



Naantalin teollisuusalueen PtX -mahdollisuudet

AFRY Finland Oy

21.4.2021

Sisältö

1. Yhteenveto
2. Uusiutuvan vedyntuotannon tilanne
3. Uusiutuvan sähkön saatavuus Naantalissa
4. Vetytuotanto elektrolyysillä ja vedyn käyttö
5. Hiilidioksidin lähteet Naantalissa
6. Naantalin jalostamoalue
7. Power to X –toiminta Naantalissa
8. Suositellut jatkotoimenpiteet

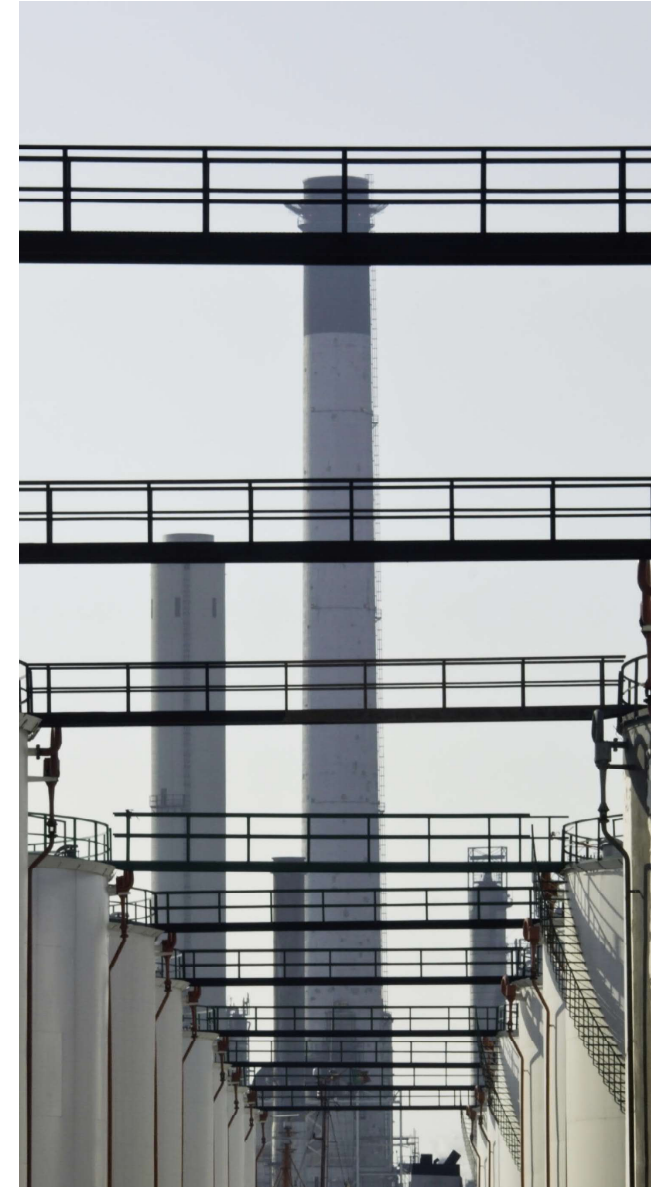
Liitteet:

1. Vetyelektrolyysiteknologiat
2. Kuvaus merkittävimmistä vetyä käyttävistä prosesseista
3. Yrityshaastattelujen muistiot



Yhteenveto

- Tuulivoiman voimakas lisärakentaminen ja vahva sähkönsiirtoverkko luovat Suomessa hyvät lähtökohdat uusiutuvan vedyn ja sen jatkojalosteiden tuotannolle (nk. Power to x, PtX).
- Nykyinen sähkönsiirtokapasiteetti riittää hyvin 20-30 MWe vedyntuotantokapasiteetille. Toiminnan merkittävä laajentaminen on myös mahdollista, jos Fingrid rakentaa 400 kV voimajohdon Liedosta Naantaliin.
- Naantalin jalostamo on hyvin sopiva sijoituspaikka kemianteollisuudelle, koska tarvittava infrastruktuuri ja logistiikkayhteydet ovat jo olemassa.
- 20-30 MWe laitostyyppi on pieni verrattuna mahdollisten jatkojalosteiden (mm. ammoniakki, metanoli, hiilivedyt) perinteisen tuotannon mittakaavaan verrattuna. Sopivaa toimintaa Naantalin teollisuusalueelle olisivat siten:
 - luontaisesti pienen mittakaavan vetyä hyödyntävä synteesikemia,
 - teknologian kehitykseen tähtäävä demolaitos ja
 - vedyn tuotanto käytettäväksi sellaisenaan esim. lauttaliikenteen polttoaineena.
- Naantalin teollisuusalueen haasteena on vedyn suoran kysynnän puute teollisuusalueen välittömässä läheisyydessä.
 - Suosittelemme jatkotoimenpiteenä vaihtoehtoisten lopputuotteiden markkinaselvitystä huomioiden tuotteiden kuljetus loppukäyttäjille. Lupaavimmille tuotteille voidaan tämän jälkeen tehdä alustava kannattavuusselvitys ja lähestyä mahdollisia toiminnasta kiinnostuneita yrityksiä.



1. Yhteenveto

2. Uusiutuvan vedyntuotannon tilanne

- 3. Uusiutuvan sähkön saatavuus Naantalissa
- 4. Vetytuotanto elektrolyysillä ja vedyn käyttö
- 5. Hiilidioksidin lähteet Naantalissa
- 6. Naantalin jalostamoalue
- 7. Power to X –toiminta Naantalissa
- 8. Suositellut jatkotoimenpiteet



EU:n vetystrategiassa ensisijaisena kehitystavoitteena on uusiutuva vety - tuotetaan pääasiassa tuuli- ja aurinkoenergialla - 450 mrd investointeja

- EU on asettanut erittäin kunnianhimoiset tavoitteet uusiutuvan vedyn tuotantokapasiteetin rakentamiselle vuoteen 2030 mennessä. Investoinneille on mahdollista hakea julkista rahoitusta useita erilaisia rahoitusinstrumentteja käyttäen.

2030 - 2050

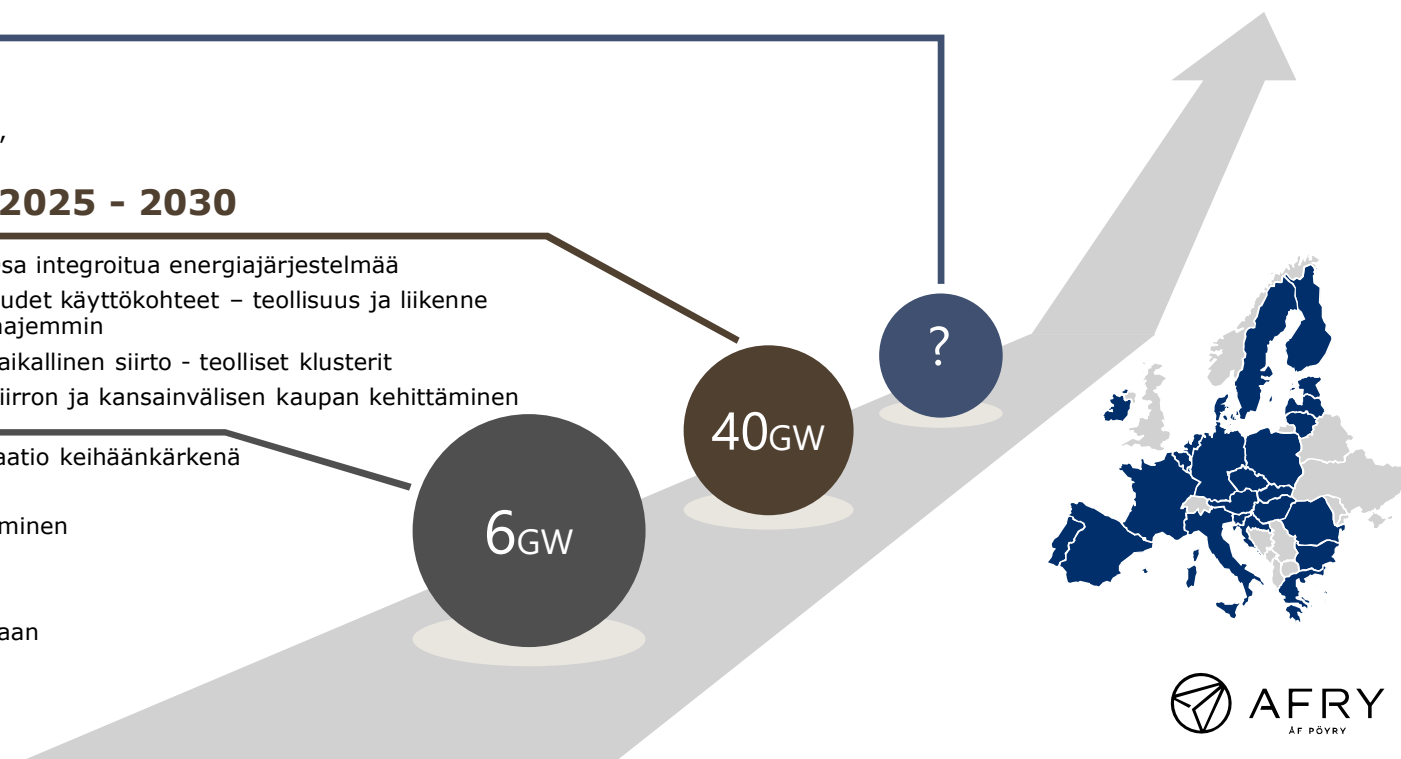
- Uusiutuvan vedyn teknologia saavuttaa kypsyysasteen
- Käyttöön laajassa mittakaavassa ja aloilla, joilla hiilestä irtautuminen on vaikeaa
- Neljännes uusiutuvasta sähköstä ehkä vedyn tuotantoon 2050
- Siirto kehittyy

2025 - 2030

Osa integroitua energiajärjestelmää
Uudet käyttökohteet – teollisuus ja liikenne laajemmin
Paikallinen siirto – teolliset klusterit
Siirron ja kansainvälisen kaupan kehittäminen

2020 - 2024

Kemianteollisuuden dekarbonisaatio keihäänkärkenä
Raskas liikenne
Liikenneinfrastruktuurin kehittäminen
CfD ja regulaatio
Vähähiilisellä vedyllä myös rooli
Tuotanto ja kulutus lähellä toisiaan



Lähde: EU:n vetystrategia 2020

Vihreää vetyä voidaan käyttää siellä, mihin muut energiaratkaisut eivät sovellu

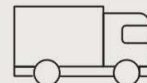
TEOLLISUUS



- nykyinen vedynkäyttö öljynjalostuksessa, ammoniakin valmistuksessa ja muissa kemianteollisuuden prosesseissa
- teräksen suorapelkistys vedyllä
- fossiilisten polttoaineiden korvaaminen korkeaa lämpötilaa vaativissa prosesseissa

Teollisuusprosessit, joita ei voi kokonaan sähköistää

LIIKENNE



- raskas liikenne
- julkinen liikenne (bussit ja junat)
- meriliikenne ja -kuljetukset (H₂ ja ammoniakki)
- lentäminen (synteettiset polttoaineet)

Sähköistäminen pitkälle mahdollista, mutta ei täysin olemassa olevaa infrastruktuuria hyödyntäen

KOTITALOUKSIEN LÄMMITYS



- rakennusten lämmitys vetykattiloilla maakaasun ja muiden fossiilisten polttoaineiden sijasta
- hybridikäyttöiset lämpöpumput

