolyysissä syntyviä kaasuja sekoittumasta toisiinsa. Elektrolyysissä tulee vedyn lisäksi happea, jota voidaan myydä sivutuotteena kannattavuuden lisäämiseksi. Elektrolyysin paras mahdollinen energiatehokkuus on noin 70%[2]. Suurin ongelma onkin siinä, että vedyn tuottamiseen tarvitaan sähköä, jonka hinta muodostaa suurimman osan tämänlaisen vedyntuotannon kuluista. Tämä tekee puhtaan vedyn tuotannosta lähes kolme kertaa kalliimpaa, kun vastaavan määrään harmaata vetyä. Tällä hetkellä Kiina on listan kärjessä myös elektrolyysillä valmistetussa vedyssä. Kiinan voimaloissa valmistetaan vetyä 220 MW teholla, ja rakenteilla on 750 MW lisää puhtaan vedyn tuotantoa[1]. Tähän ongelmaan voidaan tällä hetkellä vaikuttaa lähinnä verotuksella ja tuilla, joiden muokkaamista ja myöntämistä tulee harkita vakavasti lähitulevaisuudessa. Monet ovat myös ehdottaneet valtion oman vety-yhtiön perustamista, joka voisi helpottaa ratkaisuun pääsyä.



Kuva 1: Elektrolyysi.

3 Sähköksi muuttaminen ja jalostaminen

3.1 Energiatohokkuus

Vedyn muuttaminen polttokennossa sähköksi on suhteellisen epätehokasta. Noin puolet vedyn energiasta saadaan muunnettua suoraan sähköksi. Vedellä tuotetun vedyn kokonaishyötysuhde tällaisessa tilanteessa on siis noin 35%, joka ei kuulosta kovin houkuttelevalta varastointimuodolta. Hyödynämällä prosessissa syntyvä lämpö esim. kaukolämpö verkossa kokonaishyötysuhde voidaan nostaa jopa 60 – 80 prosenttiin. Tällainen kaukolämpöön integrointi ei kuitenkaan kaikkialla ole mahdollista, jolloin tulee harkita tilannekohtaisesti onko vedyn käyttö energialähteenä kannattavaa.[3]

3.2 Vedyn jalostaminen

Vedystä voidaan myös jalostaa metaania, joka on yksinkertaisin hiilivety[2]. Metaania käytetään polttoaineena ja useassa muussa kemianteollisuuden käyttötarkoituksessa. Metaanin etu vetyyn on, että se ei reagoi niin herkästi hapen kanssa. Tämä helpottaa sen säilömistä ja kuljettamista. Lisäksi siitä voidaan jalostaa esim. kloorimetaania, jota käytetään reagenssien valmistukseen ja paikallispuudutteena[4]. Metaanista vapautuva hiili sitä poltettaessa on sen suurin haittapuoli polttoaineena. Metaania valmistettaessa siihen voidaan sitoa ilmasta tai voimalaitoksesta vapautuvaa hiilidioksidia, jolloin sen tuotannosta saadaan ainakin periaatteessa hiilineutraalia. Nolla päästöisestä vedystä valmistettavan metaanin hyötysuhde on noin 50% ilman kaukolämpö kikkailua, mutta sen kanssa hyötysuhteen voisi saada jo kiitettävän korkealle tasolle[5].

