VEDYN MAHDOLLISUUDET KEMILLE TEKNOLOGIASELVITYS

LOPPURAPORTTI
10.6.2022

REJLERS DIGIPOLIS Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus Euroopan unioni Euroopan aluekehitysrahasto Euroopan sosiaalirahasto Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

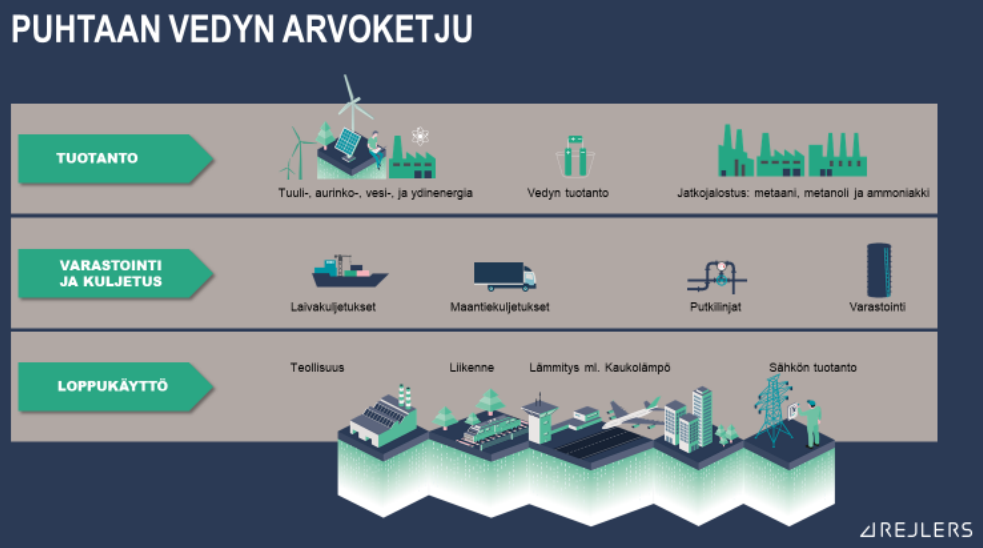
SISÄLTÖ

- Työn tausta ja tavoitteet
- Yhteenveto
- Suositukset ja päätelmät
- Selvitys vedyn sekä synteettisten polttoaineiden valmistusteknologioista
- Vetyyn ja sen käyttöön liittyvät turvallisuusasiat
- Sähkön saannin kartoitus
- Selvitys vedyn ja synteettisten polttoaineiden tuotanto- ja kulutuspotentiaalista sekä hiilidioksidin vähennyspotentiaalista sekä valmistuksessa tarvittavien lähtöaineiden saanti Meri-Lapin alueella
- Hyödyntäjien kartoituksen perusteella selvitys sivutuotteiden tuotanto- ja kulutuspotentiaalista

REJLERS

TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

- Vedyn mahdollisuudet Kemille -hankkeen teknologiaselvitys toteutettiin Meri-Lapin näkökulmasta huomioiden mm. alueen infrastruktuuri ja teollisuuden toimijat.
- Selvityksessä oli tarkoituksena kerätä tietoa vedystä ja niistä Meri-Lapin teollisuuden prosesseista, joissa vetyä hyödynnetään tai voidaan hyödyntää. Lisäksi selvitettiin puhtaan vedyn valmistusteknologiat ja alan toimijat sekä vedyn käsittelyyn liittyvistä turvallisuusasioita.
- Tavoitteena oli myös tarkoitus kartoittaa vedyn ja siitä johdettavien synteettisten polttoaineiden potentiaalia ja käyttökohteita Meri-Lapin alueella (ml. liikennekäyttö), samoin valmistuksen sivutuotteiden (mm. happi, lämpö, hiili) potentiaalisia käyttökohteita, alueen hiilidioksidin vähennyspotentiaali, sekä sähköverkon nykytilaa ja sen vaikutus mahdollisiin vetylaitosten sijaintikohteisiin.
- Selvitys ei ollut vain kirjallisuusselvitys, vaan selvityksessä kartoitettiin yrityksiä, joiden liiketoimintaan vetyteknologia liittyy tai joille vetytalous voisi tarjota uusia liiketoiminta-mahdollisuuksia. Kartoitettujen yritysten potentiaaliset synergiat analysoitiin ja luotiin ehdotuksia yritysten keskinäiseksi yhteistyöksi.
- Toteutusaika 1.2.2022 – 30.6.2022.



REJLERS

YHTEENVETO

- Meri-Lapin alueella on erinomainen potentiaali vetytaloudelle.
  - Alueella on yleisesti teollisten polttoaineiden ja kaasujen tuotantoon, varastointiin sekä käyttöön logistiikkaa, vaikka ei vielä juuri vedylle. Lisäksi alueelle on suunnitteilla vetyputki-hanke yhdistäen Pohjois-Suomen ja –Ruotsin.
  - Lisäksi löytyy vettä, energiantuotantoa ja teollisuutta ml. Pohjois-Ruotsi, sekä hukkalämmön hyödyntämiseen asuinkeskittymiä, joissa käytetään kaukolämpöä.
  - Vedyllä on myös paikka alueellisen biokiertotalouden osana nostamaan metaanin osuutta biokaasussa, ja tulevaisuudessa mahdollisesti korvaten tai yhdistäen biokaasua. Näihin voidaan käyttää elektrolyysiä tai muita menetelmiä.
- Vetylaitoksen sijaintiin ja kannattavuuteen vaikuttaa vedyn käyttötarkoitus, sähkön saanti, varastointi- ja logistiikkaratkaisut.
- Vety voidaan muuttaa myös synteettiseksi polttoaineeksi. Metaanin ja metanolin tuotannossa myös hiilidioksidin lähde tulee olla lähellä.
- Tällä hetkellä eniten esillä oleva valmistusteknologia elektrolyysi. Elektrolyyserivaihtoehdoista AEL ja PEM ovat jo teollisen mittakaavan tuotannossa.
- Koska vety on erittäin helposti syttyvä ja räjähdysvaarallinen aine, sen valmistuksessa ja varastoinnissa tulee turvallisuus ottaa huomioon jo varhain suunnitteluvaiheessa. Näin säästetään kustannuksissa kun myöhemmin ei tarvitse tehdä muutoksia turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi. Vedylle ei ole Suomessa esitetty suoraan vaara-etäisyyksiä, vaan nämä tulee tarkastella tilannekohtaisesti analyysein ja riskiarvioin.
- Erityisesti vetyä koskeva lainsäädäntö on Suomessa vielä puutteellista; tähän on odotettavissa muutoksia tulevina vuosina.
- Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan alueelle on suunnitteilla ennätysmäärä tuulivoimaa. Tuotannon lähelle sijoitettava kulutus pienentää tehon tarvetta muualta verkosta sekä siirrosta syntyviä häviöitä. Tulevat johtoreitit ja sähköasemien paikat riippuvat hankkeiden etenemisestä. Vastaavasti myös suuritehoisen kulutuksen liittäminen vaikuttaa sähköverkon kehittämissuunnitelmiin.
- Yksittäisen tuotanto- tai kulutuslaitoksen verkkoliityntä ja verkkovaikutukset ovat hyvin tapauskohtaisia ja edellyttävät aina verkostolaskelmia. Laitoksen sijainti, liitettävä teho, olemassa olevan sähköverkon tekniset ominaisuudet, kytkentätilanne sekä verkon kuormitustilanne vaikuttavat verkon suunnitteluun.
- Isotehoisen kulutuksen liittämisestä tulee olla mahdollisimman ajoissa yhteydessä alueen verkonhaltijaan tai kantaverkkoyhtiöön.

REJLERS

SUOSITUKSET JA PÄÄTELMÄT

Suositukset

Vetytalouden edistäminen vaatii hankkeiden tukemista alueellisesti ja kansallisesti. Suositeltavia toimenpiteitä Kemin Digipolikselle, alueen yrityksille sekä muille alueen toimijoille:

- Hiilineutraalin vedyn käyttöön siirtymisen tukeminen taloudellisesti, teknisesti sekä luvituksen ja hyväksyttävyyden kannalta
- Projektilla tunnistettujen synergioiden edistäminen yritysten kanssa
- Yhteistyö Nordic Hydrogen Route vetyputki-hankkeen kanssa putken linjauksesta sekä hankkeen edistäminen alueellisesti
- Yhteistyö Pohjois-Ruotsin kuntien ja teollisuuden kanssa ja mahdollisten synergioiden tunnistaminen rajan yli
- Tutustuminen vedyn käyttöön teollisuudessa, liikenteessä sekä yksityiskäytössä muualla maailmassa. Näiden kokemusten tuominen alueen toimijoiden ja asukkaiden tietoisuuteen.