Lämpöpumpuilla ei päästä 100 % uusiutuvaan lämmitykseen

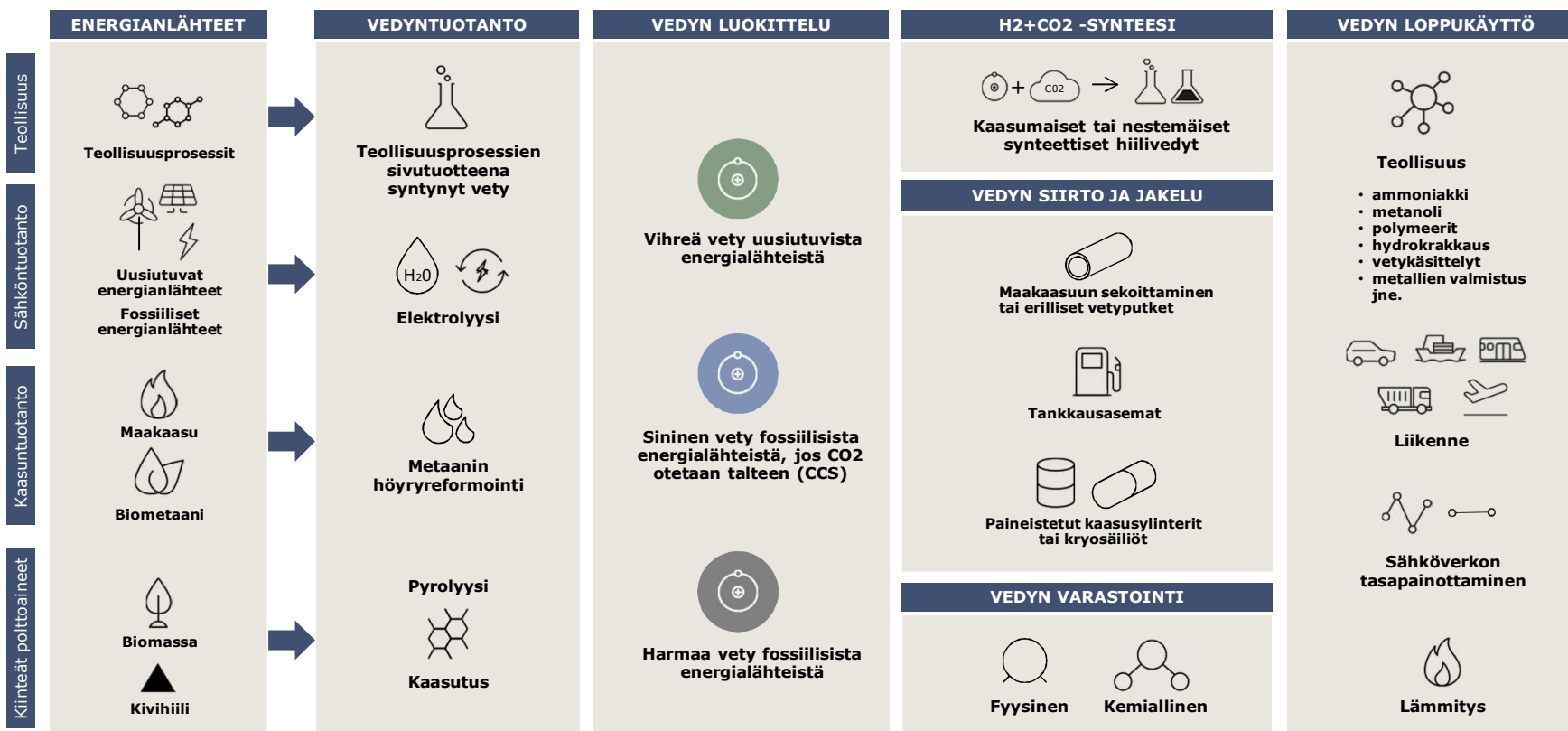
SÄHKÖJÄRJESTELMÄ



- sähkön varastointi ja Power-to-X
- suora vedynkäyttö sähköntuotantoon
- auttaa tasapainottamaan sähköjärjestelmää vaihtelevan tuotannon lisääntyessä
- polttokennot

Sähkön vuodenaikavarastointiin ei ole yleistettävissä olevia ratkaisuja

Vetyä voidaan hyödyntää monia eri reittejä pitkin



Tässä vaiheessa useimmat vetyhankkeet ovat demonstraatioprojekteja, teollinen mittakaava on odotettavissa 2030-luvulla

KASVU

Suomen hiilineutraalisuustavoitteen 2035 saavuttaminen.

Kasvu edellyttää edullista sähkönhintaa ja/tai poliittisia ohjauskeinoja. PEM nousee kilpailukykyiseksi alkalielektrolyysiin nähden.

Vientiteollisuuden näkymät Eurooppaan avautuvat.

VALMISTAUTUMINEN

Suomessa tuotetaan vetyä noin 140–150 kt/a (4,7–5,0 TWh/a). Nykyisin alle 1% kotimaisesta vedystä tuotetaan alkalielektrolyysillä.

Konseptikehitysvaihe, jossa verkostoidutaan ennen lopullisten investointipäätösten tekemistä.

KYPSYYS

Hiilineutraali Eurooppa 2050 edellyttää, että vetyyn perustuvat investoinnit on tehty.

Vety saa uusista teknologioista haastajia ja vetytalouden kehitys keskittyy tehostamiseen ja/tai erikoistumiseen.

KÄYNNISTYMINEN

Ensimmäisiä teollisen mittakaavan PtX-investointeja fossiilisia polttoaineita korvaaviin prosesseihin.

Ensimmäiset laitokset saavat todennäköisesti merkittäviä julkisia investointitukia.

2021

2025
-
2030

2030
-
2040

2040
-
2050

1. Yhteenveto
2. Uusiutuvan vedyntuotannon tilanne
- 3. Uusiutuvan sähkön saatavuus Naantalissa**
4. Vetytuotanto elektrolyysillä ja vedyn käyttö
5. Hiilidioksidin lähteet Naantalissa
6. Naantalin jalostamoalue
7. Power to X –toiminta Naantalissa
8. Suositellut jatkotoimenpiteet



Vihreän vedyn tuotanto edellyttää, että sen tarvitsema uusiutuva sähkö on lisäistä nykyiseen verrattuna

- Uusiutuvia energialähteitä koskevan direktiivin (REDII) mukaan sähköverkkoon kytketyistä laitoksista tuotettu vety voidaan tilastollisesti laskea 100-prosenttisesti uusiutuvaksi, jos tietyt edellytykset täyttyvät, kuten käytetyn **uusiutuvan sähkön lisäisyys**.
- Lisäisyys todennäköisesti tarkoittaa, että vedyntuotannon tarvitsemaan sähköntuotantokapasiteettiin ei olisi muuten investoitu, kapasiteetti olisi muussa tapauksessa poissa käytöstä tai ko. kapasiteetti ei olisi uusiutuvaan energiaan perustuvaa.
- Komissio aikoo esittää vuonna 2021 delegoidun säädöksen, jossa edellytykset vahvistetaan.
- Uusiutuva energia voi olla
 - tuuli- ja aurinkoenergiaa,
 - geotermistä energiaa,
 - ympäristön energiaa,
 - aaltoenergiaa,
 - vesivoimaa,
 - biomassaa,
 - kaatopaikoilla ja jätevedenpuhdistamoissa syntyvää kaasua ja
 - biokaasua.



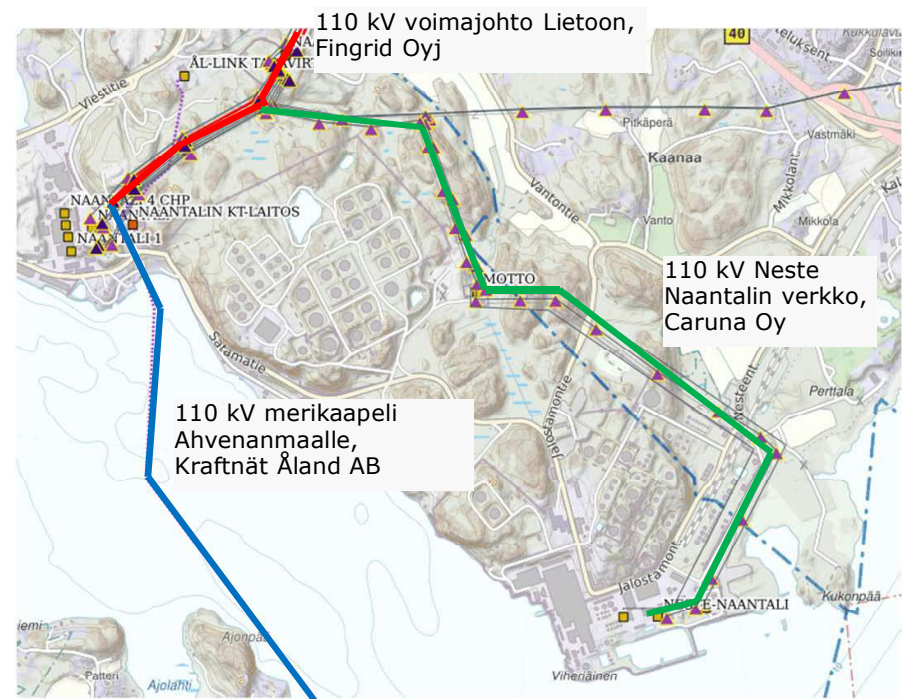
Kantaverkon siirtokapasiteetti riittäisi satojen megawattien vetylaitokseen

110 KV VOIMAJOHTOYHTEYTTÄ ON MAHDOLLISTA LAAJENTAA

- Naantalin jalostamoalueelta on 110 kV:n liittymä Carunan verkkoon, jossa on kaksi rinnakkaista voimajohtoa liitettynä Fingridin 110 kV kantaverkkoon, jossa on myös kaksi rinnakkaista voimajohtoa.
- Naantalin jalostamolla on kolme muuntamoa. Sähkönkulutus on alueella ollut luokkaa 170 GWh/a, joka vastaa noin 20 MW keskitehoa.
- Muuntamot ja Naantalin verkko edellyttävät todennäköisesti laajennuksia ja päivityksiä, jos tehontarve nousee nykyisestä.
- Fingridillä on 110 kV voimajohto välillä Naantali-Lieto, joka liittyy 400 kV päävoimansiirtoverkkoon Liedossa.
- Fingridin mukaan voimajohtoa Naantalista Lietoon on mahdollista laajentaa 400 kV:iin. Laajennus edellyttää ympäristövaikutusten arviointia, yleissuunnittelua, lunastusmenettelyä sekä rakentamista. Laajennus voisi siten olla valmis vuonna 2027, jos suunnittelu aloitettaisiin 2021.
- Fingridin Naantalin sähköasemalta on yhteys Krafnät Åland AB:n omistamaan 110 kV HVDC-merikaapeliin Ahvenanmaalle. Merikaapeli on rakennettu varayhteydeksi mantereelle.
- Merikaapeliin on mahdollista liittää sähköasemia uusia tuulipuistoja varten. Merikaapelilla voidaan siirtää sähköä maks. 100 MW kapasiteetilla. Sähkön tuonti Ahvenanmaalta Suomeen edellyttää lainsäädännöllisten edellytysten tarkastelua, koska Ahvenanmaa on oma itsehallintoalueensa.

Lähteet: Krafnät Åland AB, Fingrid Oyj

SÄHKÖVERKKO JA SÄHKÖASEMAT



Uuden tuulivoiman hankintaan on erinomaiset edellytykset: hankkeita on suunnitteluvaiheessa 350 – 465 MW jo alle 100 km säteellä

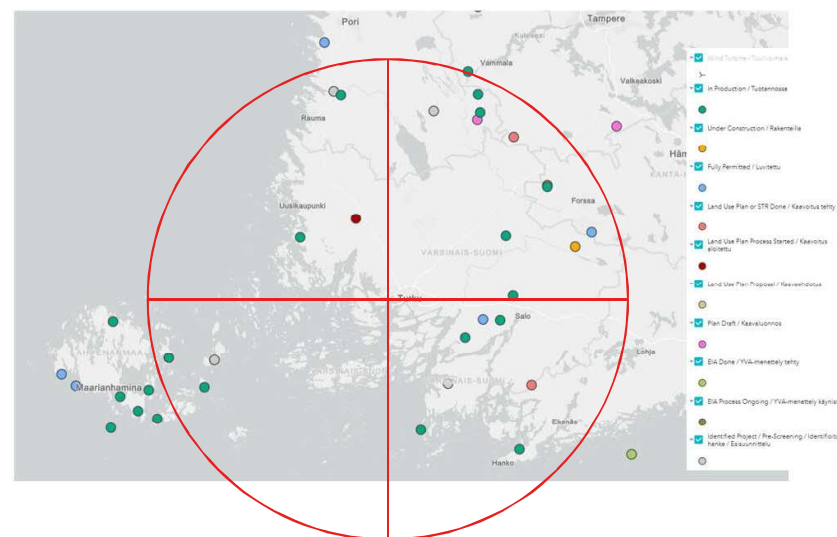
TUULIPUISTOT SUUNNITTEILLA LÄHIALUEILLA (<100 KM)

Nro	Sijainti	MW
<i>Esisuunnittelu</i>		
1	Kumlinge, Ahvenanmaa	100
2	Kemiönsaari	67-104
3	Säkylä, Korpilevonmäki	42
4	Eurajoki, Auvi	2
<i>Kaavaluonnos</i>		
5	Huittinen, Taraskallio	25-40
<i>Kaavoitus aloitettu</i>		
6	Mynämäki ja Laitila, Kolsa-Juva	65-120
<i>Kaavoitus tehty</i>		
7	Punkalaidun, Isosuo-Akkuinsuo	36-45
<i>Luvitettu</i>		
8	Paimio, Salo, Huso, Pöylä	12
Yhteensä, MW		350 - 465

Lähde: Tuulivoimayhdistys, 2021, Tilanne 1/2021

SUOMEEN 45 GW UUTTA TUULIVOIMAKAPASITEETTIA

- Sähkönhankinta Naantalın teollisuusalueelle voidaan tehdä Suomen alueella mistä tahansa suunnitteilla olevasta tuulipuistohankkeesta, jos PtX-laitos on kytketty verkkoon.



