

Vetytalous

Marko Honkanen 2.2.2022

Aine nimeltä vety

- Vety [H] on kevyin alkuaine ja jaksollisessa järjestelmässä ensimmäinen, koostuen vain yhdestä elektronista ja protonista
- Vety on maailman kaikkeuden yleisin alkuaine, mutta maapalolla vety on yleensä sitoutuneena muihin aineisiin kemiallisina sidoksina, kuten hapen [O] kanssa muodostaen vettä H_2O . Yleisesti ottaen maapallolla vetyä ei ilmene ”vapaana”, vaan kaikki vety on tuotettua
- Vety on normaalioloissa olomuodoltaan väritöntä kaasua
- Vety on räjähtävän reaktiivinen hapen kanssa ja puhtaana voimakkaasti pelkistävä, jonka vuoksi sitä ei ilmene luonnossa vapaana

Energia

- Vetytaloudella tarkoitetaan yleisesti jonkin energiamuodon käyttämistä vedyn tuotantoon. Energia säilömistä vetynä. Tai vedyn käyttämistä jälleen jonkin energian tuottamiseen, tai teollisen tuotteen lisääineistämiseen
- Vettä on hyvin vedyn materiaaliksi, mutta vedyn tuottamiseen tarvitaan runsaasti lämpö- tai sähkö-energiaa. Nykyisin tarvittavasta energiasta saadaan vetyä **60-70%:n hyötysuhteella**
- Vetykaasun lämpöarvo on korkea, n. 119 MJ/kg.
 - bensiiniin (43,0 MJ/kg)
 - dieselöljyyn (42,6 MJ/kg)
 - maakaasuun (38–50 MJ/kg)
 - etanoliin (26,8 MJ/kg)
- Vedyn tuottaminen on paljon energiaa vaativa prosessi. Yleensä joko sähkö- tai lämpö-energiaa.

Vety tänään

- Vety tuotetaan pääasiassa maakaasusta, jonka tuloksena sivutuotteena syntyy runsaasti hiilidioksidia
- Vedyn suurin käyttö ei ole energia, vaan kemian- ja öljyteollisuuden tuotteet kuten vähäpäästöiset ”puhtaat” polttoaineet. Ja yksi syy Nesteen siirtymisessä Rotterdamiin.
- Suuret odotukset on myös terästeollisuudessa, hiilen korvaaminen vedyllä mm. SSAB:n Raahen tehtaalla. Johon tosin terästehdas tarvitsisi Olkiluodon kolmannen yksikön koko tuotannon (4 300 MW) sähköenergian. (Suomessa v. 2020 kaikki ~800 tuulivoimalaa tuottaa 2 600 MW:n kapasiteetin)
- Suuret vedyn käyttäjät Suomessa nykyisin ovat Porvoon öljynjalostamo ja Kemiran tehtaat Joutsenossa, jossa Joutsenon taajamista 90% lämpiää vedyllä tuotetulla kaukolämmöllä, Kemiran oman kulutuksen lisäksi

Vedyn tuotanto

- Vetyä voidaan tuottaa mm. vedestä, maakaasusta tai –öljystä katalyytein (esim. nikkeli) lämpöenergian avulla. Jolloin tuloksena on useimmiten vedyn lisäksi hiilimonoksidia tai –dioksidia. Lämpötila prosesseissa on $> 800^{\circ}\text{C}$. Tällöin vedyn tuotannossa vapautuvalle hielle tulee keksiä ratkaisu
- Elektrolyysillä sähköenergian avulla. Johtuen sähkön korkeasta hinnasta, ei tuotanto ole taloudellisesti kannattavaa ellei ole saatavissa halpaa ”ylijäämä sähköä”
- Fotolyysissä valon vaikutuksella, hajottamalla vettä hapeksi ja vedyksi. Fotolyysi on kehitysasteella ja mahdollisesti tulevaisuudessa auringonvalolla myös suuressa mittakaavassa, mutta ei ratkaisevassa määrin
- Myös erilaisissa krakkaus ja pelkistymisprosesseissa hapoilla syntyy vetyä, mutta ei mittakaavassa, joka riittäisi tuotantoon