Päätelmät

- Meri-Lapin alueella on erinomainen potentiaali vetytaloudelle.
- Alueella on yleisesti teollisten polttoaineiden ja kaasujen tuotantoon, varastointiin sekä käyttöön logistiikkaa, vaikka ei vielä juuri vedylle. Lisäksi alueen läpi on suunnitteilla vetyputki-hanke yhdistäen Pohjois-Suomen ja –Ruotsin.
- Meri-Lapista löytyy vettä, energiantuotantoa ja teollisuutta, sekä hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkkoja.
- Ensimmäiset vetylaitokset (50-200 MW) ehdotetaan rakennettavaksi tunnistettujen teollisten kohteiden ja / tai tuulipuistojen läheisyyteen.
- Toinen ehdotettava vaihtoehto on vety- ja metanointilaitos hiilidioksidilähteiden esimerkiksi biokaasulaitosten yhteyteen. Laitoskoko kannattaa mitoittaa hiilidioksidilähteen mukaan.

VEDYN MAHDOLLISUUDET KEMILLE TEKNOLOGIASELVITYS

TEKNISET ALKUSELVITYKSET:

VEDYN JA SYNTEETTISTEN POLTTOAINEIDEN VALMISTUSTEKNOLOGIAT
VEDYN JA SEN KÄYTTÖÖN LIITTYVIÄ TURVALLISUUSASIOITA

10.6.2022

REJLERS DIGIPOLIS Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus Euroopan unioni Euroopan aluekehitysrahasto Euroopan sosiaalirahasto Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Tekniset alkuselvitykset

VEDYN SEKÄ SYNTEETTISTEN POLTTOAINEIDEN VALMISTUSTEKNOLOGIAT

Sisällysluettelo

1. Vedyn kategorisointi
2. Vedyn valmistusmenetelmät ja state-of-art teknologia
   - Biologinen
   - Lämpökemiallinen
   - Sähkökemiallinen
   - Elektrolyysiteknologioiden vertailu
3. Potentiaalisia vedyn ja sivutuotteiden käyttökohteita Meri-Lapissa
   - Synteettisten polttoaineiden valmistusteknologiat
4. Vedyn tuotanto Suomessa & tulevat laitokset
5. Yhteenveto, haasteet ja suositukset

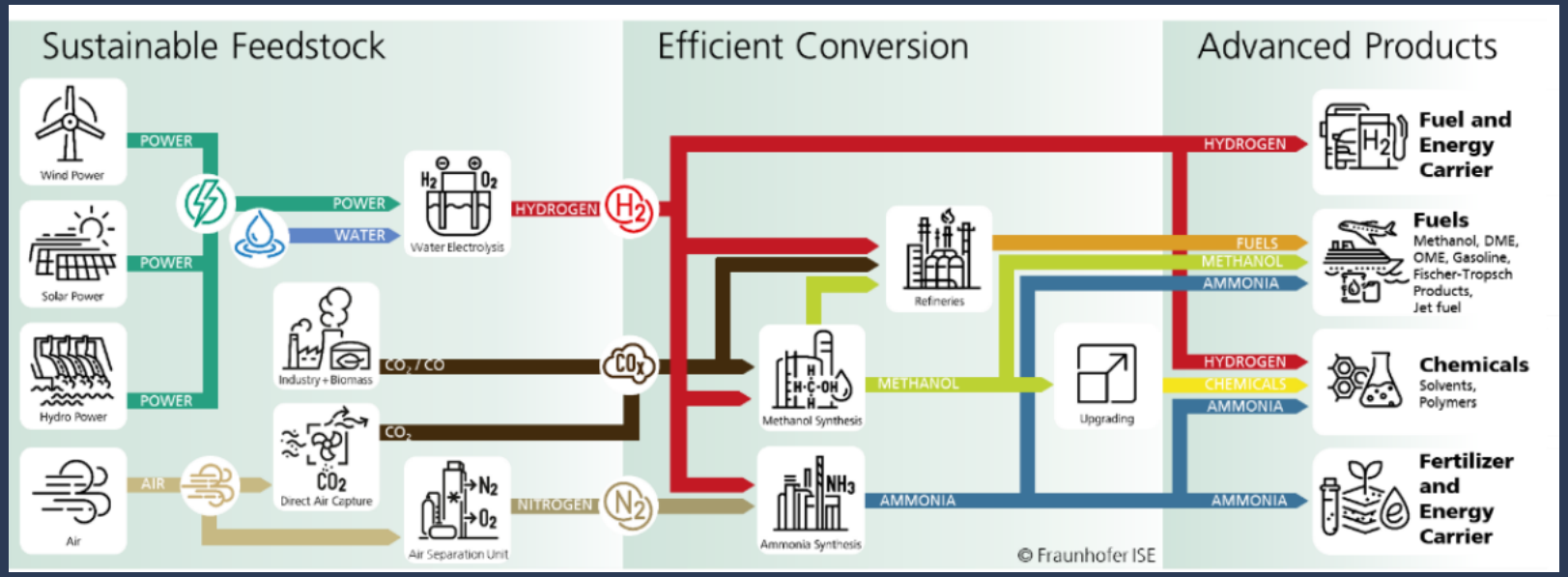
REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

VEDYN VALMISTUSTEKNOLOGIAT

Vetyä pystytään tuottamaan sähkö-, bio- ja lämpökemiallisin menetelmin.

- Biokemialliset prosessit: biofotolyysi, fermentointi tai muu mikrobien aineenvaihdunnan reaktio
- Lämpökemialliset prosessit: pyrolyysi, kaasutus, reformointi
- Sähkökemiallinen prosessi: elektrolyysi



Vedyn päävärit:

- **Harmaa vety**: höyryreformointiprosessi ja maakaasu, CO_2 päästöt ilmaan
- **Vihreä vety:** valmistettu uusiutuvan energian avulla, ei CO_2 päästöjä valmistuksen aikana
- **Sininen vety:** höyryreformointiprosessi ja maakaasu, CO_2 päästöt otetaan talteen tai hyödynnetään toisessa prosessissa

Muita värejä lähteestä riippuen:

- Turkoosi: Höyryreformointiprosessi, uusiutuvat raaka-aineet
- Pinkki: ydinvoimasähköllä tuotettu vety
- Keltainen: aurinkovoimasähköllä tuotettu vety
- Ruskea/musta: Hiilen kaasutus
- Valkoinen: Luonnollisesti maaperässä esiintyvä vety

[6]