Bioenergian paikalliset mahdollisuudet kannattaa selvittää, kun EU-säädös uusiutuvan sähkön lisäisyysvaatimuksista valmistuu

- Turun Seudun Energiantuotanto Oy:n Naantalın voimalaitos käyttää polttoaineenaan 70-80 % biopolttoaineita. Voimalaitoksen tuottama sähkö ei suoraan täyttäisi uusiutuvan sähkön lisäisyysvaatimusta.
- **Investoimalla sellaisiin toimenpiteisiin, joilla voimalaitoksella voitaisiin lisätä sähköntuotantoa uusiutuvaan energiaan perustuen**, saattaa olla mahdollista, että lisäyksen osalta sähköntuotanto täyttäisi lisäisyyden ehdot. Tämä riippuu siitä, miten lisäisyys määritellään EU-säädöksissä vuoden 2021 aikana.
- TSE muokkaa polttoainejakaumaansa uusiutuvien suuntaan joka tapauksessa. Uusien mahdollisuuksien tulisi perustua sellaisiin toimenpiteisiin, joihin ei markkinaehtoisesti ryhdyttäisi.
- Naantalın voimalaitos tuottaa sähköä noin 800 GWh vuodessa kahdessa voimalaitosyksikössä:
 - N4 sähköteho on 150 MW. Polttoaineina ovat biopolttoaine, asfalteeni, kivihiili ja turve.
 - N3 on kivihiiilivoimalaitos, jonka sähköteho on 123 MW.
- Turun Seudun Energiantuotanto Oy:n omistavat
 - Fortum Power and Heat Oy 53,5 %
 - Turku Energia Oy 43,5 %
 - Naantalın kaupunki 3,0 %
- Huom. Investointi uuteen biopolttoaineisiin perustuvaan voimalaitokseen ei olisi kilpailukykyinen uuteen tuulivoimaan verrattuna.

Lähde: http://www.tset.fi/wp-content/uploads/2019/11/TSE-turvallisuustiedote2019_11_2019_Verkkosivut.pdf



1. Yhteenveto
2. Uusiutuvan vedyntuotannon tilanne
3. Uusiutuvan sähkön saatavuus Naantalissa
- 4. Vetytuotanto elektrolyysillä ja vedyn käyttö**
5. Hiilidioksidin lähteet Naantalissa
6. Naantalin jalostamoalue
7. Power to X –toiminta Naantalissa
8. Suositellut jatkotoimenpiteet



Vedyn elektrolyysiin on kolme pääteknologiaa*

Alkali (ALK)

- + Kaikkein kehittynein
- + Pienin CAPEX
- + Pisin laitteiston elinikä
- + Kehitteillä uusia konsepteja (Zero-gap & AMWE)
- Suuri tilantarve ja heikko teho säätövoimakäytössä

Kaikkein kehittynein ja pienin CAPEX, mutta **matalin todennäköisyys hinnan tai tehokkuuden kehittymiselle**

Polymeeri (PEM)

- + CAPEX voi vielä laskea
- + Pieni tilantarve
- + Korkeampi tuottopaine
- + Toimii hyvin säätövoimamoodissa
- Korkea CAPEX ja vaatii harvinaisia metalleja (Ir & Pt)

Joustavuus ja laskeva CAPEX **luovat mahdollisuuden laajamittaiselle hyödyntämiselle**

Höyry (SOEC)

- + Mahdollisuus tehokkuuden ja kustannusten parantamiseen
- Vielä kehitteillä
- Kallein
- Systeeminen lyhyehkö kesto
- Tarvitsee korkean lämpötilan lähteen

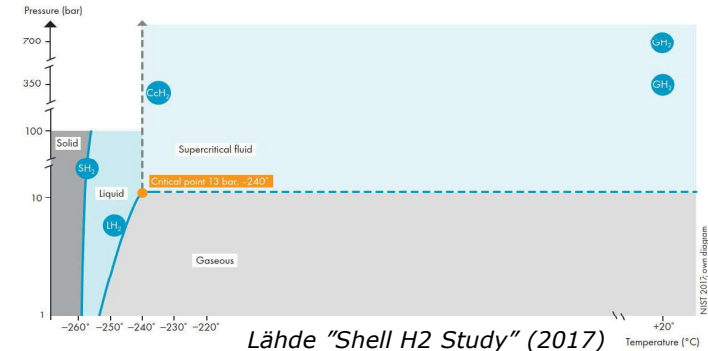
Vielä kehitysasteella, mutta potentiaalinen tehokkuus tekee siitä **mielenkiintoisen tulevaisuuden tekniikan**

	Tämän hetken tilanne			2030-2050		
	ALK	PEM	SOEC	ALK	PEM	SOEC
CAPEX	✓	✗	✗✗	↓	↓↓↓	↓↓↓
Tehokkuus	✓	✓	-	↑	↑	↑↑↑
Elinikä	✓	✗	-	↑	↑	↑
Valmiusaste	✓✓	✓	✗	↑	↑	↑↑↑
				Selite		
				↑↓ Mahdollisuus nousta/laskea		

*Teknologiat on kuvattu tarkemmin liitteessä 1.

Vedyn varastointi

- Fyysinen säilytys: paineistus ja/tai jäähdytys -> tiheyden nosto
 - Paineistus (800 barg asti), kryogeeninen neste (ilmanpaineessa), kryokompressoitu (kombinaatio)
 - Ongelmia: Vedyn reaktiot-> materiaalin haurastuminen, vuodot, säiliöiden kestot eri tilanteissa, säiliöiden lämpeneminen
- Materiaaleihin perustuva: nesteisiin, kiinteisiin tai pintoihin perustuva.
 - Hydridit, nestemäiset vedyn kuljettajat, vedyn adsorbointi, kemialliset kovalenttiset yhdisteet
 - Suuri tiheys, eroon vedyn säilytyksen haasteista
 - Ongelmat: tällä hetkellä ei taloudellisesti kannattavaa prosessien kustannusten takia, pitkät lataus- ja purkuajat



Kompressoitu kaasu H₂ (350-700 barg)

- + Kehittyinen
- + Pienin CAPEX
- + Pienin energian kulutus
- + Sopii parhaiten pienemmälle tuotannolle
- Matalin tiheys, joten vaatii paljon tilaa

Kehittynein ja matalin CAPEX, **vaatii tilaa paljon**

Kryogeeninen nestemäinen H₂

- + Käytössä olevaa tekniikkaa
- + Korkean puhtauden vaativiin jatkosovelluksiin
- Vaatii paljon energiaa
- Nesteytystehtaan takia korkea CAPEX

Saatavilla oleva tekniikka, mutta pääosin suositellaan vain suurelle tuotannolle.
Korkea CAPEX

Kryokompressoitu H₂

- + Kaikkein tihein
- + Vedyn vähäisin aktiivisuus säiliössä
- Vielä kehitteillä
- Vaatii paljon energiaa

Vielä kehitteillä, mutta potentiaalinen esimerkiksi liikenteeseen, **tarvitsee jäähdytyksen että paineistuksen**

Vedyn kuljettaminen

- Kuljetustapa riippuu hyvin paljon vedynkäytön alueellisesta tilanteesta ja kehityssasteesta
 - Samat ongelmat ja kuljetustavat kuten muillakin kaasuilla: putket, tiet, laivaus yms..
- Putkisäiliöautoissa paine yleensä 250-300 barg. Mahdollista myös 500 barg. Suhteessa kallista
- Perävaunusäiliöissä yleinen kuljetuspaine säiliöissä 1-4 barg nestemäiselle vedylle.
 - Esimerkiksi vedyn tiheyden ollessa 70 kg/m^3 normaali 50 m^3 perävaunu saa kuljetettua 3,5 tonnia
 - Kuljetussäiliöiden eristäminen on tärkeää
 - Vety "kiehuu" eristuksen läpäisevän lämmön vaikutuksesta. Kiehuva vety voidaan käyttää suoraan tai uudelleen nesteyttää asemilla.
- Suuren mittakaavan siirroissa tarvitaan putkilinjat, jotka vaativat suuria investointeja
 - Nykyisten maakaasuverkkojen muuttamista vetykäyttöön ja vedyn sekoittamista maakaasun sekaan kehitetään
 - Ongelmia: muutokset käyttäjän päässä, vedyn tuomat turvallisuusriskit (syttyy herkästi), putkimateriaalien kestävyys (vetyhaurastuminen), vuotomäärän kasvu, yms...



Lähde "<https://www.linde-engineering.com>"



Tube Trailer
From "www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-tube-trailers"

Vety on monen prosessin raaka-aine, jota käytetään suuria määriä

VEDYN KÄYTTÖ

- Vedyn käyttäminen sellaisenaan polttokennossa esim. Flexensin suunnittelemassa lauttaliikenteen polttoaineena voi olla hyvä ensiaskel
- Haasteena kuitenkin on vedyn helpompi kuljettaminen kuin uusien sähkönsiirtolinjojen rakentaminen
- Vedystä voidaan tuottaa eri kemikaaleja, joista potentiaalisimpia PtX-tuotannossa:
 - Ammoniakki (NH₃)
 - Synteettiset yksinkertaiset hiilivedyt (C_xH_(2x+2))
 - Alkoholit (R-OH)
- Synteesikemia: Hydraaminen: tyydyttymättömät molekyylit, sykloalkaanit, amiinit,...
- Öljynjalostus: Krakkaus, Pelkistys
- Laboratorioiden jäähdytysjärjestelmät, kaasukromatografia

SUUNTAA ANTAVIA TUOTANTOKAPASITEETTEJA

Elektrolyysin teho	H ₂ kt/a	NH ₃ kt/a	CH ₄ kt/a	C _n H _{2+n} kt/a	CH ₃ OH kt/a
20 MW	3,2	16	6,4	7,4	17
100 MW	16	80	32	37	85

- Esitetyt kapasiteetit on stoikiometrisesti laskettuja kapasiteetteja
- Vedyn tuotanto perustuu 4,5 kWh/Nm³ sähkönkulutukseen
- Tuotantomäärät ovat hyvin pieniä teollisen mittakaavan peruskemikaalien tuotantoon
- Todelliset tuotantomäärät ovat tyypillisesti n. 90-98% esitetyistä
- Synteettisiä hiilivetyjä voidaan tuottaa Fischer-Tropsch synteesillä, jolloin saadaan eri pituisia hiiliketjuja. Näille on yllä annettu yhteismäärä.
 - Tuotejakauma riippuu käytetystä katalyytistä ja prosessiolosuhteista
 - Yksittäisten komponenttien määrät jäävät pieniksi

Potentiaalisten lopputuotteiden vertailu

Ammoniakki

- + Synergia meriteollisuuden hankkeisiin
- + Kypsä teknologia
- Bulkkituote, matala hinta
- Typpilaitoksen tarve
- Jatkojalostuspotentiaali

Mittakaavan pienuus ei tue ammoniakkin valmistamista

Metanoli

- + Yksinkertainen prosessi
- + Jatkojalostuspotentiaali
- + Tuotteella suora markkina
- Bulkkituote, matala hinta

Yksinkertainen aloitus, jatkojalostusmahdollisuudet voivat luoda uutta liiketoimintaa, etenkin muovit kiinnostava hiilivarasto

Metaani

- + Yksinkertainen prosessi
- + Hyvä energiavarasto
- Matala hinta
- Maakaasuverkon puute
- Jatkojalostuspotentiaali

Yksinkertainen aloitus, mutta maakaasuverkon puute hankaloittaa energiantuotannon puskurointia (sähköenergian varastointi kaasuna)

Hiilivedyt (F&T)

- + Kiinnostava tutkimuskohde
- + Jatkojalostuspotentiaali
- + Arvokkaat tuotteet (esim. Lentopolttoaine)
- Paljon tuotteita, pienet volyymit yksittäin
- Monta vaihetta, kallis

Hiilivetyjen valmistaminen olisi tutkimuksen ja kehityksen kannalta kiinnostavaa ja auttaisi kaupallistamisessa. Laaja tuotejakauma vaatii paljon yksikköprosesseja.