Säilytys

- Vety on hankala alkuaine säilöä ja se ei säily haihtumatta parhaimmassakaan astiassa. Joten aikaa vievässä varastoinnissa on aina merkittävää hävikkiä
- Nestevedyn tiheys on $70,8 \text{ kg/m}^3$ 20 K lämpötilassa, minkä vuoksi sen energiatiheys tilavuuteen nähden on huono. Bensiinilitra sisältää neljä kertaa enemmän energiaa kuin nestemäinen vety, ollen näin taloudellisempaa kuljettaa
- Tuotannon tehottomuuden ja varastoinnin hävikkien vuoksi vedyn tuotanto on pyrittävä toteuttamaan suoraan kulutukseen

Vedyn kuljetus ja jakelu

- Vedyllä on korkea lämpöarvo ja kiloon mahtuu paljon kevyttä vetyä. Joten vedyssä on kaksikertaa niin paljon energiaa kuin kilossa bensiinissä, dieselissä tai maakaasussa
- Mutta nestemäisen vedyn tiheys on niin huono, että litrassa bensiiniä on neljäkertaa enemmän energiaa kuin litrassa nestemäistä vetyä
- Yhdisteissä vety kuitenkin sitoutuu tiiviimmin kuin puhdas vety alkuaineena. Esimerkiksi litrassa vettä (H_2O) on vetyä 56% enemmän kuin litrassa nestemäistä vetyä! Monissa hiilivetytypolttoaineissa vetyä on vielä huomattavasti enemmän tiiviisti sitoutuneena
- Eli miksi siirtää kuljettaen, varastoiden ja jaellen puhdasta vetyä?

Liikenne

- Maa-, meri- ja lentoliikenne ei tule selviytymään tulevista ilmastomuutoksen estämistä suunnitelluista kasvihuonepäästöjen vähentämisestä, ilman vetytalouden vaikutusta. Vety ja vedystä valmistetut puhtaammat synteettiset polttoaineet ovat kuitenkin vain osa ratkaisua.
- Olemassa olevan liikenteen energiaverkoston luominen on tapahtunut vuosisadan kuluessa. Myös liikenteen kalusto on rakentunut tarjolla olevan energian mukaiseksi.
- Olemassa olevan kaluston hyödyntämiseksi elinkaarensa päähän on järkevää tuottaa vedyllä uusia puhtaampia ja vähäpäästöisempiä polttoaineita, jakaen ne olemassa olevassa verkostossa

Teollisuus

- Vetyä käytetään kemianteollisuudessa mm. lannoitteiden ja ammoniakkin tuotannossa
- Öljynjalostuksessa puhtaampien ja päästöttömämpien polttoaineiden valmistuksessa
- Rasvahappojen tuotannossa, jossa tyydyttämättömiä rasvoja kovetetaan tyydyttyneiksi vedyttämällä
- Metalliteollisuudessa terästen lisääainestamisessa, korvaten vedyllä hiilen osuutta
- Sekä rakettpolttoaineena

Vety talouden klusterit

- Tavoiteltavaa olisi vedyn haasteet huomioiden, keskittää vedyn tuotanto ja kulutus keskittymiin, joissa voisi sijaita esimerkiksi terästeollisuutta, öljynjalostusta ja kemianteollisuutta lähellä vedyn tuotantolaitosta. Hyödyntäen hukkalämpö, sekä minimoiden vedyn kuljetukset ja varastointi
- Jotta vetyä kannattaa tuottaa, olisi paikallisesti oltava saatavissa runsaasti halpaa energiantuotantoa. Koska vedyn tuottaminen on huono hyötysuhteista, ei sitä ole kannattavaa tuottaa ”ostettavalla” energialla
- Edellisten ehtojen mukaan muodostuvat klusterit/ vetylaaksot, olisi mahdollista yhdistää verkostoksi, tasaamaan kulutushuippuja

Ongelmat

- Vetytalouden ongelmiksi on sanottu vain, vedyn valmistusta, varastointia ja kuljetusta, taloudellisuutta ja turvallisuutta
- Vetyä voidaan valmistaa melko edullisesti esimerkiksi uusiutuvalla energialla, mutta kapasiteetti ei tule tyydyttämään kokonaisuudessaan tarvittavaa energian tarvetta. Vastataksaan ilmasto-vaatimukseen vetyä tarvittaisiin valtava määrä. Paljon enemmän kuin uusiutuvalla energialla pystytään tuottamaan. Ja se energia on järkevämpää käyttää ”tehokkaasti”, vastoin kuin vedyn tuottaminen ja varastointi erittäin epätaloudellisesti.