REJLERS

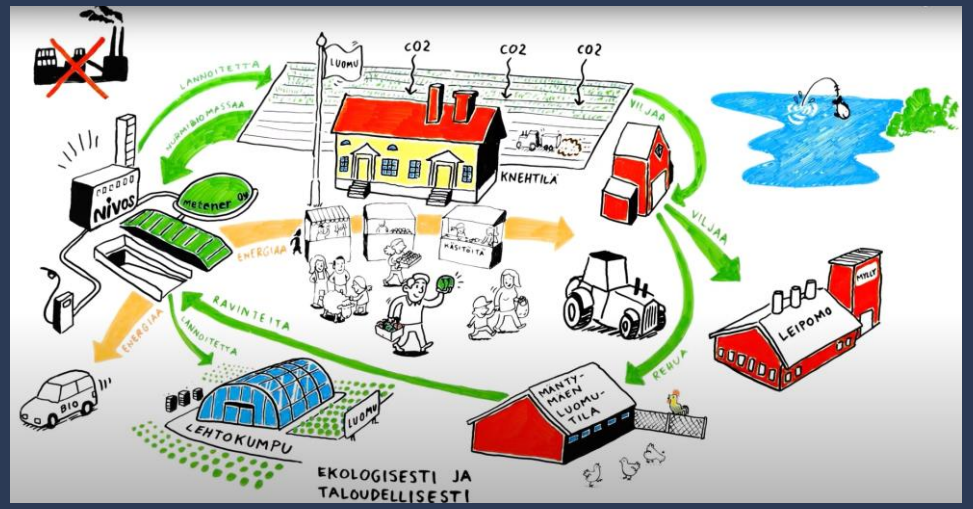
Tekniset alkuselvitykset

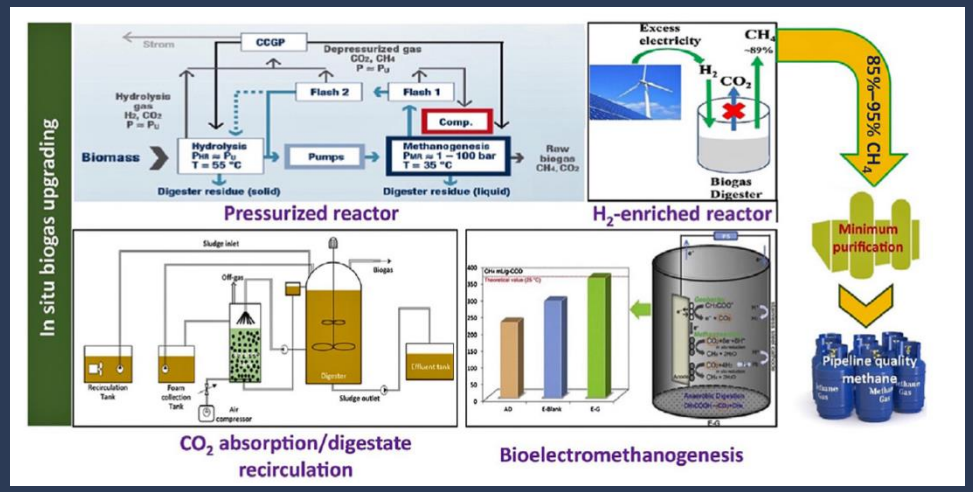
BIOLOGISET VALMISTUSTEKNOLOGIAT

Biokemialliset prosessit: biofotolyysi, pimeäfermentointi tai muu mikrobien aineenvaihdunnan reaktio

- Biofotolyysissä mikrobit hajottavat valon avulla veden hapeksi ja vedyksi. Prosessissa on kuitenkin paljon teknisiä haasteita, eikä ole valmis laboratorioiden ulkopuolella.
- Pimeäfermentointi sopii hajakeskitettyihin ja itsenäisiin kohteisiin, lähellä biomassaa/biojätettä, esim. ravinnontuottajille tai maatiloihin.
  - Soveltuu pieneen tuotantoon omaan/naapuruston tarpeeseen, paikallisten resurssien kierrättämiseksi.
    - Mahdollistaa kestävän maatalouden/ruokajärjestelmän mallin, esim. Palopuron symbioosi.
  - Prosessissa on paljon samankaltaisuuksia biokaasun valmistuksen kanssa, ja kilpailee biokaasutuotannon kanssa samasta lähtöaineesta
  - Vedyn lisääminen hyödyttää nykyisiä biokaasulaitoksia, sillä vedyn lisääminen mädätyssäiliöön nostaa metaanin osuutta biokaasussa.
    - Tällöin ei välttämättä tarvita lisälaitteistoa, vaan kevyempi puhdistus biokaasulle riittäisi.

[1] [4]





Tekniset alkuselvitykset

LÄMPÖKEMIALLISET VALMISTUSTEKNOLOGIAT

Lämpökemialliset prosessit: pyrolyysi, kaasutus, reformointi, metaanin lämpöhajottaminen

- Maakaasun/öljyn/hiilen/biokaasun reformointi höyryllä/hapella.
  - Maakaasussa paras H-C suhde, minkä vuoksi se on optimaalisin raaka-aine vedyn tuotantoon, ja siksi eniten käytetty.
- Biomassasta saadaan kaasuttamalla synteettistä kaasua ($CO + H_2 + CH_4 + CO_2$).
  - Synteettisestä kaasusta voidaan erottaa vety tai se voidaan reformoida höyryllä/hapella.
  - Synteettinen kaasu sopii myös suoraan polttoon tai jatkojalostukseen biopolttoaineiksi.
- Pyrolyysi tuottaa kaasua, bio-öljyä sekä biohiiltä mistä tahansa hiilipohjaista materiaalista (mm. biomassa, muovit, raakaglyseriini).
  - Kaasuosuus sisältää lähinnä vetyä, sekä mahdollisesti muita kevyitä hiilivetykaasuja, riippuen prosessiolosuhteista (lämpötila, paine, katalyytti jne.).
  - Bio-öljystä pystytään jatkojalostamaan polttoaineita tai hyödyllisiä kemikaaleja. Riippuen jatkojalostusprosessista, se voi vaatia tai tuottaa vetyä.
    - HTL (Hydrothermal liquefaction) sopii myös bio-öljyn tuotantoon nestemäisestä biomassasta (esim. jätevedestä)
- Lämpökemiallisissa prosesseissa syntyvää hiiltä pystytään käyttämään maanparannusaineena sekä teollisuudessa. Tällä hetkellä sen käyttöä tutkitaan mm. rakennusmateriaalina, suodattimena, superkondensaattoreina sekä veden/maaperän puhdistuksessa.

[1] [16] [20]

REJLERS

LÄMPÖKEMIALLISET VALMISTUSTEKNOLOGIAT

Thermo-catalytic decomposition of methane (TDM)

- Tuottaa vetyä ja hiilimustaa (ei nestefaasia)
- Sopii mm. alueille, jossa ei ole saatavilla vettä, mutta metaania on paljon.
- Prosessi on energiatehokas. Energiatarve on elektrolyysiä n. 7 kertaa pienempi (37 vs. 286 kJ/mol H_2), kun on päästy tarvittavaan lämpötilaan.
- 3 erityyppistä prosessiolosuhdetta, joista korkealämpöprosessin valmius pisimmällä:
  - Katalyyttinen (>500 °C)
  - Korkealämpöinen (>1000 °C)
  - Plasma (>2000 °C)
- Euroopassa pisimmillään on BASF (teollisen mittakaavan pilottivaiheessa), kun taas Pohjois-Amerikassa Monolith:lla on ollut tuotantoa vuodesta 2020 lähtien. Monolithin tuottama hiili käy renkaiden valmistukseen tarvittavaksi hiilimustaksi.
- Tämän hetken haasteita:
  - Materiaalit eivät kestä korkeita lämpötiloja, jolloin energiansiirto ei ole tasaista ja lopputuotteiden laadut ovat vaihdelleet.
  - Eri valmistajilla hiilen laatu vaihtelee, ja he myös tähtäävät eri tyyppisiin hiilimateriaaleihin.

[21]

$$CH_4 \rightarrow 2 \cdot H_2 + C;\ \Delta RH^{\circ} = 74\ kJ\ mol^{-1} \qquad (4)$$

REJLERS

LÄMPÖKEMIALLISET VALMISTUSTEKNOLOGIAT

- Pelkkä vedyn valmistaminen biomassasta on vielä hankala saada kannattavaksi.
  - Vedyn käyttökohde määrittää sen myyntihinnan:
    - Preemiotuotteena voidaan myydä kemianteollisuuden prosesseihin
    - Kuluttajille suunnattuna (energia- ja polttoainekäyttö) hinta tulee olla halvempi.
  - Biomassasta povataan raakaöljyn korvaajaa sen monipuolisuuden ja uusiutuvuuden vuoksi.
    - Tämä synnyttää kilpailun raaka-aineesta ja hinnat nousevat.
  - Isot logistiikkakulut
    - Mahdollisimman halpaa lähtöainetta, esim. haketta tai sahanpurua.
    - Suuret volyymit laskevat yksikköhintaa.
  - Energiaintensiiviset prosessit
  - Suuri tilantarve + investointikustannukset
  - ➢ Tarvitaan monia arvokkaita pää- ja sivutuotevirtoja, ja vety voisi olla yksi niistä.
    - Arvoketju oltava kunnossa, sillä tuotteet kilpailevat halvempien fossiilisten raaka-aineiden ja perinteisten prosessien kanssa.
      - Kannattavuutta voi parantaa esim. sekoittamalla fossiilisista raaka-aineista valmistettuihin tuotteisiin (esim. UPM ja biodiesel).

Tekniset alkuselvitykset

SÄHKÖKEMIALLISET VALMISTUSTEKNOLOGIAT

Elektrolyysistä puhuttaessa kolme teknologiaa ovat päätarkastelussa:

- Alkaline electrolysis (AEL)
- Proton exchange membrane (PEM) electrolysis
- Solid oxide electrolysis cells (SOEC)
- Näiden lisäksi kehitteillä on muita teknologioita, kuten plasma arc decomposition, photoelectrolysis, anion exchange membrane.
- AEL on kehittyneintä teknologiaa, mutta myös PEM on kaupallisesti saatavilla ja kilpailee AEL:n kanssa. Näissä vahvuuksina on se, että yksiköitä voidaan lisätä modulaarisesti, jolloin skaalaus onnistuu helposti.
- Veden puhtauden lisäksi tärkein tekijä vedyn tuotannossa on virrantiheys, mikä on SOEC:ssa paras. Se on kuitenkin tullut vasta viime vuosina markkinoille, ja suurimpana ongelmana tällä hetkellä on sen käyttöikä.
- Tarkempi vertailu teknologioista ja laitevalmistajista on esitetty seuraavissa dioissa.