- Kaikki lopputuotteet mahdollistavat myös vedyn tuottamisen suoraan käyttöön esim. liikennepolttoaineeksi
- Vetyä käytetään myös paljon erilaisissa hienokemian sovelluksissa, joissa kapasiteetit ovat usein pieniä
- Tällaista tuotantoa on helppo liittää muun tuotannon oheen
- Edellämämainituista prosesseista on lisää taustatietoa liitteessä 2

1. Yhteenveto
2. Uusiutuvan vedyntuotannon tilanne
3. Uusiutuvan sähkön saatavuus Naantalissa
4. Vetytuotanto elektrolyysillä ja vedyn käyttö
- 5. Hiilidioksidin lähteet Naantalissa**
6. Naantalin jalostamoalue
7. Power to X –toiminta Naantalissa
8. Suositellut jatkotoimenpiteet



Naantalin voimalaitos

- Naantalin voimalaitoksen hiilidioksidipäästöt ovat olleet n. 800 000 – 1 400 000 t CO₂/a vuosina 2013 – 2018¹
- Turun Seudun Energiantuotanto Oy (TSE) on investoinut ja jatkaa investoimista hiilidioksidipäästöjä vähentäviin toimiin, mutta polttoprosessissa tulee aina syntymään hiilidioksidia
- Voimalaitos sijaitsee n. 2,5 kilometrin päässä jalostamon prosessialueesta ja laitosten välillä on olemassa olevat liittynät höyryn ja lauhteen, sekä poltettavien jalostamokaasujen kuljettamiseen
 - Hiilidioksidin siirtämiseen voitaisiin hyödyntää samaa putkisiltaa
- TSE on tutkinut hiilidioksidin talteenottoa, mutta sitä ei sellaisenaan ole todettu kannattavaksi²
 - Hiilidioksidin talteenottoon raaka-aineeksi ei kuitenkaan nähdä voimalaitoksen kannalta teknistä estettä
 - Tarvittava hiilidioksidin määrä 100 MW vedyntuotannolla olisi suurimmillaankin vain murto-osa voimalan tuottamasta määrästä

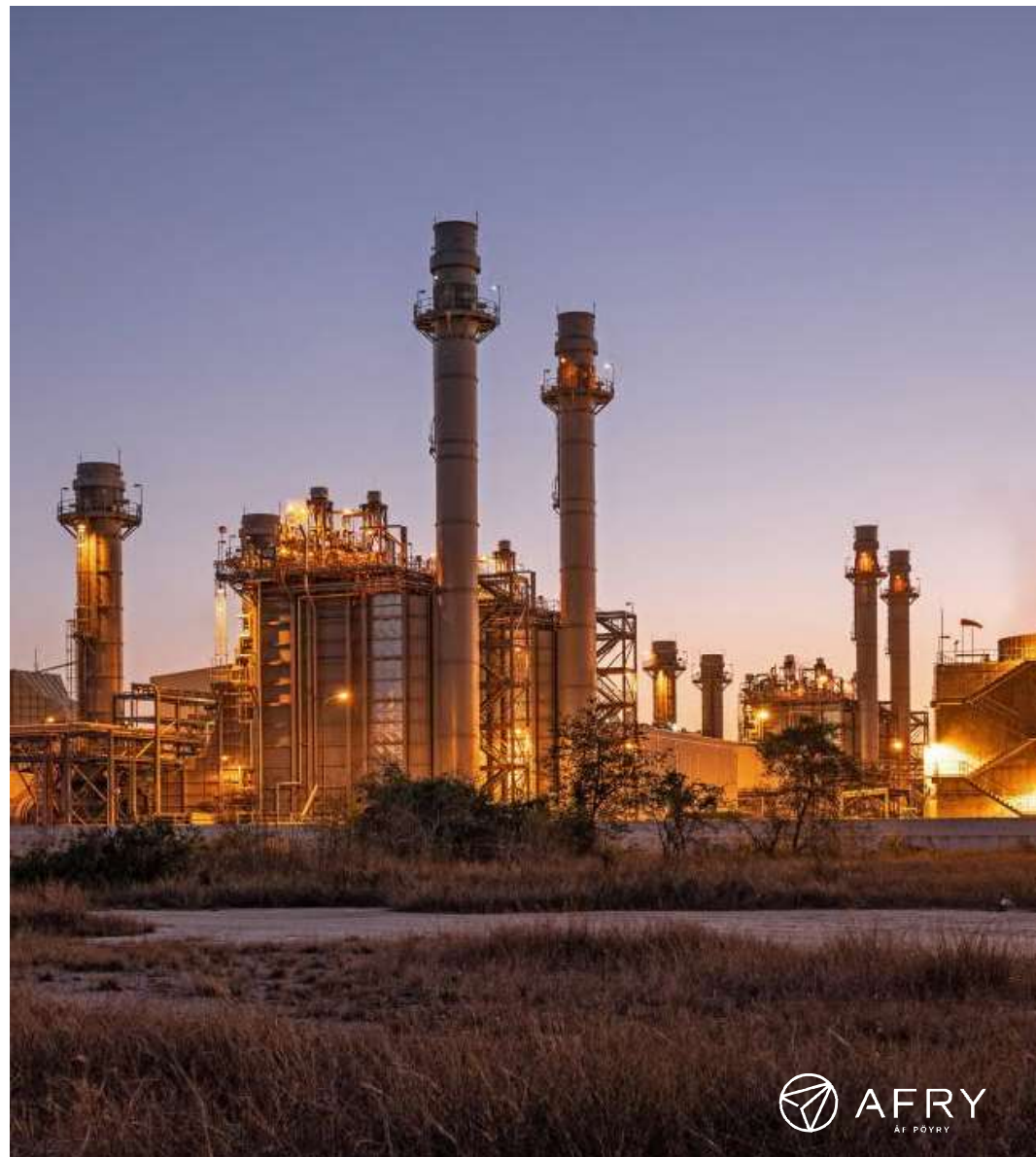
Lähteet: 1 <https://www.tset.fi/tuotanto-ja-operointi/tuotannon-ymparistovaiikutukset/>
2 Selvitykseen tehty TSE haastattelu, 1.4.2021



Hiilidioksidin talteenotto

- Eniten käytetty hiilidioksidin talteenottomenetelmä nykyisin on amiineihin perustuva absorbointi
 - Amiinipesua käytetään myös paljon maa- ja biokaasun, sekä erilaisten öljynjalostamon prosessikaasujen puhdistusprosessina
- Toinen laajalti hyödynnetty kaasunpuhdistusmenetelmä on adsorbointi (pressure swing adsorption), joka skaalautuu paremmin pienempiin kokoihin
- Voimalaitoksen savukaasuista hiilidioksidin talteen ottamisen suurin haaste on hiilidioksidin suhteellisen pieni osuus savukaasuissa polttoilman mukana tulevan typen vuoksi
 - Typen osuutta voidaan pienentää käyttämällä elektrolyysiprosessissa syntyvää happea korvaamaan ilmaa, jolloin hiilidioksidin suhteellinen osuus savukaasuissa kasvaa
- Hiilidioksidin hinta voimalaitoksesta talteen otettuna on tällä hetkellä n. 40 – 80 USD/t
- Hiilidioksidin talteenottoon on kehitteillä paljon uusia prosesseja²

Lähteet: 1 <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive>
2 <https://www.iea.org/reports/ccus-in-power>



Muita lähteitä

- Naantalın voimalaitoksen ohella alueella sijaitsee toinen merkittävä hiilidioksidin lähde; Paraisten sementtitehdas
- Talteenotto tapahtuisi samaan tapaan kuin voimalaitoksen savukaasuista
- Välimatkan vuoksi (tietä pitkin n. 45 kilometriä) hiilidioksidi jouduttaisiin kuljettamaan, joka lisää kustannuksia ja prosessivaiheita vaaditun paineistuksen tai nesteytyksen vuoksi
- Hiilidioksidia voidaan talteenottaa myös suoraan ilmasta PSA tekniikalla
- Tämä on kuitenkin vielä kallista, hinta n. nelinkertainen voimalaitoksesta talteenotettuun hiilidioksidiin nähden¹
- Hiilidioksidia on saatavissa myös nesteytettynä
- Teollisuuskaasujen myyjät (esim. Air Liquide, Linde (ent. AGA)) pystyvät toimittamaan hiilidioksidin rekkakuljetuksina
- Tämä voi olla kannattavaa pienessä mittakaavassa

Lähteet: 1 <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive>



1. Yhteenveto
2. Uusiutuvan vedyntuotannon tilanne
3. Uusiutuvan sähkön saatavuus Naantalissa
4. Vetytuotanto elektrolyysillä ja vedyn käyttö
5. Hiilidioksidin lähteet Naantalissa
- 6. Naantalın jalostamoalue**
7. Power to X –toiminta Naantalissa
8. Suositellut jatkotoimenpiteet



Infrastrukturi

- Naantalin jalostamoalueeseen kuuluu noin 300 ha maata
- Alueella on lukuisia mahdollisen Power to X toiminnan kannalta oleellisia olemassa olevia hyödykejärjestelmiä:
 - Sähkönjakelu, tehonkäyttö n. **20 MW**
 - Meriveden otto jäähdytyskäyttöön, **40 milj. m³/a**
 - Liityntä Raisio-Naantalin kuntayhtymän vesilaitokselle. Käyttö on ollut n. **700 000 m³/a**, josta
 - Prosessivesi, 200 000 m³/a
 - Kattilaveden tuotanto, 460 000 m³/a
 - Kattilaveden tyypillinen laatu on suoraan elektrolyysiin soveltuvaa
 - Höyryliitäntä ja putki palavien kaasujen johtamiseen Naantalin voimalaitokselle
 - Jätevesijärjestelmä
 - Öljynerotuskaivot
 - Biologinen jätevedenpuhdistus
 - Pintavesien keräily ja käsittely
 - Palavien hajapäästöjen käsittely
 - Soihtu
 - Tehdasilma, typpiasema

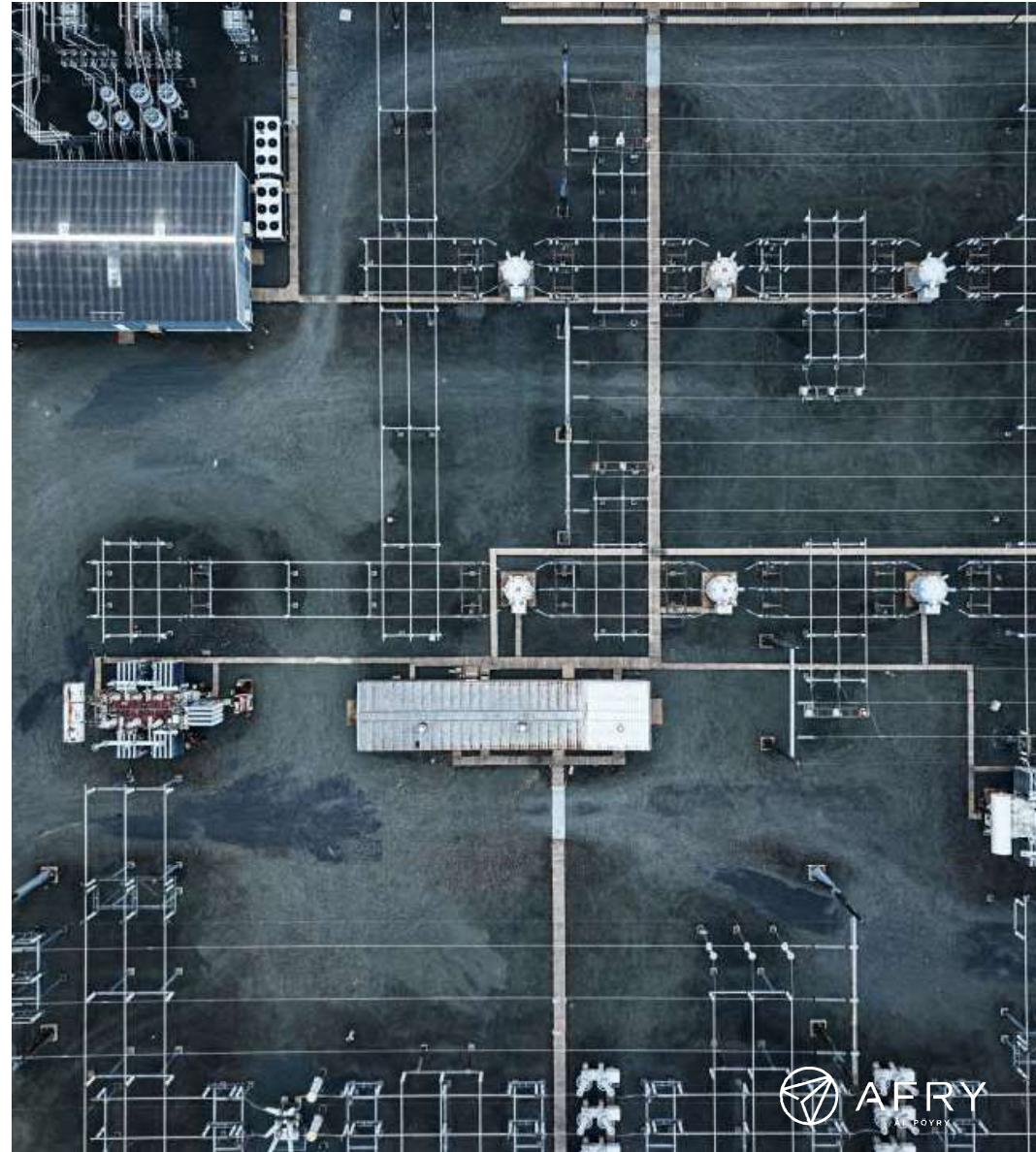
Lähteet: 1 Maanmittauspalvelun karttapalvelu
2 Ympäristölupapäätös Nro 45/2007/2