4 Vedyn taloudellinen merkitys ja ympäristövaikutukset

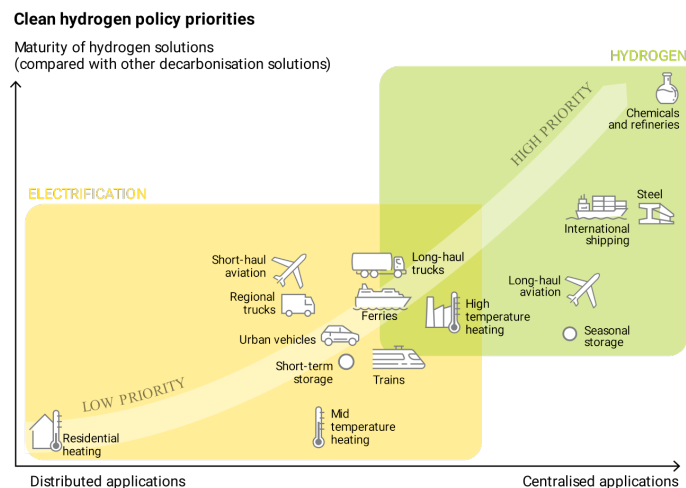
Vedyn taloudellinen merkitys löytyy mahdollisuudesta tuottaa sitä uusiutuvasti, kokonaan tuottamatta kasvihuonekaasuja. Vedyllä pystytään myös varastoida tuuli- ja aurinkosähköä [6], mikä on muilla keinoilla haastavampaa tai kalliimpaa. Varsinkin tuulisähkö aiheuttaa ajoittain liikatarjontaa, mikä on näkynyt muun muassa negatiivisena sähkön hintana. Varastoimalla tuulisähkön tuottamaa energiaa voidaan tuulisähköä hyödyntää tehokkaammin myös silloin, kun ei tuule [7]. Vetytalouden kasvua on kannustettu muun muassa EU-komissiossa, missä on heinäkuussa 2020 ehdotettu vetystrategiaa ilmastoneutraalille Euroopalle[8].

Tällä hetkellä vedyn merkitys energian kokonaistarjonnassa on pieni. Kustannukset ovat korkeat, tuotanto on pientä, infrastruktuuri ei ole rakennettu ja turvallisuudestakin on huolia [8]. Vetytuotanto aiheuttaa myös nyky muodossaan päästöjä, sillä harmaan vedyn tuottaminen on paljon halvempaa. Harmaan vedyn tuotanto maksaa vain noin 1,5 - 2 euroa kilolta, kun taas puhdas vety voi maksaa jopa 4 - 6 euroa kilolta [2]. Kuitenkin on ennustettu, että puhtaan vedyn osuus vuonna 2050 voisi olla jopa 20 prosenttia kokonaistuotannosta.

Tulevaisuudessa vetytaloudella on mahdollisuus merkittävästi alentaa varsinkin raskaan liikenteen päästöjä [2]. Tämä tarkoittaisi sitä, että esimerkiksi lentokoneet sekä rahtialukset tulevaisuudessa kulkisivat vedyn avulla. Vedyn avulla voidaan myös valmistaa "vihreää terästä" päästöttömästi reagoimalla vety raudan kanssa. Nämä näkyvät myös suurena prioriteettina IRENAn laatimassa graafissa (Kuva 3), missä näytetään eri tapoja, miten vedyllä voidaan alentaa kasvihuonekaasuja. Tästä näkyy myös, että mediassa usein esille nostetut vetyautot eivät ole enää ykkösennuste tulevaisuuden autoiluudolle, sillä viime vuosina sähköautot ovat kehittyneet huomattavasti halvemmaksi vaihtoehdoksi.

Suomeen on kaavailtu vetyteollisuusalue perämeren rannikkoseuduille, pääasiassa vanhalle terästeollisuusalueelle [7]. Vetyä tuotettaisiin näillä seuduilla täysin päästöttömästi elektrolyysereilla. Elektrolyysarit saisivat virtansa rannikon tuulivoimaloista. Suomen laajat kaukolämpöverkot antavat mahdollisuuden myös siirtää elektrolyysereiden tuottama hukkalämpö suoraan kaukolämpöjärjestelmään, mikä on suuri etu verrattuna muihin EU maihin [7]. Tämä tekee myös kaukolämmöstä vihreämpää, ja korvaa puun sekä turpeen käyttöä lämmöntuotannossa.

Vetytoiminnan kannattavuus on vielä kysymysmerkki, mikä nähdään vety-yhtiöiden puutteena. Valtion omistamaa vety-yhtiötä on myös kaavailtu, mutta tämä perustetaan lähinnä vain, jos yksityinen pääoma ei lähde mukaan hankkeeseen. Tähän asti valtio on lähinnä tukenut vetytaloutta tutkimuksilla sekä pilotoinneilla [7].



Kuva 2: Vedyn käytön prioriteetti kasvihuonepäästöjen alentamiseksi.

5 Vedyn energiapoliittinen merkitys

Energiapolitiikassa päätetään energian tuotannolle ja käytölle asetettavista tavoitteista sekä asetetaan energiaan liittyviä verotuksellisia ja lainsäädännöllisiä tukia ja keinoja, joilla ohjataan energian tuotantoa ja jakelua yhteiskunnassa sekä turvataan sen saanti. Myös ilmastopolitiikka on tärkeässä roolissa energiapolitiikassa.