[1] [2]

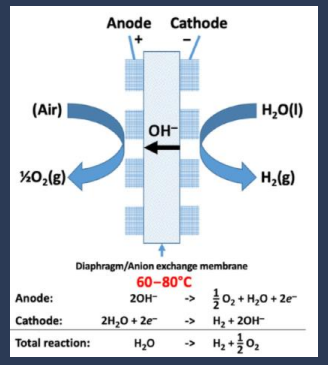
REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

SÄHKÖKEMIALLISET VALMISTUSTEKNOLOGIAT

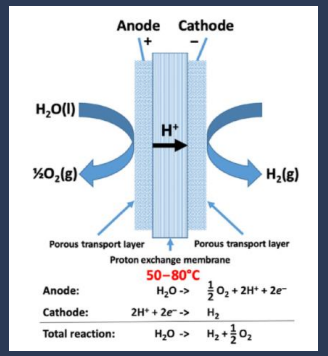
Alkalielektrolyysi (AEL)

+ Matala käyttölämpötila (60-80 °C)	- Virrantiheyden raja ilman kalliimpia materiaaleja 100 mV/cm^2
+ Raakavesi ei tarvitse puhdistusta	- Tuotetut kaasut tarvitsevat lisäpuhdistuksen
+ Halvemmat kennomateriaalit	- Kennojen uusiminen n. 3 v välein
+ Matalampi investointikustannus	- Laitteiston tilantarve isompi
+ Käyttökustannukset tiedetään hyvin	- Pitkä käynnistysaika, varsinkin kylmänä (10 min)
+ Suuria laitoksia jo käynnissä/tulossa	



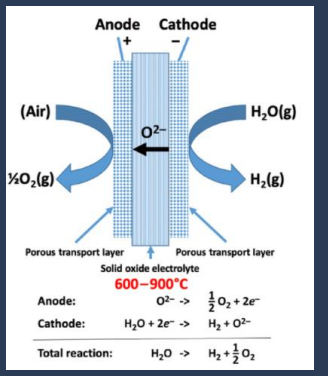
Protoninvaihtomembraanielektrolyysi (PEM)

+ Ei tarvita elektrolyyttiä	- Korkeat investointi- ja käyttökustannukset
+ Mahtuu pienempään tilaan	- Kalliit elektrodikatalyytit (platina, iridiumoksidi) sekä membraanit
+ Tuottaa puhdasta ja korkeapaineista kaasua	- Tarvitaan erittäin puhdasta vettä
+ Joustava operointi	- Pitkänajan stabiilisuustestit kesken
+ Lyhyt käynnistysaika, jopa sekunneissa	



Kiinteä-oksidielektrolyysi-kenno (SOEC)

+ Korkea lämpötila parantaa energiatehokkuutta huomattavasti	- Tarvitaan erittäin puhdasta vettä
+ Ei tarvitse tasaista sähkösyöttöä	- Erittäin korkeat investointi- ja käyttökustannukset
+ Tehokkaat materiaalit ▪ Y_2O_3 tai skandium-pinnoitettu ZrO_2	- Vasta viime vuosina kaupallistunutta tekniikkaa
+ Höyryn ja CO_2 samanaikainen elektrolyysi -> O_2 + H_2 + CO	
+ Toimii myös polttokennona	



[1] [2] [3] [5] [10] [11]

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

SÄHKÖKEMIALLISET VALMISTUSTEKNOLOGIAT, VERTAILU JA KEHITYS

	AEL 2020	AEL 2030	PEM 2020	PEM 2030	SOEC 2020
Tyypillinen teho per yksikkö [MW]	2,5	10	1	5	100
Virrantiheys [A/cm^2]	0,6	1	2	3	3
Kennoja per yksikkö	116	200	265	330	350
Käyttölämpötila [°C]	80	80	60	70	600-800
Laitoksen kokonaistehokkuus [%]	54-73	60-80	62-86	80-90	>90
Elektrolyyserin tilantarve [m^2/MW]	100		20-50		85
Kennon toimintaikä [a]	7,5	10	5	8,75	<2,5
Elektrolyyserin toimintaikä [a]	20		15		
Tuotettu vety [Nm^3/h/MW]	230,4	248,5	219,5	246	320
Energian tarve [kWh/Nm^3 H_2]	4,35	4,1	4,58	4,1	3,1
Veden tarve [L/Nm^3 H_2]	0,8-1,4		0,8-1,4		0,8-1
Elektrolyytin tarve [syöttö-%]	35-40 (KOH)		-	-	-
CAPEX [€/kW]	671	450	717	500	2000

- SOEC tehokkuus laskee 8 %:iin 10 000 h käytön jälkeen [15]
- SOEC CAPEX-kustannusten odotetaan laskevan 1000 €/kW tasolle vuonna 2030

[11-14]

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

ELEKTROLYYSERIEN VALMISTAJIA

Company	Technology			Stack size (MW)	Production capacity per unit (m³/h)	Manufacturing history	EPC provider	Notes
	AEL	PEM	SOEC					
NEL hydrogen (Norway)	x	x		up to 2.2 (AEL)	150-3,880 (AEL) 1700 - 5000 (PEM)	3500 electrolysers installed from 1927		PEM containerized for 246-492 Nm³/h applications
Hydrogenics / Cummins (Canada)	x	x		0,05 - 0,5 (AEL) 1 - 20 (PEM)	10-100 (AEL) 200-1000 (PEM)	Over 600 electrolyzers installed in 100 countries worldwide		AEL containerized & PEM can be for 200 - 500 Nm³/h applications
ITM (UK)		x		0,7 - 5	122 - 1000	Founded in 2001, first sold unit in 2011, < 100 total units sold		
Thyssenkrup (Germany)	x			20	4000	600 electrolyzers built	x	prefabricated skid-mounted modules
Green Hydrogen Systems (Denmark)	x			0,01 - 0,4	15 - 3330	Founded in 2007		
Siemens (Germany)		x			1100 - 22 000			
Asahi Kasei (Japan)	x			up to 10	300 - 2000	150 electrolyzers since 1975		
HydrogenPro AS (Norway/China)	x				- 1100			
John Cockerill (Belgium/China)	x			<5MW	1 - 1500			
MAN Energy Solutions (Germany)							x	No own electrolyzer production. Provider of EPC methanization sub-system
H-Tec Systems (Germany)		x		0,025 - 1	15 - 210	Founded in 2010		Part of MAN Energy Solutions
Elogen (France)		x		0,5 - 10	10 - 2000	Founded in 2014		
Enapter (Italy)	x			0,0024 - 0,168 or 1	0,5 - 35 or 210	Founded in 2015		
Giner ELX /Plug Power (USA)	x			up to 10	200 - 2000			
iGas energy (Germany)		x		0,075 - 2	10 - 320			
Sunfire (Germany)	x		x	up to 10 (AEL) up to 2,7 (SOEC)	up to 2230 (AEL) up to 750 (SOEC)	AEL system runtime of more than 20 years		
Convion (Finland)			x			Founded in 2012		Fuel cell manufacturer SOEC in Pilot-scape
Fortescue Future Industries (Australia)						First electrolysers scheduled for production in early 2023		Unknown technology

Tekniset alkuselvitykset

POTENTIAALISIA VEDYN KÄYTTÖKOHTEITA MERI-LAPISSA

- Energia (vihreä vety)
  - Energian tuotto
    - Maakaasu/biokaasu -sekoitus (korvaus tulevaisuudessa)
    - CHP
    - Polttokennot
  - Energian varastointi, energiavarmuus
    - Metanoli, ammoniakki, metaani
- Maatalous (turkoosi/vihreä vety)
  - Agroekologinen symbioosi
  - Biokaasun korvaaja tulevaisuudessa
  - Syöttö mädätysreaktoriin → korkeampi metaanipitoisuus biokaasussa (n. 60 % vs. 89 %)
- Kemianteollisuus
  - Kemikaalit ja polttoaineet
    - Metanoli
    - Ammoniakki
    - Metaani (Synteettinen maakaasu)
    - Vetyperoksidi
    - Suolahappo
  - Biojalostamot
    - Esim. mäntyöljyn vetykäsittely
  - Vetykäsittely, esim. rikin poisto
- Terästeollisuus
  - Metallien pelkistys (rauta, nikkeli)
  - Lämmön tuotto, esim. valssaus
  - Suojakaasu
  - Hitsauskaasu