Nykyinen tuotanto suhteessa suunniteltuun

- Ympäristöluvan mukainen tuotanto on vuona 2006 ollut n. **2,1 miljoonaa tonnia**, josta n. 88 % on ollut erilaisia nestemäisiä hiilivetyjä (diesel, bensiini, liuottimet, raskas polttoöljy)¹
- Hiilivetyjen tai alkoholien kokonaismäärät olisivat tutkituilla kapasiteeteilla n. **5 kt/a – 85 kt/a**
- Nykyinen tuotanto on siis huomattavasti suurempaa kuin mitä PtX -hiilivetytuotanto tulisi ainakin alkuun olemaan
 - PtX -toiminnalle ei ole nähtävissä infrastruktuurin suhteen rajoitteita, muuten kuin sähköliitynnän puolesta
 - Toiminnan mittakaavaero kuitenkin tarkoittaa todennäköisesti sitä, että osa apujärjestelmistä on liian suuria suunniteltuun käyttöön
 - Konseptin jatkokehityksessä olemassa olevien järjestelmien hyödynnettävyys tulee tutkia

Lähteet: 1 Ympäristölupapäätös Nro 45/2007/2



Varastot ja logistiikka

- Neste Oyj tulee jatkamaan terminaalitoimintaa osalla alueesta
- Alueella on merkittävä määrä säiliökapasiteettia:
 - Kiinteäkattoisia säiliöitä n. 450 000 m³
 - Uivakattoisia säiliöitä n. 360 000 m³
 - Sikari ja pallosäiliöitä kaasuille n. 6 000 m³
- Varastointikapasiteetista osa tulee jatkamaan terminaalin käytössä
- On kuitenkin oletettavissa, että riittävä määrä varastokapasiteettia olisi muutettavissa uuteen käyttöön
- Jalostamoalueella on erinomaiset logistiikkayhteydet:
 - Öljysatama kolmella laiturilla, syvyys 7 – 13 metriä
 - Rekkaterminaali
 - Rautatieterminaali
 - Oma polttonesteiden jakeluasema
- Lisäksi alueella on kunnossapidolle tarvittavat korjaamot, tarvikkevarastot ja huoltorakennus, toimistorakennuksia ja oma terveysasema

Lähteet: 1 Ympäristölupapäätös Nro 45/2007/2



1. Yhteenveto
2. Uusiutuvan vedyntuotannon tilanne
3. Uusiutuvan sähkön saatavuus Naantalissa
4. Vetytuotanto elektrolyysillä ja vedyn käyttö
5. Hiilidioksidin lähteet Naantalissa
6. Naantalin jalostamoalue
- 7. Power to X –toiminta Naantalissa**
8. Suositellut jatkotoimenpiteet



Yrityspuisto

- PtX -toiminta on vielä käynnistysvaiheessa
 - Ensimmäiset projektit ovat pilottiprojekteja, joilla on myös tutkimuksellisia ja kehityksellisiä tavoitteita
 - Toiminta vaatii julkisia kannusteita ja tukia
- Naantali sopisi sijoituspaikaksi prosessille joka on skaalaamassa tuotantoa demo-kokoluokkaan
 - Tällaisia voisivat olla alalla toimivat start-up yritykset (esim. Soletair) tai suuremmat yritykset joilla on tutkimushankkeita käynnissä alaan liittyen (esim. St1, Fortum, Wärtsilä)
- Hiilivetyjen ja metanolin tuotanto tuo mahdollisuuksia jatkojalostukseen
 - Kapasiteetit jatkojalosteille voivat olla pieniä, sillä reaktioissa syntyy erilaisia tuotteita jotka vaativat erilaiset prosessit
- Paras kaupallinen potentiaali pienessä mittakaavassa on korkean lisäarvon tuotteilla, kuten erilaiset hienokemikaalit, lääkeaineet ja ruuan lisäaineet
 - Tällaisia prosesseja mahtuu alueelle lukuisia
 - Uusiutuva vety voi toimia ”vetonaulana”
 - Mahdollisuus synergiaetuihin Raisio Smart Chemistry Parkin kanssa seuraavan kokoluokan toiminnan sijoituspaikkana



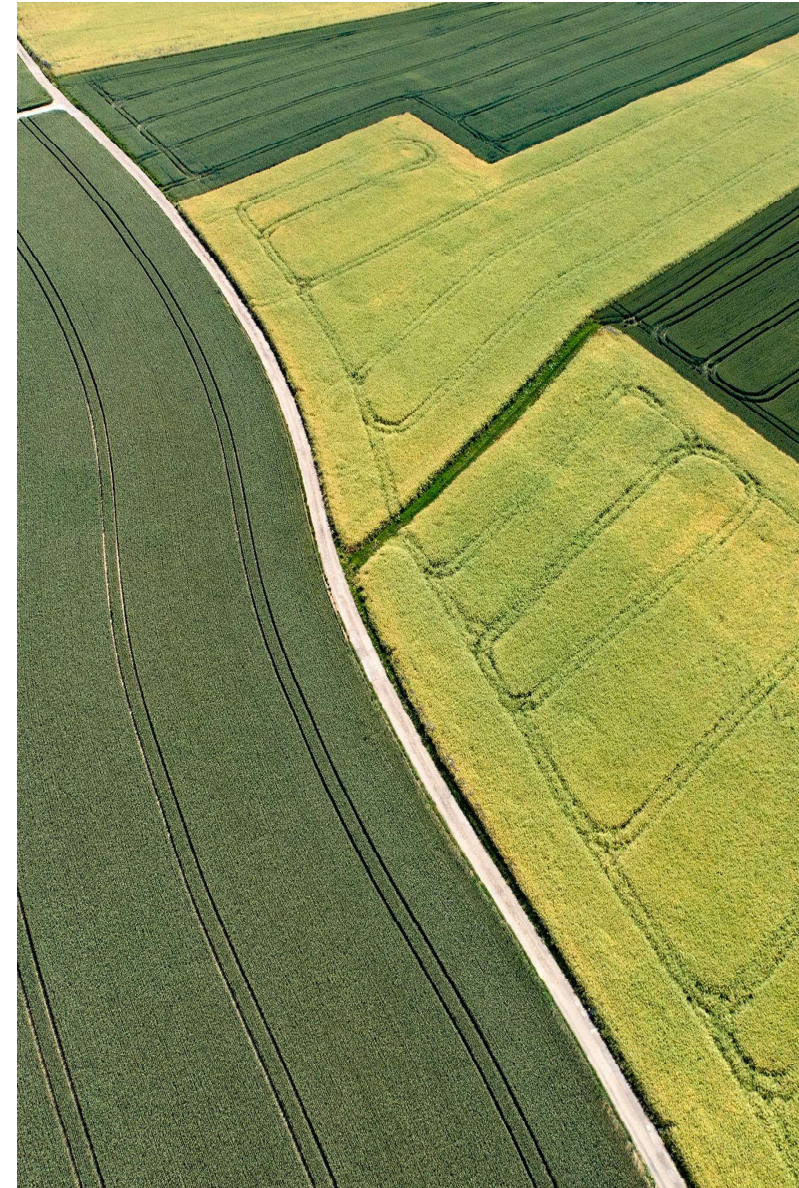
Toimintakehys

- Jalostamon nykyinen sähköteho, n. 20 MW, on hyvä lähtökohta vedyntuotannolle
 - Vedyntuotantoa voidaan kasvattaa modulaarisesti sitä hyödyntävän teollisuuden tarpeiden mukaan
- Jalostamon valmis infra mahdollistaa hyvän pohjan teollisuustuotannolle
- Keski-Euroopassa on paljon kemianteollisuuden yrityspuistoja (esim. Leuna, Knapsack, Europoort), joissa alueen yritykset toimivat yhteisten infra-yritysten osaomistajina
 - Myös Kilpilahden teollisuusalueella on esim. höyryntuotanto järjestelty tällä tapaa
- Naantalın jalostamoaluetta hallinnoimaan voitaisiin perustaa uusi yritys
 - Yhtiö ostaisi tarpeelliset apulaitteet ja maan
 - Alueelle sijoittuvat yritykset tulisivat yrityksen osakkaiksi ja ostaisivat tarvitsemansa käyttöhyödykkeet ja vedyn infra-yhtiöltä



Vedyn käyttö biojalostuksessa

- Vetyä käytetään biojalostuksessa tyypillisesti jatkojalostamisessa samaan tapaan kuin perinteisessä öljyteollisuudessa
- Bioraaka-aineissa on suuri määrä happea
 - Merkittävä ero fossiilisiin raaka-aineisiin, joissa pääepäpuhtaus on rikki
- Vedyllä saadaan poistettua happi, joka reagoi vedeksi
 - Kasviöljyjen ja rasvojen happi poistamalla saadaan puhtaita hiilivetyjä (HVO = Hydrogenated vegetable oils)
 - Esim. UPM:n ja Nesteen biopolttoaineiden tuotanto perustuu tähän prosessiin
 - Neste ja UPM ovat investoimassa uusiin laitoksiin, St1:llä on rakenteilla Göteborgiin vastaava laitos
 - Markkinat voi olla haastavat lisälaitoksille
- Vetyä voidaan käyttää myös muiden bioöljyjen (esim. pyrolyysiöljy) jatkojalostamiseen
 - Nämä teknologiat eivät ole vielä kaupallisessa mittakaavassa
- Toinen tärkeä sovelluskohde vedylle biojalostuksessa on biokomponenteista eristettyjen yhdisteiden kuten sokerien tai rasvahappojen hydraaminen
 - Esim. Xylitol, Benecol
 - Prosessikoot ovat pienempiä ja sopisivat hyvin Naantaliin



Kaukolämmön tuotanto

- Vetyelektrolyysissä merkittävä määrä energiasta vapautuu lämpönä
 - Hukkalämmön osuus on 30-40 % sähkönkulutuksesta
 - 20 MW → 6 – 8 MW lämpöä
 - 100 MW → 30 – 40 MW lämpöä
- Turun Seudun Energiantuotanto on kiinnostunut ostamaan hukkalämpöä verkkoonsa, mikäli tuotantokustannukset ovat sopivat
 - Lämpötilan tulee olla vähintään 90 °C
- Riippuen elektrolyysitekniikasta hukkalämpö on alle vaaditun
 - Tarvittava lämpötila vaatii lämpöpumppuja
 - Lämpöpumput ottaa osan saatavilla olevasta sähköstä
- Kaukolämmölle ei ole välttämättä ympärivuotista kysyntää
- Naantalin jalostamolle ei ole valmista kaukolämpöliitintää
- Kaukolämmön tuotannon kannattavuus tulee selvittää erikseen, mutta hukkalämmön myyminen on vedyn tuotannon kannalta tärkeää



1. Yhteenveto
2. Uusiutuvan vedyntuotannon tilanne
3. Uusiutuvan sähkön saatavuus Naantalissa
4. Vetytuotanto elektrolyysillä ja vedyn käyttö
5. Hiilidioksidin lähteet Naantalissa
6. Naantalin jalostamoalue
7. Power to X –toiminta Naantalissa
- 8. Suositellut jatkotoimenpiteet**



Suosituksia jatkotoimenpiteiksi

Suosittellemme seuraavia jatkotoimenpiteitä Naantalın teollisuusalueen PtX-mahdollisuuksien kehittämiseksi:

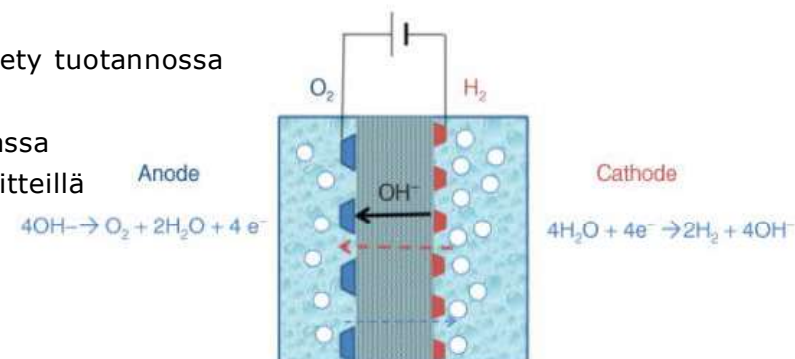
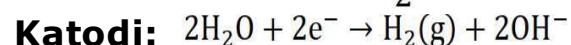
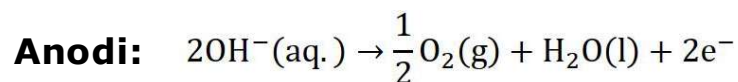
1. Markkinatutkimus mahdollisille tuotteille
 - Tuotantoprosessi kannattaa valita sen mukaan, mille lopputuotteille olisi kysyntää vetytalouden kehityksen tässä vaiheessa
 - Naantalın sijainti huomioon ottaen, lopputuotteiden logistiikka loppukäyttökohteeseen on tärkeä kysymys.
2. Tarkempi alustava kannattavuusselvitys pilot- tai demonstraatiokokoluokan (20-30 MW) laitoksesta Naantalissa
 - Tämän avulla voidaan saada kuva siitä, millaisia julkisia tukia tulisi hakea, jotta lopputuote olisi kilpailukykyinen vastaaviin fossiilisilla polttoaineilla tuotettuihin tuotteisiin verrattuna
 - Osana selvitystä tutkitaan myös kaukolämmön tuotannon kannattavuus
 - Osana selvitystä arvioidaan Naantalın jalostamon nykyisen infran suunniteltuun käyttöön sopivuus ja kunto
3. Sopivien tuottajayritysten kartoittaminen ja lähestyminen, joita ovat:
 - teknologiaa skaalaavat yritykset,
 - demonstraatioprojekteihin erikoistuneet yritykset ja
 - synteetikemian yritykset.
4. Liiketoimintasuunnitelma PtX-yrityspuistolle Naantalissa
 - Alustavan kannattavuusselvityksen perusteella PtX-tuotantokonseptille voidaan laatia liiketoimintasuunnitelma, jota voidaan hyödyntää rahoituksen järjestämiseen.