Energiapolitiikkaa hallinnoi Suomen tasolla työ- ja elinkeinoministeriö, jonka tehtävänä on mm. Energian toimitusvarmuuden ja energiamarkkinoiden kehittäminen, uusiutuvan energian ja siihen liittyvän teknologian edistäminen, ydinenergian sääntely sekä päästökauppa ja ilmastopolitiikka. Energianpolitiikan keskeiset perusperiaatteet EU-tasolla ovat toimivarmuus, kilpailukyky ja kestävyys. EU-tasolla tehtävien päätösten tavoitteena on edistää eri maiden verkkojen yhteenliittymistä, varmistamaan energian toimitusvarmuus EU:ssa, taata energiamarkkinoiden toimivuus sekä edistää energiatehokkuutta ja uusiutuvien energian tuotannon lähteitä.

Kansallisessa ilmasto- ja energiastategiassa on linjattu toimia, joita noudattamalla Suomi täyttäisi EU:n asettamat ilmastovelvoitteet vuodelle 2030 ja vähentäisi kasvihuonekaasuja 60 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. Strategia sisältää kansallisen vetystrategian, jonka tarkoituksena on edistää vetytalouden roolia ja määrätä tavoite vedyn elektrolyysikapasiteetille. Heinäkuussa 2020 annettu ja toukokuussa 2022 tarkistettu vetystrategia (COM(2020)0301) asettaa tavoitteeksi, että uusiutuvan vedyn elektrolyysikapasiteettia saadaan EU:ssa käyttöön vähintään 6 gigawattia vuoteen 2024 mennessä ja 40 gigawattia vuoteen 2030 mennessä. Kyseisessä strategiassa tavoitteeksi asetettiin tuottaa EU:ssa 10 miljoonaa tonnia vihreää vetyä ja tuoda 10 miljoonaa tonnia vuoteen 2030 mennessä, minkä lisäksi tietyille aloille asetettiin vaatimuksia alatavoitteiden tiukentamiseksi ja kyseisten alojen lisärahoittamiselle [9]. Suomi on myös osana Euroopan laajuista TEN-T HIT -projektia, jonka tavoitteena on toteuttaa vetytalouden edellyttämät infrastruktuurit.



Kuva 3: Vetystrategian eri kehitysvaiheiden keskeisimmät päämäärät [10].

Viitteet

- [1] F. P. Jose M Bermudez, Stavroula Evangelopoulou, “Low emission fuels/hydrogen,” <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>, Luettu: 10.10.2023.
- [2] “Vetytalous,” <https://corporate.nordea.com/article/80926/vetytalous>, Luettu: 10.10.2023.
- [3] E. Vartiainen, “Vetytalous tulee ennemmin tai myöhemmin,” <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/vetytalous-tulee-ennemmin-tai-myohemmin>, Luettu: 10.10.2023.
- [4] “Cloromethane,” <https://chemwatch.net/fi/resource-center/chloromethane/>, Luettu: 10.10.2023.
- [5] “Synthetic methane could smooth the path to net zero,” <https://www.nature.com/articles/d42473-022-00166-2>, Luettu: 10.10.2023.
- [6] “Vtt: Raha, valta ja vihreä siirtymä – eli miksi kaikki puhuvat nyt vedystä?” <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/raha-valta-ja-vihrea-siirtyma-eli-miksi-kaikki-puhuvat-nyt-vedysta>, Luettu 10.10.2023.
- [7] “Energiauutiset: Valmiiksi vetyä varten,” <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/valmiiksi-vetya-varten.html>, Luettu: 10.10.2023.
- [8] “Ajankohtaista: Mitä hyötyä eu:lle on uusiutuvasta vedystä?” <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20210512STO04004/vetyenergian-hyodyt-eu-lle>, Luettu: 10.10.2023.
- [9] M. Ciucci, “Energiapolitiikka: yleiset periaatteet,” *Faktatietoja Euroopan unionista*, 2023.
- [10] N. S. A. R. H. P. O. L. H. L. S. T. P. V. J. P. Leena Sivill, Marika Bröckl, “Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet,” *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:21*, 2022.