[9] [17] [19]

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

POTENTIAALISIA SIVUTUOTTEIDEN KÄYTTÖKOHTEITA MERI-LAPISSA

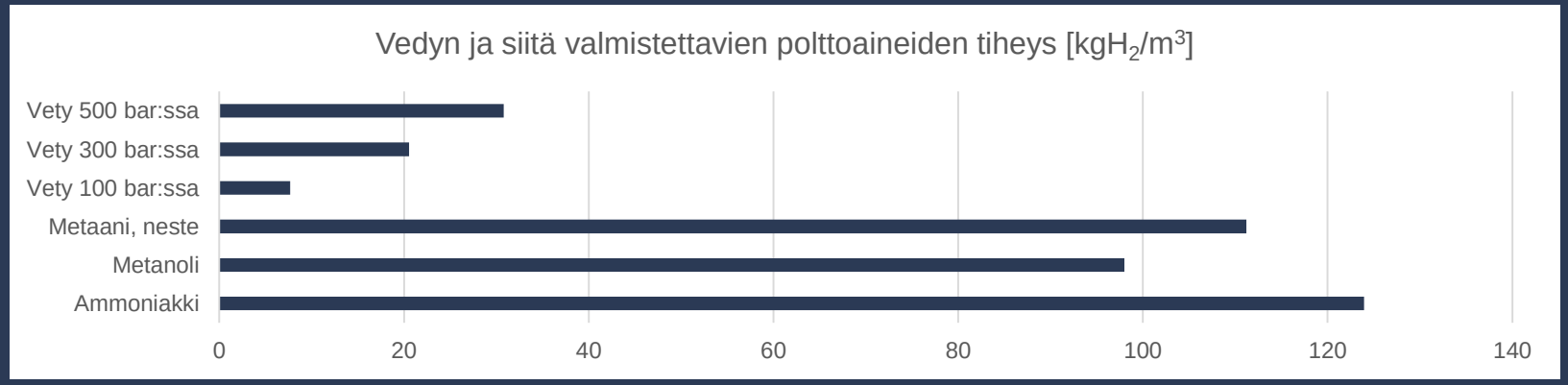
- Happi
  - NOx-kaasujen vähentäminen uuneissa
  - Vedenpuhdistusprosessit (aerobinen)
  - Sellun happivalkaisu (delignifiointi)
  - Elintarvikepakkaukset
  - Otsonin valmistus
  - Hitsauskaasu
  - Lääkehappi
- Ylijäämälämpö
  - Kaukolämpö
  - Kuivatus
  - Kasvihuoneet
  - Kalankasvattamot
- Biohiili/aktiivihiili
  - Maanparannusaine
  - Lisäaine kompostiin
  - Hiilinielut
  - Rakennusmateriaali
  - Suodattimet (esim. veden/maaperän puhdistukseen lääkeaineista tai raskasmetalleista)
  - Kemikaalien talteenotto (esim. fosforin/typen talteenotto jätevedestä)
  - Superkondensaattorit (energian/vedyn säilytys)

[9] [17] [19] [20] [23]

REJLERS

SYNTEETTISTEN POLTTOAINEIDEN VALMISTUS

- Nykyiset metaanin polttimet eivät sovellu suoraan vedyn polttoon.
- Tämän lisäksi yksi vedyn varastoinnin ongelmista on sen alhainen tiheys. Jos säilytystilaa ei ole paljoa, ja vetyä ei pystytä hyödyntämään lähellä tuotettua paikkaa, se voidaan muuttaa metaaniksi, metanoliksi tai ammoniakiksi. Ne kelpaavat myös polttoaineiksi.
- Synteettisten polttoaineiden valmistukseen tarvitaan vedyn lisäksi joko hiilidioksidia tai typpeä. Tyypillisiä prosessiolosuhteita metaanin, metanolin tai ammoniakin valmistuksessa:
  - Metaani (Synteettinen maakaasu)
    - H_2 + CO_2, tyypillisesti nikkeli-pohjaiset katalyytit, 450 °C, 20 bar
  - Metanoli, ei tuotantoa Suomessa
    - H_2 + CO_2, palladium-kupari-katalyytti, 180 – 250 °C, 50 bar
  - Ammoniakki, ei tuotantoa Suomessa
    - Ilmasta talteen otettu N_2 + H_2, rautapohjainen katalyytti, 400 – 500 °C, 150 – 250 bar



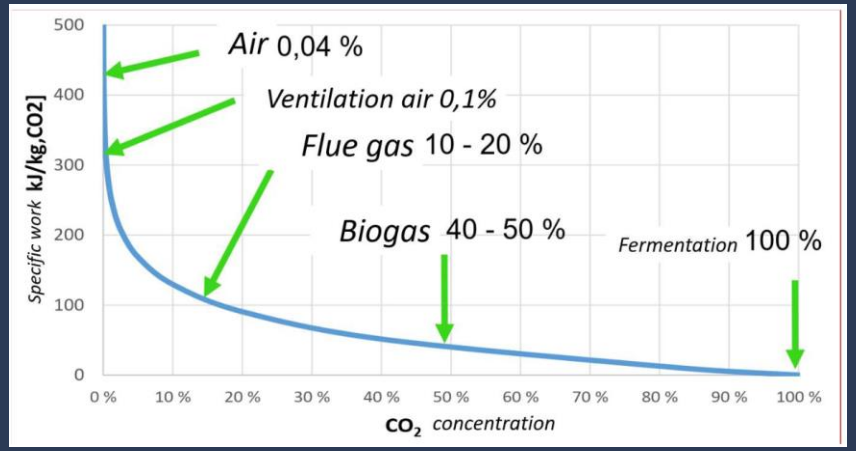
Kuva muokattu lähteestä [19].
Nestemäisessä metaanissa oletettu 1 bar ja -173 °C

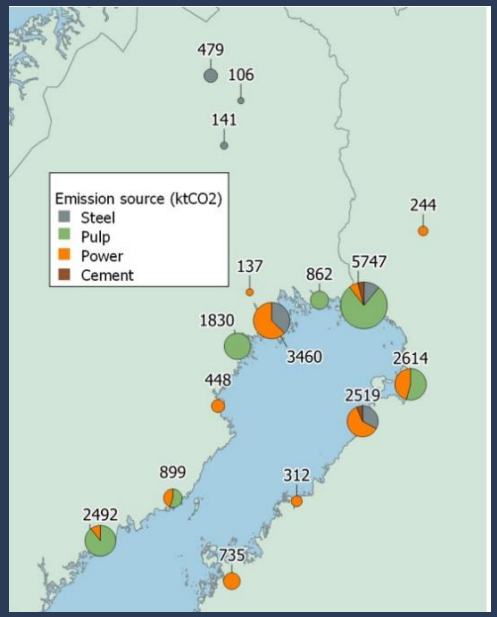
[19] [20] [23]

REJLERS

HIILIDIOKSIDIN LÄHTEET MERI-LAPISSA

- Hiilidioksidi voidaan ottaa talteen ilmasta tai teollisuuden päästöistä. Mitä puhtaampi lähde, sitä vähemmän energiaa sen erottamiseen tarvitaan.
- Meri-Lapin alueen teollisuuden CO_2 hyödyntämispotentiaali n. 5,7 Mt/a. [18] Tämä tarkoittaa teoriassa:
  - Metanoli 4,2 Mt/a tai metaani 2,1 Mt/a tuotantopotentiaalia.
  - Vaaditaan vastaavasti 5,7 tai 7,3 GW elektrolyyseritehoa
- Suurimmat CO_2 päästöt syntyvät Metsä Fibren biotuotetehtaalta Kemistä, Outokummun ferrokromitehtaasta Torniossa sekä Tornion Voima Oy:n voimalaitokselta ja SMA Mineral Oy:n tehtaalta Röyttästä. Stora Enson Veitsiluodon tehdasta ei ole huomioitu.
- Yleisesti muita hiilidioksidin lähteitä:
  - Sementtiteollisuus
  - Poltettu kalkki
  - Elintarviketeollisuus
  - Metalliteollisuus
  - Metsäteollisuus
  - Kemianteollisuus
  - Lämpö-/sähkölaitokset & CHP-laitokset
  - Biokaasun tuotanto





[18] [24]