Making Future

Liite 1 Vetyelektrolyysiteknologiat

Alkalielektrolyysiteknologia

- Alkalielektrolyysiteknologiassa elektrodit upotetaan **korkean konsentraation emäs-vesiliuokseen**
- Elektrodit voidaan valmistaa yleisistä ja huokeista materiaaleista
- Katodin ja anodin välissä on kiinteä huokoinen välikalvo. Tarkoituksena **estää kaasujen uudelleen sekoittuminen**, kuitenkin mahdollistaen hydroksidi-ionien (OH^-) liikkuminen elektrodien välillä
 - Tuotettujen kaasujen sekoittuminen **on turvallisuusriski ja johtaa heikkoon faradiseen hyötysuhteeseen**
- Reaktio vaatii sähköenergiaa, joka saadaan aiheuttamalla jännite-ero elektrodien välille
- Kun elektrodien välillä on tarpeeksi suuri jännite-ero anodilla tapahtuu hydroksidi ionin hapettuminen ja katodilla veden pelkistyminen
- Alkalielektrolyysi on valmis teknologia, jota käytetään pienessä-keskisuudessa vety tuotannossa
 - Perinteinen välikalvotekniikka: **TRL 9**¹ toiminnassa monessa eri ympäristössä
 - Välitön elektrolyysi tekniikka: **TRL 7** Täydenmittakaavan prototyyppi toiminnassa
 - Anionin vaihtoon perustuva kalvotekniikka (AMWE): **TRL 5/6** Prototyyppi kehitteillä

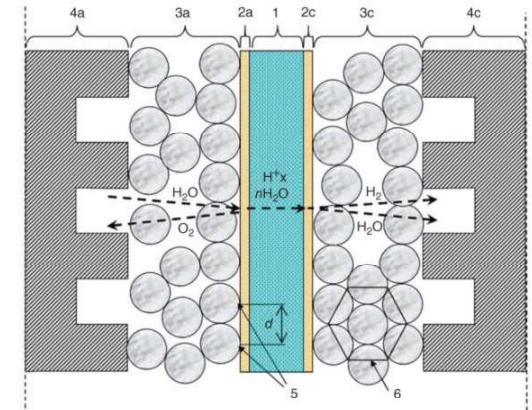


Lähde "Hydrogen Production by Electrolysis" (2015)

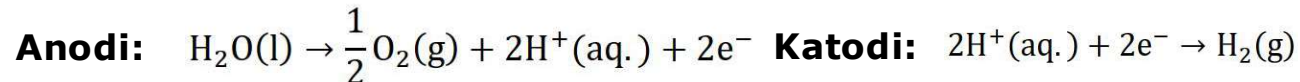
Note :1 Technical Readiness Level = teknisen valmiuden taso 1-9 https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

Polymeerielektrolyysiteknologia (PEM)

- PEM:ssä ei ole nestemäistä elektrolyyttiä, vain deionisoitu vesi kiertää järjestelmässä
- PEM-elektrolyysit käyttävät huomattavasti **korkeampaa sähkövirran tiheyttä** ($0,6 - 2,0 \text{ A/cm}^2$) alkalielektrolyysit ($x < 0,5 \text{ A/cm}^2$)
- **Elektrolyytinä toimii ohut kalvo** ($\sim 200 \text{ }\mu\text{m}$), joka johtaa protoneja (H^+) ja estää kaasujen sekaantumisen
- Kalvon kummallakin puolella on **huokoiset katalyyttikerrokset**, jotka toimivat katodina ja anodina.
- Kun elektrodien välillä on tarpeeksi suuri jännite-ero anodilla tapahtuu veden hapettuminen ja katodilla protonin pelkistymien
- Kalvo on yleensä tehty sulfoinoidusta tetrafluorietyyleeni pohjaisesta kopolymeeristä; Nafion®
 - Hydrattu kalvo on hyvin hapan. Vertautuu 1 M rikkihappoliuokseen.
- Katodi perustuu yleisti platinaan ja iridiumoksidi on yksi kestävimpiä ja tehokkaimpia anodeja
- Kaasuvirtojen ohjauksessa käytetään pääsääntöisesti sintrattuja titaani-partikkeleita ($\varnothing 1 \text{ mm}$)
- Prosessin ympäristö on hyvin kuluttava katalyytti- ja kalvokerroksille
 - -> tehonlasku ja kaasujen sekoittumisriski. Elinikä kuitenkin yli 50 000h
- **TRL 7** kehitys nopeaa ja useita alkuvaiheen tuotantoprojekteja ympäri maailmaa

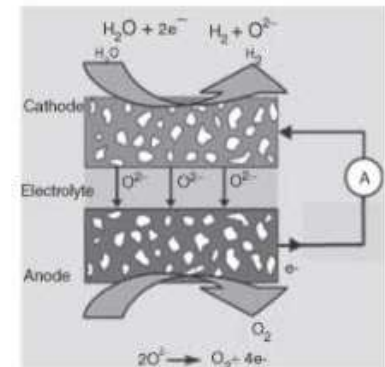
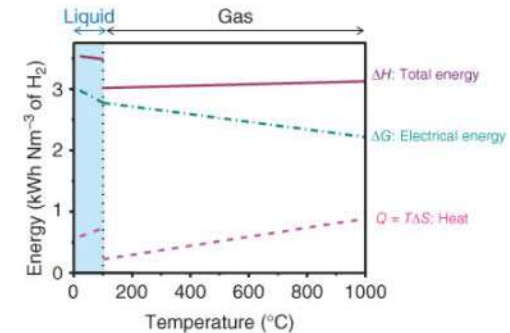
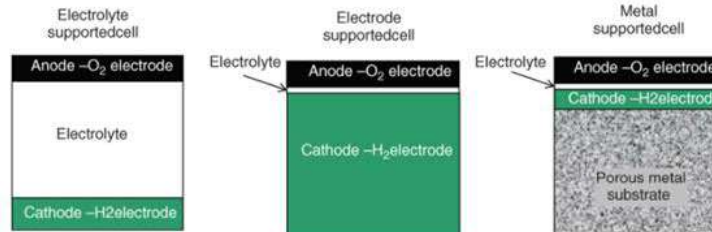


Lähde "Hydrogen Production by Electrolysis" (2015)



Höyryelektrolyysiteknologia (SOEC)

- Tekniikassa elektrolysoitava **vesi on höyrytettyinä**
- **Suurin hyöty** teknologiassa on se, että höyryn hajotus vaatii vähemmän energiaa kuin nestemäisen veden. Lämpöenergialla voi myös korvata osan tarvittavasta sähköenergiasta. Jos vapaita lämmönlähteitä on tarjolla, niin **vedyn tuotantokustannuksia saadaan laskettua**
- Optimaallinen lämpötila on **700 - 900 °C**. Määräävänä asiana on pääasiassa käytettyjen materiaalien kesto, joka on suuri ongelma. Tehon häviö on 2-6 % /10 000h. Elinikä ~25 000h
- Elektrolyysi toteutetaan **kiinteäoksidielektrolyysikennolla (SOEC)**, joka koostuu kolmesta keraamisesta kerroksesta
 - Keskellä tiheä elektrolyytti, joka on yleensä zirkoniaa.
 - Kummallakin puolella elektrolyyttiä on huokoiset elektrodit
- Vesihöyry syötetään katodille, jonne syntyy vesihöyryn ja vetykaasun seos. Anodin puolelle syntyy happea
- SOEC voi toimia myös kiinteäoksidipolttokennona (SOFC)
- Myös muunlaisia kennoja kehitellään
- **TRL 5/6** laboratorio ja pilotti testejä
- Useita julkisen rahan tutkimushankkeita



Anodi: $\text{O}^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$ **Katodi:** $\text{H}_2\text{O}(\text{aq.}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}^{2-}(\text{aq})$

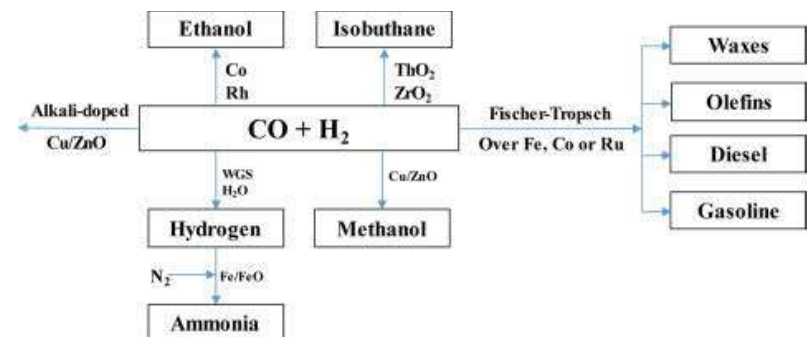
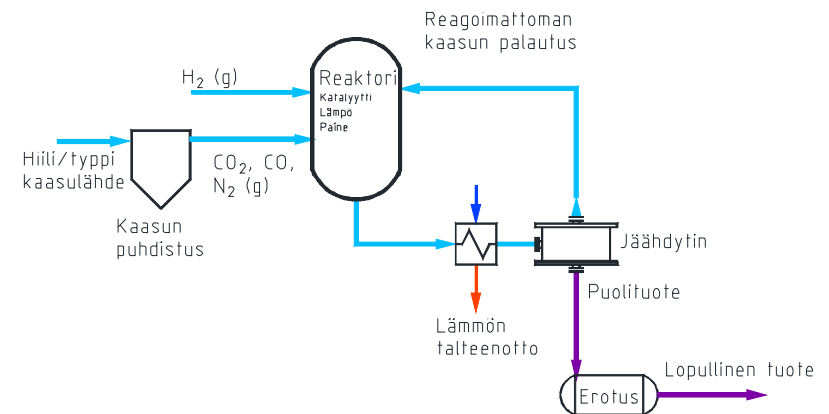
From "Hydrogen Production by Electrolysis" (2011)

Liite 2 Kuvaus merkittävimmistä vetyä käyttävistä prosesseista

Prosessiparametrien ja katalyyttien muunnoksilla moneksi

SYNTEESIPROSESSIT

- Käytettävät teknologiat ovat olleet olemassa kauan:
 - Yksinkertaiset hiilivedyt, Sabatier (1897), Fischer-Tropsch (1925)
 - Ammoniakki, Haber-Bosch (1909/1913)
 - Metanoli, syntetinen teollinen 1920 -luvulla
- Kaikki edellämainitut prosessit ovat samankaltaisia **katalyyttisiä prosesseja**.
 - Kertaluokkaisen reaktion saanto heikohko. Kierrättämällä reagoimaton kaasu saadaan saanto hyvin lähelle 100%
 - Selektiivisyydet ovat pääosin hyviä
 - Korkea lämpötila ja paine 200-550°C 10-300 Bar
 - Reaktiot **eksotermisia**, prosessilämpö voidaan hyödyntää lämmön ja höyryn tuotantoon
 - Katalyytit yleisesti saatavilla, ja suhteellisen halpoja
- Nykyisin synteesit on toteutettu niin sanotusta synteesikaasusta (Syngas), joka on CO ja H₂ seos



Lähde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919327090>

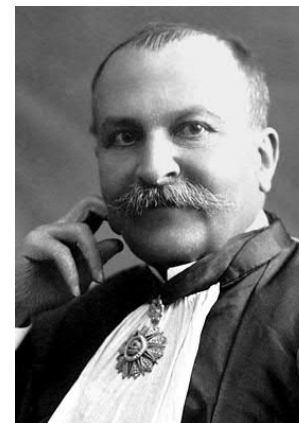
Yksinkertaisin hiilivety luo pohjan nykyaikaiselle kemianteollisuudelle

YLEISTÄ

- Metaani (CH₄) on maakaasun pääkomponentti
 - Maakaasua tuotettiin 2019 noin 4 000 miljardia kuutiota
- Käytetään polttoaineena ja kemikaalien raaka-aineena mm. tuottamalla vetyä reformoinnin kautta
 - $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \quad \Delta H = 206 \text{ kJ/mol}$
- Metaani on normaalipaineessa ja lämpötilassa kaasumuodossa, joka asettaa varastoinnille ja kuljetukselle haasteita
- Tuottamiselle on useita menetelmiä:
 - Biologiset: mädätys, biologinen CO₂ fiksaatio
 - Sabatier synteesi synteesikaasusta