Haasteet hiilen suhteen

- Nykyisin yleisimmät vedyn valmistuksen suuren mittakaavan prosessit, joissa vety tuotetaan fossiilisista hiilivedyistä erotettuna vetynä, ovat ongelmana prosesseista päästöinä syntyvä hiili, joka on jo nyt haaste loppusijoittaa kestävästi
- Jatkuvasti kehittyvä teknologia mahdollistaa paranevissa määrin tehokkaita hiilenkaappaustekniikoita, mutta ne eivät poista kerätyn hiilen loppusijoitus ongelmaa. Kyseiset puhdistusteknologiat ja loppusijoitus lisäävät kustannuksia
- Lopulta vaihtoehdoksi jää vain ”puhtaan vedyn” tuottaminen, joka tarkoittaa vedyn tuottamista ilman hiilivetypohjaisia yhdisteitä ja fossiilisia energia lähteitä

Vedyn hinta

- Yhdysvalloissa ja Britanniassa toimiva energia-alan tutkimus ja konsulttityhtiö Lucid Catalystin mukaan vety ja siitä valmistetut synteettiset polttoaineet ovat miltei ainoa tapa saavuttaa ilmastotavoitteet.

Yhtiön mukaan vetykilon hinta tulisi saada **0,9 \$/kg** tasolle, jotta laajempi muutos mahdollistuisi.

- Arviolta vuoteen 2030 mennessä saavutettaisiin 2,14 – 2,71 \$ kilohinta
- Vuonna 2050 odotetaan hinnan olevan enää 0,73 – 1,64 \$
- Lucid Catalystin mukaan vedyn tuotannon tarvitsemaan energiantarpeeseen ei kyetä ilman ydinvoimaa, eikä nykyisien ydinvoimaloiden teknologialla, joilla kyetään min. 2 \$/kg hintaan

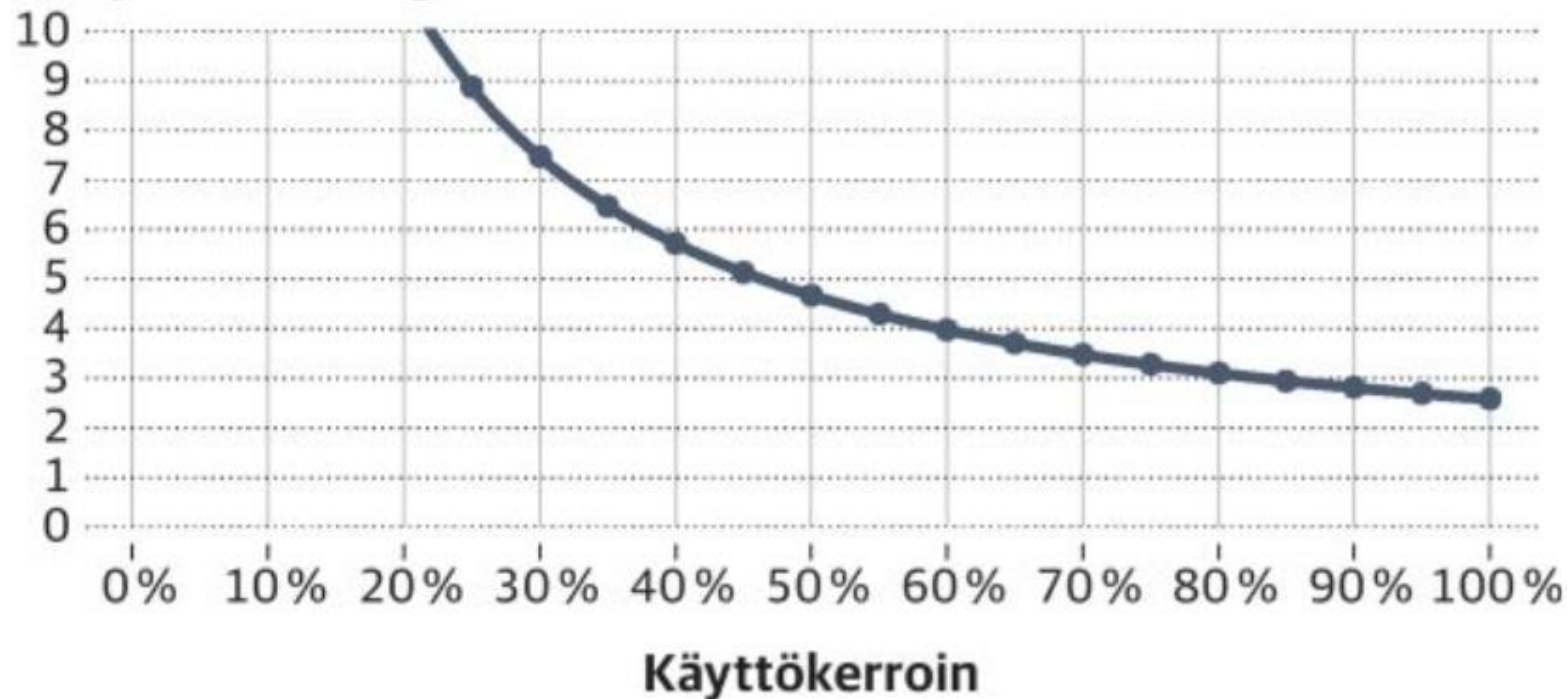
Vaihtoehtoinen kehitteillä oleva ydinvoima