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

VEDYN TUOTANTO JA KÄYTTÖ SUOMESSA

- Vuosittainen tuotanto Suomessa on 140-150 000 t/a (2020), josta lähes 88 % tuotetaan ja käytetään öljyn- ja biojalostuslaitoksissa (Neste Porvoo ja UPM Lappeenranta).
- Tällä hetkellä ainoa tuotannossa oleva synteettistä vetyä valmistava ja hyödyntävä laitos on Kokkolassa, Woikosken laitoksessa.
- Kemiran & Nouryonin tehtailla vetyä syntyy natriumkloraatin ja lipeän valmistuksen sivuprosessina.
  - Vety käytetään kaukolämmön tuottoon (CH_4 poltto) + ylimäärä myydään.
- Tulevia elektrolyysilaitoksia (rakentamispäätös tehty):
  - Wärtsilä & Vantaan Energia, 20 MW, synteettinen kaasu (CH_4), valmistuu vuonna 2025
  - P2X Solutions Oy, Harjavalta, 20 MW, valmistuu vuonna 2024
  - Selvityksiä tehdään lukuisia määriä ympäri Suomea ja Eurooppaa

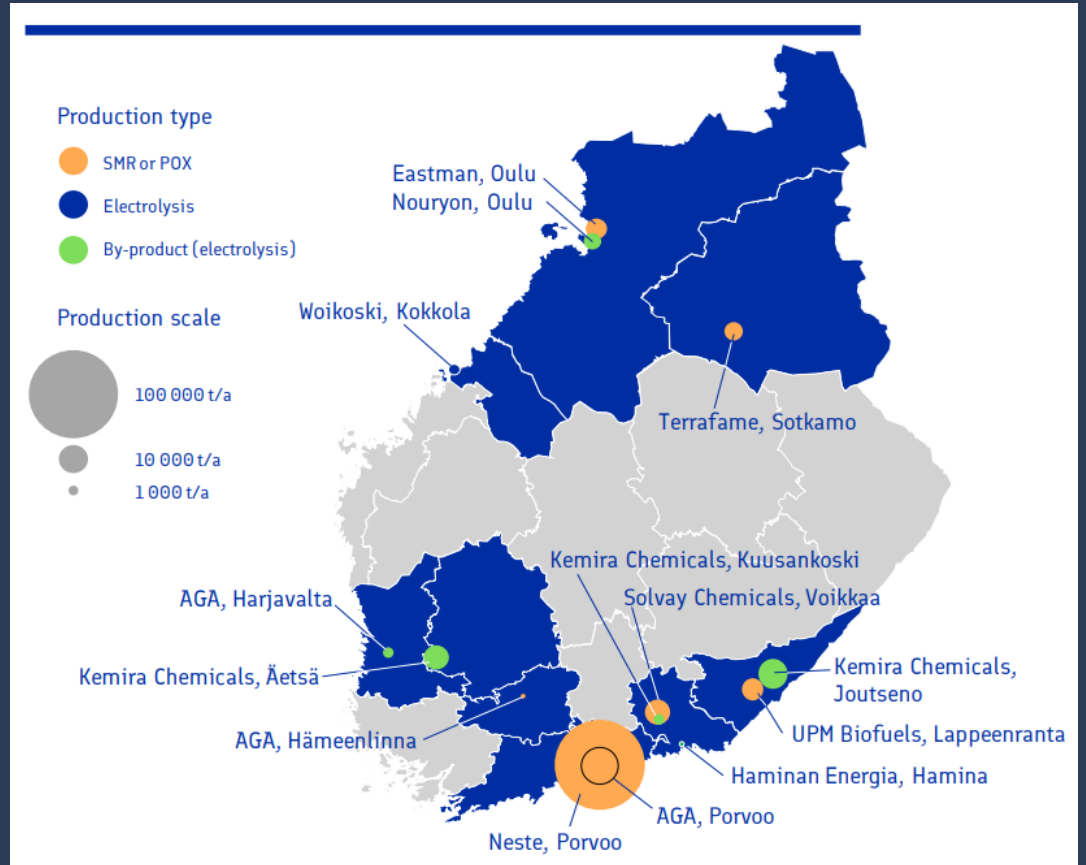


FIGURE 9: LOCATIONS OF HYDROGEN PRODUCTION AND USE

[7] [8] [9]

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

VEDYN HAASTEET

- Käyttökohteita rajoittaa vedyn hinta, eli käytännössä sähkön hinta.
  - Tuuli- ja aurinkovoimalla voidaan tehdä sähköä halvalla, mutta sen siirtokustannukset tulee minimoida.
  - Verkon ulkopuolella tuotettua sähkö ja suljetut energiayhteisöt voivat olla ratkaisu näihin.
- Logistiikka:
  - Vetyatomin pienuus. Vety tulee säilyttää erityisen tiiviisti, jolloin materiaalivalinnat ovat tärkeitä.
  - Suuren määrän varastoiminen vaatii paljon energiaa (komprimointiin ja/tai nesteytykseen). Varastoinnin energian tarvetta voidaan vähentää muuttamalla vety synteettiseksi polttoaineeksi.
- Vety on erittäin räjähdysherkkää, ja suomessa on puutteellinen lainsäädäntö tällä hetkellä, mutta on todennäköisesti päivittymässä lähivuosina.
- Suomessa ei ole elektrolyyserien valmistajia, ja osaaminen rajoittuu yliopistoihin, tutkimuslaitoksiin ja startupeihin.

SUOSITUKSET JA PÄÄTELMÄT

- Meri-Lapin alueella erinomainen potentiaali vetytaloudelle.
  - Alueella on logistiikkaa valmiiksi (LNG-asemia), vettä, energiantuotantoa ja teollisuutta ml. Pohjois-Ruotsi, sekä asuinkeskittymiä, joissa käytetään kaukolämpöä.
  - Vedyllä on myös paikka alueellisen biokiertotalouden osana nostamaan metaanin osuutta biokaasussa, ja tulevaisuudessa mahdollisesti korvaamaan biokaasua synteettisellä. Näihin voidaan käyttää elektrolyysiä tai muita menetelmiä.
- Elektrolyysiteknologiaksi suositellaan AEL tai PEM –teknologioita.
  - Laitosta on helppo laajentaa / rakentaa osissa erityisesti silloin, kun laajennus on huomioitu jo alussa liityntäratkaisuissa.
  - Tulevaisuudessa SOEC tulee olemaan iso osa laajempaa vetytaloutta.
- Vetylaitoksen sijaintiin ja kannattavuuteen vaikuttaa vedyn käyttötarkoitus, varastointi- ja logistiikkaratkaisut.
  - Elektrolyyserin sijainti tulee lähellä vettä ja sähköä.
  - Vedyn varastointi on hankalaa, jolloin myös sen käyttö tulee olla lähellä tuotantoa.
    - Vaihtoehtoisesti, se voidaan muuttaa myös synteettiseksi polttoaineeksi, jolloin myös hiilidioksidin lähde tulee olla lähellä.
      - Tällä hetkellä suurin osa valmistaa metaania. Metanoli ja ammoniakki myös hyviä vaihtoehtoja, erityisesti vientiin.

VIITTEET

[1] Hydrogen, Biomass, and Bioenergy - Integration Pathways for Renewable Energy Applications

[2] Renewable Hydrogen Production Processes for the Off-Gas Valorization in Integrated Steelworks through Hydrogen Intensified Methane and Methanol Syntheses

[3] https://itm-power.com/news/sale-to-linde-of-world-s-largest-pem-electrolyser

[4] Agroekologinen symbioosi ravinne- ja energiaomavaraisessa ruoantuotannossa https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80004/YMra_18_2017.pdf?sequence=1

[5] https://itm-power.com/news/24mw-sale-to-yara

[6] COST FORECAST FOR LOW TEMPERATURE ELECTROLYSIS – TECHNOLOGY DRIVEN BOTTOM-UP PROGNOSIS FOR PEM AND ALKALINE WATER ELECTROLYSIS SYSTEMS

[7] https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database

[8] https://www.talouselama.fi/uutiset/toinen-vetylaitoshanke-julki-ja-lisaa-on-tyon-alla-ilkka-herlinin-ren-gas-suunnitelee-suomeen-1-5-miljardin-euron-investointeja/284a45d8-3213-4aed-8a03-3d58cc8f22d1?_ga=2.264329935.1115802038.1645283511-1711381126.1588747626

[9] NATIONAL HYDROGEN ROADMAP

[10] https://blog.topsoe.com/haldor-topsoe-to-build-large-scale-soec-electrolyzer-manufacturing-facility-to-meet-customer-needs-for-green-hydrogen-production