HIILIDIOKSIDIPOHJAINEN PROSESSI

- $CO_2(g) + 4 H_2(g) \xrightleftharpoons{T,P,C} CH_4 + 2H_2O \quad \Delta H = -165 \text{ kJ (25}^\circ\text{C)}$
- Katalyyttinä nikkeliin pohjautuva. Muut (Ru, Fe, Co...)
- Lämpötila 150-550 °C. Nikkelillä alle 300 °C
- Suhteessa matala paine 30 bar
- Saanto 25 tonnista vetyä on noin 98 tonnia metaania



Paul Sabatier

Lähde: " <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1912/sabatier/biographical/> "

Yksinkertaisin hiilivety luo pohjan nykyaikaiselle kemianteollisuudelle

POSITIIVISET

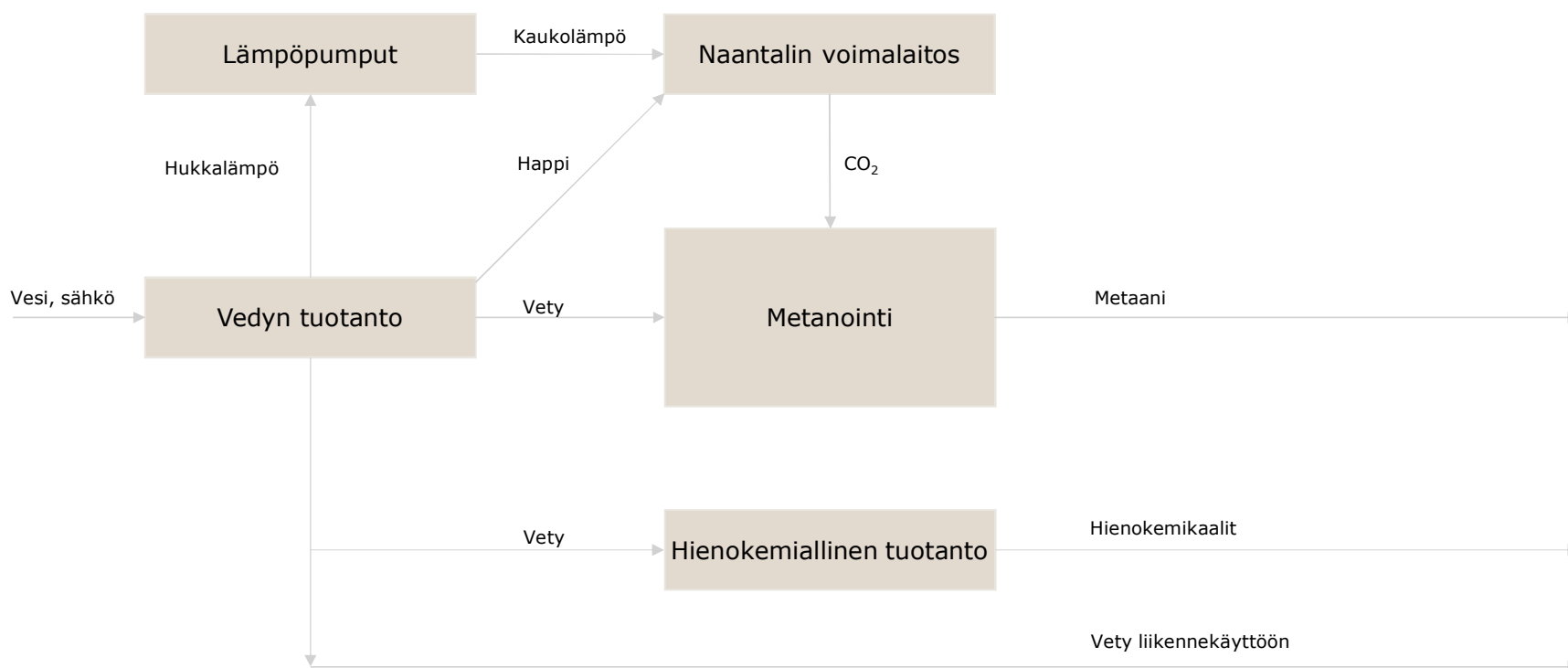
- Synteesi on yksinkertainen
- Metaanille on paljon käyttökohteita, ja infraa on valmiina
- Synteettistä metaania voidaan käyttää vaihtelevan sähköntuotannon varastona

Negatiiviset

- Naantalin alueella ei ole maakaasuverkkoa
 - Vaatisi siis pullotuksen, nesteytyksen tai suuria investointeja putkiin
- Maakaasu on suhteessa paljon edullisempaa
- Metaani itsessään on enemmän vedyn ja energian varastointia varten kuin raaka-aine



Metaanin tuotanto



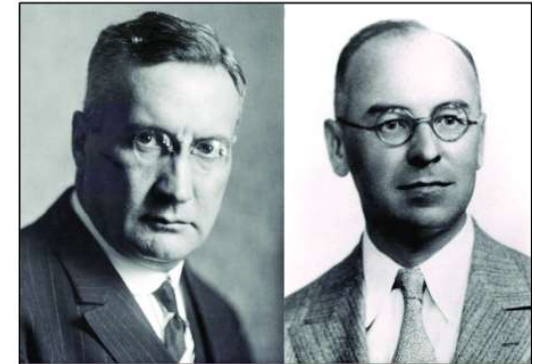
Synteettisten hiilivetyjen paluu

YLEISTÄ

- Prosessin kehittivät Franz Fischer ja Hans Tropsch 1925
- Tarkoituksena kaasutetun hiilen nesteytys polttoaineeksi
 - Myös muita käyttötapoja, esim. 1940-luvulla Arhur Imhausen tuotti synteettisestä öljystä hapettamalla margariinia (C₉-C₁₆)
- Nykyään menetelmä kokee renessanssia esim. Suomessa Stora Enso/Neste ja UPM ovat tutkineet biopolttoaineiden tuottamista F&T-synteeseillä

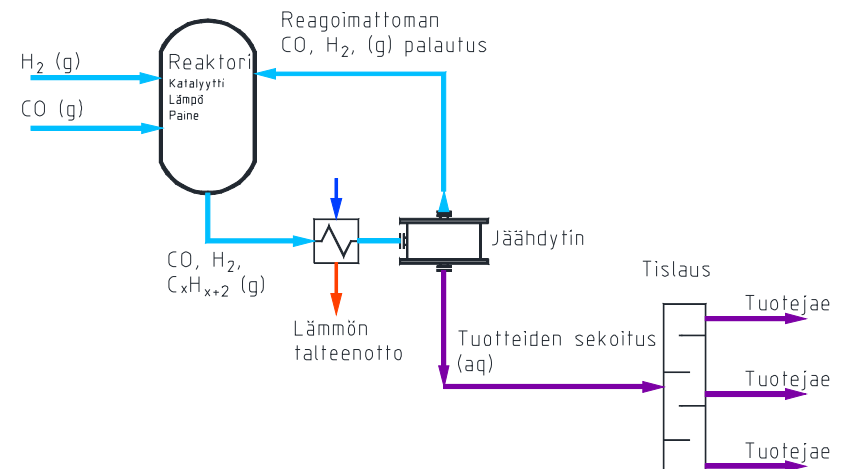
PROSESSI

- $(2n + 1)H_2(g) + nCO(g) \xrightleftharpoons{T,P,C} C_nH_{2n+2} \quad \Delta H = -165 \text{ kJ/mol}$
 - n on yleensä luokkaa 10-20. Suhteiden hallinta tärkeää
- Lämpötila 150-300 °C ja paine 10-40 Bar
- Katalyyttinä yleensä rauta tai koboltti. Monia muita. Vaikuttavat voimakkaasti kinetiikkaan ja tuotteisiin
- Selektiivisyys ei ole kauhean hyvä, uotteina syntyy joukko erilaisia hiilivetyjä: vahoja, nesteitä ja kaasuja, sekä happea sisältäviä alkoholeja



Franz Fischer ja Hans Tropsch

Lähde: " <https://www.researchgate.net/figure/Franz-Fischer-left-and-Hans-Tropsch-...> "



Synteettisten hiilivetyjen paluu

- 25 tonnia vetyä tuottaa noin 150-200 tonnia hiilivetyä
 - Tuote on seos ja yksittäisiä kemikaaleja voi olla vähän
 - Eripituiset hiilivedyt sopii erilaiseen jatkojalostukseen
- Käytännössä synteessin jälkeen palataan öljyteollisuuden toimintoihin: krakkaus, tislauk, ...
 - Lopputuotteina siis samoja kuin perinteisellä öljyteollisuudella: bensiinit, vahat, voiteluaineet, ...

Positiiviset

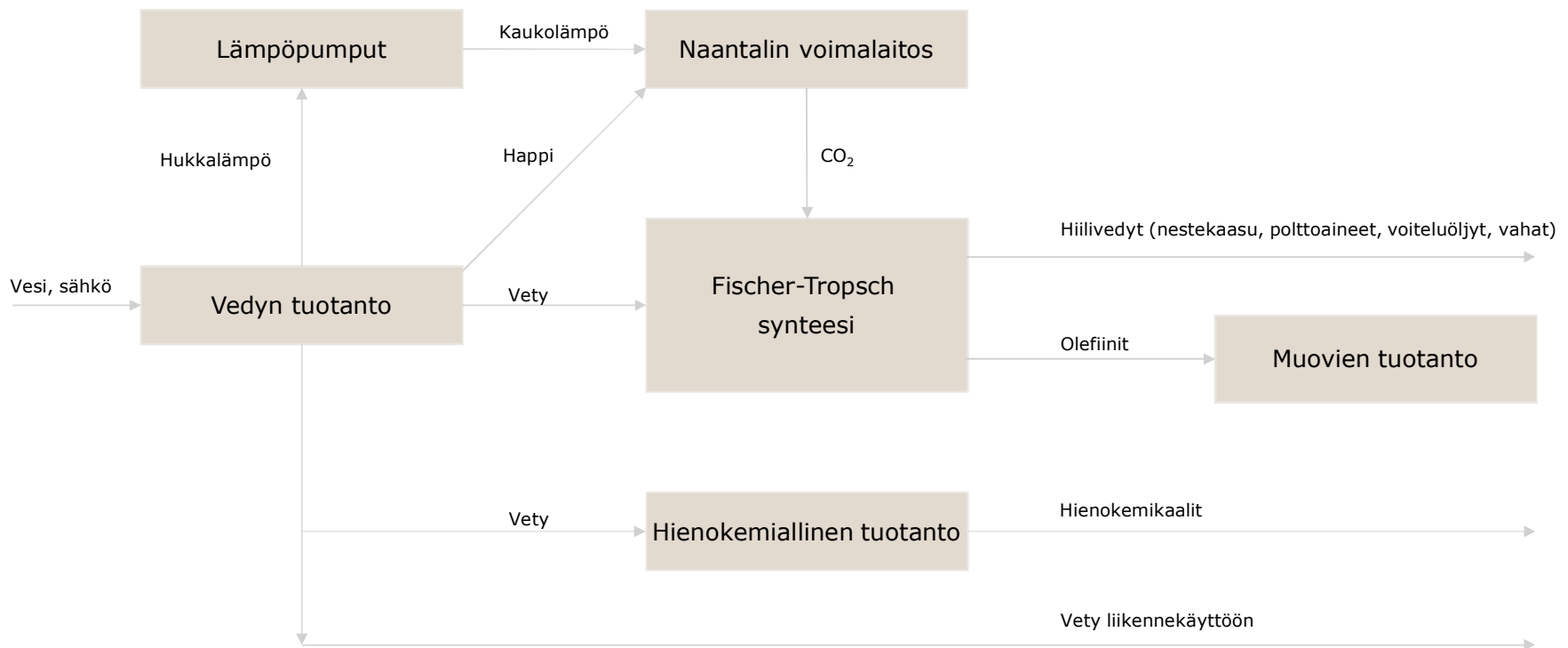
- Infra ja kulutuskohteet valmiina
- Tekniikka, mukaan lukien jatkojalostus on tuttua ja paikoitellen jo toiminnassa
- Mahdollisuus moniin erilaisiin tuotteisiin, esim. muovit

Negatiiviset

- Selektiivisyyden takia vaatii paljon erotusmenetelmiä
 - Kallis
- Kilpailee raakaöljypohjaisten tuotteiden kanssa suoraan