- Uuden malliset pienet modulaariset ydinvoimalat, kuten SMR (Small Modular Reactor), joita kehitetään kovaa vauhtia, voisivat tuottaa sähköä tai korkealämpöistä höyryä vedyn tuottamiseen. Tällöin voisi olla mahdollista saavuttaa 2030 mennessä 0,9 – 1,1 \$/kg hinta.
- Näiden voimaloiden pääasiallinen tuotanto olisi nimenomaan vedyn tuotannossa. Ei verkkoon kytketyn sähköenergian tuotannossa. Eikä sähköverkkoon kytketyn voimalan ylijäämän hyödyntämisessä vedyn tuotantoon.
- Elektrolyysillä tuotetun vedyn **hyötysuhde on 64%**

■ Käyttökertoimen ja vedyn hinnan välinen yhteys.

LÄHDE: LUCID CATALYST

Vedyn hinta, \$/kg



Energian pääomakustannus: 2 500 dollaria / kW

Elektrolyysin hinta: 500 dollaria / kW

Elektrolyysin hyötysuhde: 64%

Vedyn tuotannon kustannuksista

- Jotta puhdas vety pystyisi kilpailemaan perinteisten fossiilisten energioiden kanssa, tulee tarkastella millaisin kustannuksin ja investoinnein puhdasta vetyä on tuotettava
- Tutkimusten mukaan tulisi saavuttaa ja mieluiten alittaa 1 dollarin kilohinta, kilpaillakseen perinteisten energioiden markkinoilla
- Yksi merkityksellinen muuttuja, joka koskee sekä perinteisiä että vety energiantuotantoa on hiilenkaappaus tekniikoiden hintamuutos (nykyisin ~100 dollaria/tonni)
- Ilmeinen lähtökohta on myös energian hinta, jolla vetyä tuotetaan