[11] https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/222412294/Hauch_and_Kungas_et_al_Science_2020_Resubmission_file_20200717_PDF_1_.pdf

[12] http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/19-20/Offshore%20H2/projects/hydrogen-production-mechanism/concepts-of-electrolysers-for-hydrogen-production/index.html

[13] https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/presseinformationen/2022/2021-11-17_CATF_Report_Electrolysis_final.pdf

[14] https://www.topsoe.com/hubfs/DOWNLOADS/DOWNLOADS%20-%20Brochures/SOEC%20high-temperature%20electrolysis%20factsheet.pdf?hsCtaTracking=dc9b7bfd-4709-4e7e-acb5-39e76e956078%7C20d976e0-d884-4c00-9fcf-3af3d0850476

[15] Operating Principles, Performance and Technology Readiness Level of Reversible Solid Oxide Cells

[16] A review of bio-oil upgrading by catalytic hydrotreatment: Advances, challenges, and prospects

[17] Systematic comparison of hydrogen production from fossil fuels and biomass resources

[18] https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163667/Bothnian_Bay_Hydrogen_Valley_Research_Report_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

REJLERS

VIITTEET

[19] Large-scale storage of hydrogen

[20] A Sustainable Bioeconomy Mika Sillanpää · Chaker Ncibi

[21] Technology Development and Techno-Economic Analysis of Hydrogen Production by Thermal Decomposition of Methane

[22] Selvitys Kemin Metsä Fibren sivu- ja jätevirroista sekä muista ylijäämäresursseista

[23] Utilization of biochar for resource recovery from water: A review

[24] https://biobisnesta.fi/wp-content/uploads/2019/02/9_Tynj%C3%A4l%C3%A4_LUT_Hiilinielut_CO2_erotus_ilmakeh%C3%A4st%C3%A4.pdf

REJLERS

VEDYN MAHDOLLISUUDET KEMILLE TEKNOLOGIASELVITYS

TEKNISET ALKUSELVITYKSET:

VEDYN JA SYNTEETTISTEN POLTTOAINEIDEN VALMISTUSTEKNOLOGIAT
VEDYN JA SEN KÄYTTÖÖN LIITTYVIÄ TURVALLISUUSASIOITA

10.6.2022

REJLERS DIGIPOLIS Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus Euroopan unioni Euroopan aluekehitysrahasto Euroopan sosiaalirahasto Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Tekniset alkuselvitykset

VETYYN JA SEN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄT TURVALLISUUSASIAT

Sisällysluettelo:

1. Vedyn ominaisuudet
2. Vedyn vaarat
3. Vaara-alueet ja niiden määrittäminen
4. Varautumiskeinoja
5. Lainsäädäntö
6. Lupamenettelyt
7. Yhteenveto

REJLERS

VEDYN OMINAISUUDET

- Väritön, hajuton, erittäin helposti syttyvä kaasu.
- Vety on ilmaa kevyempää (7 % ilman tiheydestä) eli vapautuva aine nousee nopeasti ylöspäin ja hajaantuu ilmassa.
- Puhdas vety palaa päivänvalossa lähes näkymättömänä sinisenä liekkinä.
- Vety on pienimolekyylinen kaasu. Tämän vuoksi vedyn varastointiin käytettäviä säiliöitä on hankala saada täysin tiiviiksi.
- Vedyn syttymisherkkyyden ja varastoinnin hankaluuden vuoksi vedystä voidaan syntetisoida mm. metanolia tai ammoniakkia.
- Vety ei ole ympäristölle vaarallinen aine, mutta sillä on vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Vedyn GWP eli lämmityspotentiaali on 6 (vertailuksi metaanin 25)
- Vedyn valmistusprosessilla on ympäristövaikutuksia (mm. suorat ja epäsuorat hiilidioksidipäästöt, meluhaitta, tehtaalla käytettävät kemikaalit).
- Työterveyslaitoksen vedyn OVA-ohjeessa tiivistetysti tietoa vedyn turvallisuudesta: https://www.ttl.fi/ova/vety.html

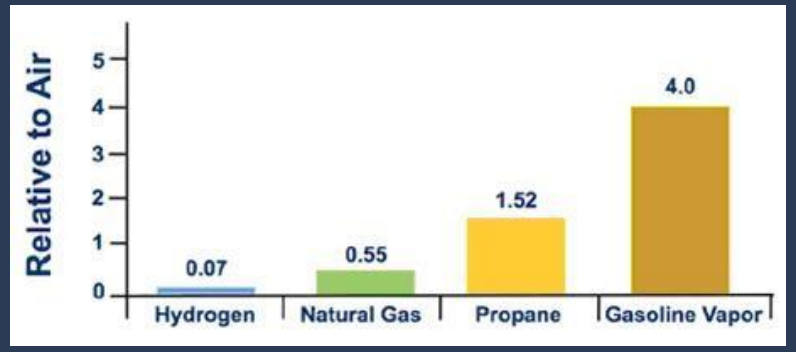
GWP (Global warming potential) eli lämmityspotentiaali: se määrä kuinka paljon kaasu vangitsee lämpöä tietyn ajanjakson aikana verrattuna hiilidioksidiin.

[1] [2] [3]

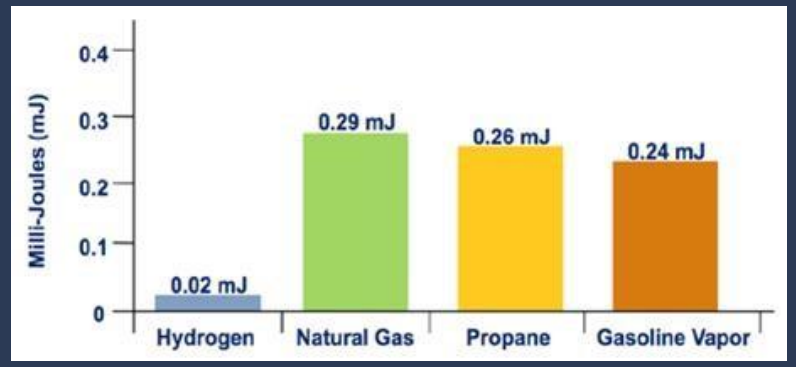
REJLERS

VEDYN OMINAISUUDET

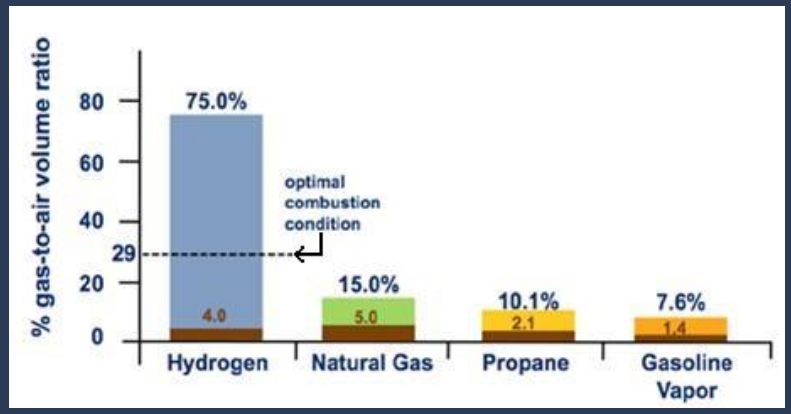
Suhteellinen tiheys verrattuna ilmaan



Minimisyttymisenergia eli pienin energiamäärä, jolla aine saadaan syttymään tai räjähtämään.



Syttymisrajat eli minkä pitoisuuksien välillä aineen ja kaasun seos on syttyvää.



Alla olevassa taulukossa on vertailtu kolmen eri aineen syttymisrajoja ja syttymisenergiaa. Vetyä ja maakaasua käytetään polttoaineena. Asetyleeni, jonka syttymisrajat ja syttymisenergia ovat lähellä vetyä, on hitsauksessa käytettävä polttokaasu. Taulukossa on myös ammoniakin ja metanolin vastaavat arvot

	Vety	Maakaasu (metaani)	Asetyleeni (polttokaasuna hitsauksessa)	Ammoniakki	Metanoli	Termin selite
Syttymisrajat	4–75,6 %	4,4–17 %	2,4–83 %	16-25%	5,5-36,5 %	Ilmaan sekoittunut aine voi syttyä, jos sen pitoisuus on näiden rajojen välillä.
Syttymisenergia	0,02 mJ	0,3 mJ	0,019 mJ	8 mJ	0,14 mJ	Minimi-energia, jolla aine syttyy.
Ylempi lämpöarvo	140 MJ/kg	55 MJ/kg	50 MJ/kg	22 MJ/kg	23 MJ/kg	Lämpöarvo tarkoittaa aineen täydellisessä palamisessa vapautuvaa lämpöenergian (MJ) määrää kiloa kohden.