Synteettisten hiilivetyjen tuotanto



Yksinkertaisesta alkoholista tulevaisuus

YLEISTÄ

- Metanolia käytetään polttoaineena, liuottimena, liimoissa, muoveissa, hienokemikaalien valmistuksessa
- Katalyyttiin perustuva synteettinen menetelmä kehitetty 1923 BASF:n kemistien puolesta. Paul Sabatier esitti teorian jo 1905
- Aluksi prosessi toteutettiin Cr-MnO katalyytilla 220 bar ja yli 450°C
- 2006 George Olah esitteli ns metanolitalouden mallin, jossa metanoli ja dimetyylieetteri korvaisivat fossiiliset polttoaineet
- 2012 Islannissa avattiin George Olah:n tehdas. Tekee 2,5% maan polttoainetarpeesta uusiutuvasti metanolista



George A. Olah

Lähde: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1994/>



Alwin Mittasch

Lähde: <https://beruhmte-zitate.de/autoren/alwin-mittasch/>

PROSESSI

- $CO(g) + 2 H_2(g) \xrightleftharpoons{T,P,C} CH_3OH$ $\Delta H = -91 \text{ kJ/mol}$
- $CO_2(g) + 3 H_2(g) \xrightleftharpoons{T,P,C} CH_3OH + H_2O$ $\Delta H = -49,16 \text{ kJ/mol}$
- $CO_2(g) + 2 H_2(g) \xrightleftharpoons{T,P,C} CO + H_2O$ $\Delta H = +41,22 \text{ kJ/mol}$
- 1960 lähtien katalyyttinä käytetty Cu-Zn-Al₂O₃
- Lämpötila 200-300 °C, reaktio systeemi jää eksotermiseksi
- Paine 35-150 Bar
- Katalyyysi reaktion selektiivisyys loistava 99,8 %
- 25 tonnia vetyä tuottaa noin 195 tonnia metanolia

Yksinkertaisesta alkoholista tulevaisuus

JATKOJALOSTUKSESTA ARVOKKAAKSI

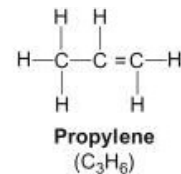
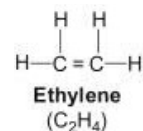
- Metanoli olefiineiksi prosessi (MTO) -> muovin valmistus
- Metanolin karbonylaatio -> etikkahappo -> vinyylisetaatti, estereiden ja happoanhydridin valmistus-> useiden polymeerien raaka-aineita
- Methanol to Gasoline (MTG) -> perinteiset liikennepolttoaineet

Positiiviset

- Valmis tuote, ja mahdollisuus jatkojalosteisiin
- Infrastrukturi on jo olemassa
- Teknisesti kypsä
- Selkein reitti jatkojalostukselle, jos mietitään hiilen pitempi aikaista sitomista

Negatiiviset

- Kilpailee raakaöljypohjaisten tuotteiden kanssa suoraan



Esimerkki olefiineistä

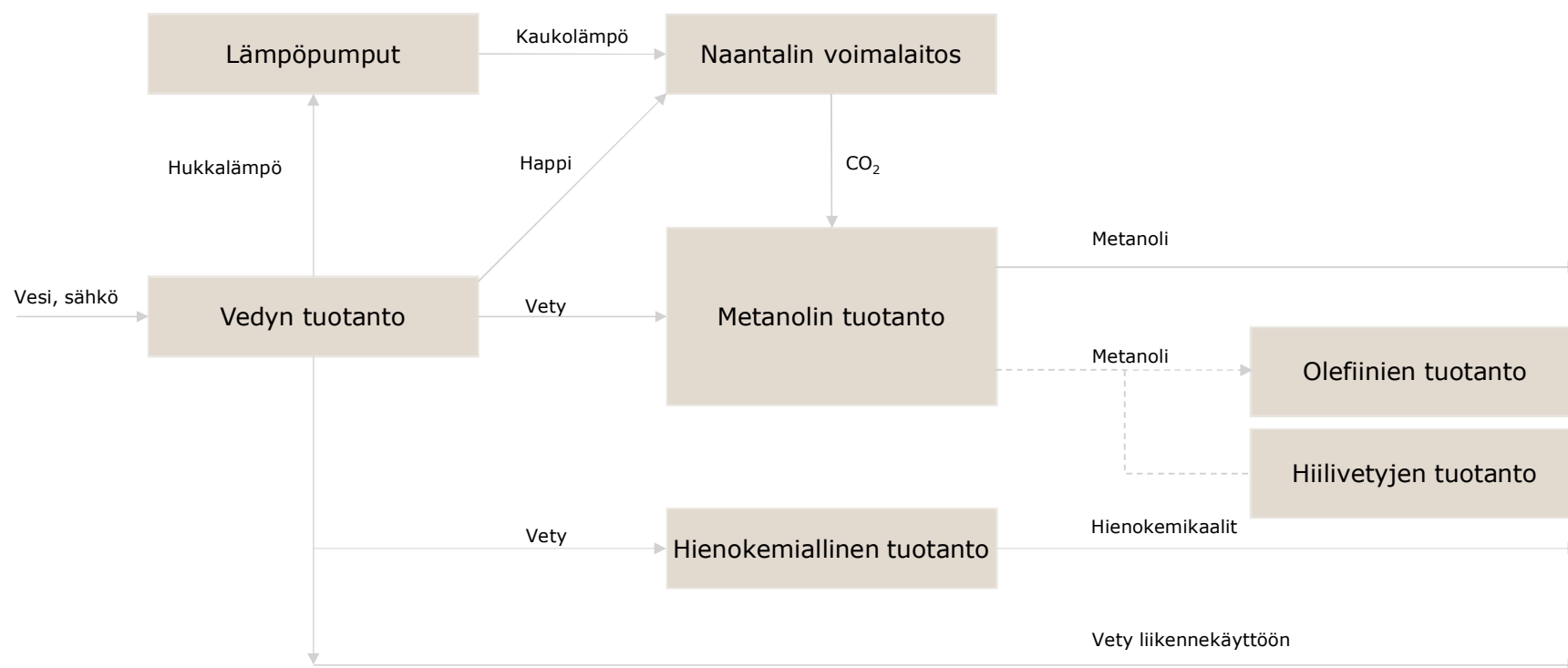
Lähde: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/olefin>



George Olah:n tehdas

Lähde: <https://www.carbonrecycling.is/projects>

Metanolin tuotanto



Ammoniakki on nykyisen maanviljelyksen kulmakivi ja monipuolinen raaka-aine

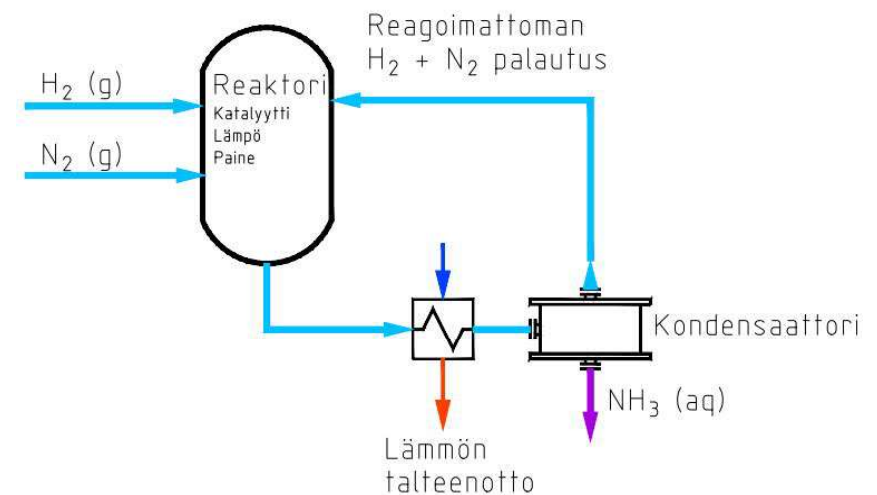
YLEISTÄ

- Käytetään lannoitteisiin, muoveihin, pesuaineisiin, räjähteisiin, hienokemiaan, jäähdytysnesteinä,...
- 1909 Fritz Haber kehitti laboratoriossa menetelmän
- 1913 Carl Bosch/BASF teollisen mittakaavan kehitys
- 2018 tuotanto noin 175 miljoonaa tonnia

PROSESSI

- $N_2(g) + 3 H_2(g) \xrightleftharpoons{T,P,C} 2NH_3 \quad \Delta H = -92,4 \text{ kJ/mol } (25^\circ C)$
- Typpi puhdistamalla ilmasta (PSA tai kylmätislaus)
- Katalyyttinä yleensä rauta, jossa oksideja ($SiO_2, CaO, \dots$)
- Lämpötila 400-500 °C, Paine 200-300 Bar
- Kierrättämällä reagoimattomia kaasuja saadaan hyvä saanto 95-98 %

- 25 tonnia vetyä tuottaa noin 140 tonnia ammoniakkia
- Prosessi tuottaa paljon lämpöä



AMMONIAKKI

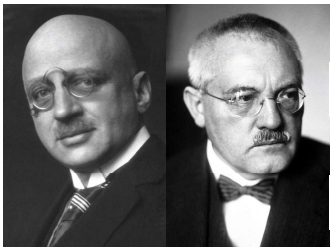
Ammoniakki on nykyisen maanviljelyksen kulmakivi ja monipuolinen raaka-aine

POSITIIVISET

- Prosessi jatkuvassa käytössä nykyään
- Teknisesti helppo
- Käyttöä meriliikenteessä tutkitaan

Negatiiviset

- Häviää hintakilpailussa perinteisesti tuotetulle
- Naantalin alueella ei suoraa käyttöä suuremman mittakaavan käyttöä
- Suurtuottajilla (esim. Yara) omat uusiutuvaan vetyyn liittyvät projekti käynnissä



Fritz Haber ja Carl Bosch

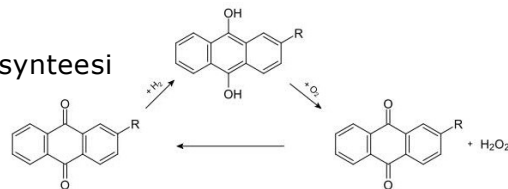
Lähde: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/...>



Muut yksinkertaiset vedyn kemikaalit ja niiden tilanne

VETYPEROKSIDI (H_2O_2)

- Käyttö: Valkaisuaine, veden puhdistus, hapetin, muiden hapettimien valmistus,...
- Tuotanto nykyään antrakinoni-prosessiöä
 - Prosessissa antrakinonia kierrätetään vuorotellen hydraten, suodattaen, hapettaen ja erottaen
 - Palladium katalyytti, stabilointi aineita
- Raskas prosessi, valmistus taloudellista vain isossa mittakaavasta. Tarve kuitenkin kasvava
- Suomessa on jo kaksi vetyperoksiditehdasta (Oulu, Kuusankoski)
- Tulevaisuudessa suora elektrosynteesi



Suolahappo (HCl)

- Käyttö: PVC, Teflon, terästeollisuus, väriainetuotanto,...
- Useita menetelmiä, suora synteesi kloorikaasusta, biosynteesi, suolaliuoksen elektrolyysi..
- Suurin osa tuotannosta syntyy sivutuotteena klooriteollisuudessa

RIKKIVETY (H_2S)

- Käyttö: metallien tuotanto, synteeseissä rikkilähde, paperiteollisuuden selluloosan käsittelyssä, analyttinen kemia,...
- Nykyään suurin osa rikkivedystä saadaan maakaasusta erottamalla
- Useita muita synteesimenetelmiä: orgaanisen materiaalin kaasunnuttaminen, biosynteesi, rikkiyhdisteiden hydraaminen
- Vaarallinen kemikaali, suuri osa tuotannosta sivutuotteina
- Laajamittainen käyttö vaatii valmistuksen käyttökohteen yhteydessä

Sykliset hiilivedyt (esim. C_4H_8)

- Nykyään suurin osa syklisistä hiilivedyistä saadaan öljyteollisuudesta
- Nykyisin suora katalyyttinen valmistus on laboratorio mittakaavassa mahdollista, muttei teollisessa



Elektrolyysin sivutuotteiden hyödyntäminen

HAPPI

- Nykyään suurimmat kuluttajat: metalli-, lasi- ja keramiikkateollisuus uunien optimaalisen polton säätelyssä
- Muita: kemianteollisuuden synteetit, muut polton optimoinnin kohteet (hitsaus, raketit), lääkehoito, jätevesien käsittely, kaasuttaminen (syngas), happikrakkaus, klooriyhdisteiden korvaus paperi ja selluteollisuuden valkaisuissa
- Suurimmat kuluttajat teettävät hapen lähellä
- Tulevaisuudessa mahdollisia: jätteenpoltto
- Naantalin teollisuus alueella ainoa kohde suuremmalle määrälle hapetta on voimalaitoksen polton optimointi hiilidioksidin talteenottoa varten, sekä savukaasujen loppuun poltto

LÄMPÖ

- Elektrolyysin hyötysuhde on nykyään noin 70% luokkaa
- Loppuosuudesta suurin osa muuttuu lämmöksi
- Useat mahdolliset prosessit eksotermisiä reaktioita
- Primäärinen käyttökohde on prosessien tulovirtojen esilämmitys
- Sekundaarinen käyttökohde Turun alueen kaukolämpöverkko