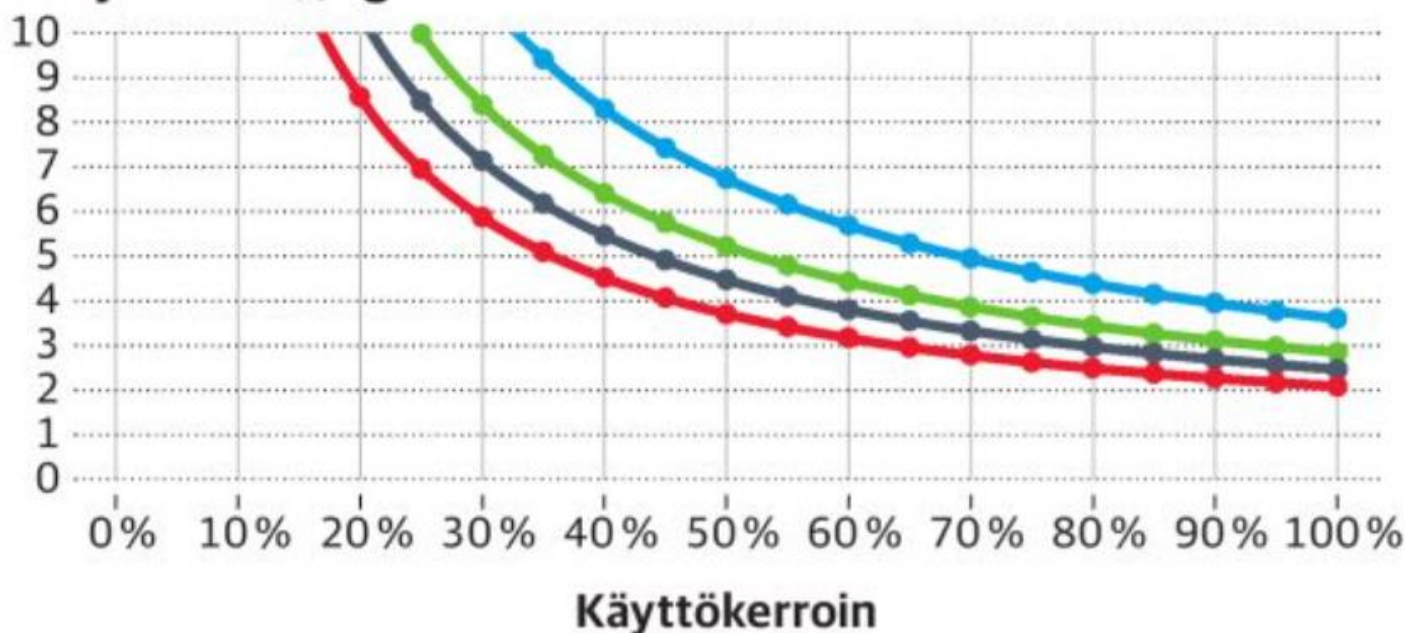
Vedyn tuotannon kustannuksista

- Vedyn tuotannon aloittamiseksi on tehtävä investointeja
 - Investoinnit eroavat kustannuksista siinä, että niiden odotetaan tuovan sijoituksen takaisin voittoa. Vetytalouden yhteydessä aikajänne on pitkä
 - Joten tässä tapauksessa tulee ottaa huomioon prosessin hyötysuhde ja tehokerroin, joihin investoinnin takaisinmaksuaikaa verrataan.
 - Hyötysuhde kertoo paljonko energiaa tarvitaan, suhteessa tuotettuun vetykiloon
 - Tehokerroin kuvaa kuinka hyvin saavutetaan odotettu nimellisteho investoidun pääoman suhteen laitteistojen käytössä. Eli mainospuheiden ja todellisuuden eroa. Tämä kuvaa myös, paljonko laitteistoa käytetään tulosten saavuttamiseen (esimerkiksi ydinvoiman tehokerroin on kaksinkertainen tuuli ja aurinkovoimaan nähden, jatkuvan katkeamattoman tuotannon vuoksi)

■ Energiainvestoinnin ja vedyn hinnan riippuvuus eri käyttökertoimilla.

LÄHDE: LUCID CATALYST

Vedyn hinta, \$/kg



Järjestelmän pääomamenot:

5500 \$/kW 3500 \$/kW 2500 \$/kW 1500 \$/kW

Elektrolyysin hinta: 500 dollaria / kW, hyötysuhde: 64%

Vedystä sähköä?

- Tuottaessamme vetyä, käytetystä energiasta **saamme n. 65%:n hyötysuhteella vetyä**
- Ajateltaessa, että **emme säilö emmekä kuljeta** vetyä, koska se katoaa parhaimmastakin huolenpidosta huolimatta, huonontaan kokonaishyötysuhdetta
- Fortumin mukaan vedystä kaasuturbiineilla tai polttokennoilla kyetään tuottamaan sähköä **hyötysuhteella 40-55%**
- Tämä tarkoittaa, että **hyödynnämme n. 30%** alkuperäisestä energiastamme vedyllä tuotettuna sähkönä

Merkit etenemiseen kohti vetytaloutta

- Oletettavasti paras kestävä ajattelun pohjalta alkava vetytalouden kehittäminen on puhtaan vedyn tuotannon lisääminen ja vanhan fossiilisen vedyntuotannon korvaaminen puhtaan vedyn tuotannolla mm. typpilannoitteiden ja öljyntuotannon teollisuudessa
- Suurimmat haasteet ovat odotettavissa liikenteen ja energian tuotannon aloilla, joissa toimii vahvoina vanhat vaihtoehtoiset, vaikkakin ilmastovaatimuksista johtuen poistuvat, teknologia-, verkostot- ja talous- rakenteet
- Siirtymä aikanaan puhdas vety on merkittävä mahdollistaja vanhan teknologian siirtymään tuleviin kestävämpiin ratkaisuihin

Kiitos kiinnostuksesta!
Kysymyksiä voi asettaa oitis,
tai myöhemmin sähköpostitse tai puhelimitse

marko.honkanen@huittinen.fi

p. 044 560 4030

tai

marko.honkanen@samk.fi

p. 044 710 3224

Ollaan yhteydessä!