[1] [4]

REJLERS

VEDYN VAARAT

- **Suihkupalo**: Vedyn syttymisenergia (0,02 mJ) on erittäin pieni, minkä takia se syttyy helposti palamaan. Painesäiliöstä purkautuessa syntyy staattista sähköä, joka sytyttää vedyn palamaan. Paineella säiliöstä purkautuva vety palaa suihkupalona.
- **Leimahdus**: Kun vetyä sekoittuu ilmaan, voi tämä vetyilmaseos syttyä, jos vedyn pitoisuus seoksessa on 4–75,6 %. Tätä pienempi tai isompi pitoisuus ei syty. Ilmaa kevyempänä aineena (0,07) vety nousee nopeasti ylöspäin ja hajaantuu jos vuoto ei tapahdu suljetussa tilassa. Syttyessä leimahtaen palo leviää hetkessä vetykaasupilven läpi. Lämpövaikutukset ovat siis hetkellisiä.
- **Kaasupilviräjähdys (VCE)**: Vetykaasupilvi voi räjähtää, jos vedyn ja ilman seos on syttymisrajojen välillä (kts. edellä). Räjähtävä vetykaasupilvi palaa samalla leimahtaen. Verrattuna esimerkiksi maakaasuun vety voi räjähtää jo hyvin pieninä määrinä avoimessa tilassa.
- **Tulipallo (esim. BLEVE:n yhteydessä)**: Jos vetyä vapautuu kerralla suuri määrä säiliön hajotessa katastrofaalisesti tai suuresta vuotoaukosta, voi syntyä tulipallo. Tulipallo on kooltaan suuri hetkessä vakavia lämpövaikutuksia ympärilleen aiheuttava palo, jonka kesto on kuitenkin vain sekunteja.
- **Paleltumat**: Nesteytettynä vetyä säilytetään erittäin kylmissä lämpötiloissa (vety on ilmanpaineessa nestemäistä alle -253 °C lämpötilassa). Onnettomuustilanteessa vapautuva erittäin kylmä vety aiheuttaa palovammoja, jos ihminen päätyy sen kanssa kosketuksiin.
- **Tukehtumisvaara**: Vety ei ole myrkyllistä, mutta syrjäyttäessä hapen (esim. suljetussa tilassa) se voi aiheuttaa tukehtumisvaaran.

BLEVE (boiling liquid expanding vapour explosion): räjähdystyyyppi, jossa paineistettua kaasua säilytetään lämpötilassa, joka on korkeampi kuin nesteen kiehumispiste. Mikäli paineistettu laite hajoaa ja paine purkautuu, neste kiehuu ja laajenee nopeammin kuin pelkästään ylipaineesta johtuvassa räjähdyksessä. Mikäli kiehuva neste syttyy, seuraa voimakas räjähdys ja tulipallo.

[1]

Tekniset alkuselvitykset

VAARA-ALUEET JA NIIDEN MÄÄRITTÄMINEN

- Tukesin opas tuotantolaitoksen sijoittamisesta (linkki) antaa ohjeita tuotantolaitosta sijoittaessa huomioon otettavista asioista.
- Vaara-etäisyyksien riittävyys tulee osoittaa joko seurausanalyysillä tai muulla asiantuntemuksella. Vaara-alueiden laajuus riippuu mm. Varastoitavan aineen määrästä, käytetystä laitteistosta, alueen keskimääräisistä tuuliolosuhteista ja kohdetta ympäröivistä rakenteista, joten laajuus tulee aina tarkastella tapauskohtaisesti
- Palon vaara-alueet lasketaan ohjeen mukaan 3, 5 ja 8 kW/m^2 lämpösäteilyn intensiteeteillä.
- Leimahtaen palavaa syttymiskelpoista kaasupilveä tarkastellaan alemman syttymisrajan (LFL) kautta. Tarvittaessa tarkastellaan myös 50 % alemmasta syttymisrajasta (50 % LFL).
- Räjähdykselle lasketaan 5, 15 ja 30 kPa ylipaineen vaara-alueet.
- Alueet piirretään esim. karttapohjan päälle
- Suomessa ei ole vedylle kansallista ohjeistusta erityisesti vedyn vaaraetäisyyksistä.
- EIGA Doc 15/21 (linkki) ja HyApproval – Handbook for Approval of Hydrogen Refuelling Stations (linkki) ohjeistavat Euroopan tasolla vaaraetäisyyksien määrittämisessä.
- Joissakin maissa on omia kansallisia ohjeistuksia. Saksa: raportti turvallisesta vetyinfrastruktuurista (linkki) ja MB DRGA 514-englisch - Requirements for hydrogen fueling stations.

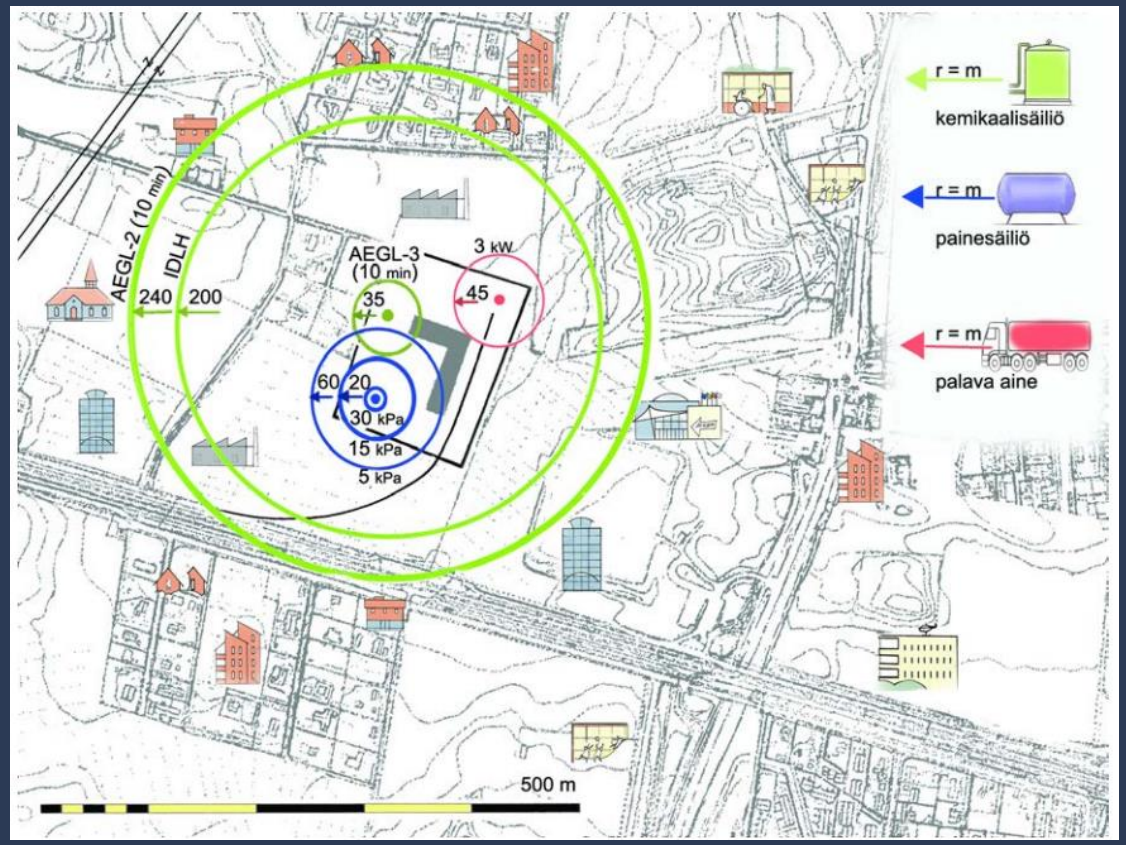
Seurausanalyysi: Seurausanalyysi sisältää mallinnukset painevaikutuksista ja lämpösäteilystä, mallinnettujen onnettomuustilanteiden valintaperusteet ja niiden kuvaukset, laskentamenetelmien kuvaukset ja kuvauksen niiden soveltuvuudesta, tulosten sanallisen ja graafisen kuvauksen, arvion tulosten luotettavuudesta ja maininnan seurausanalyysin tekijän ammattitaidosta. Seurausanalyysissä ei oteta kantaa mahdollisiin muutosehdotuksiin.

Alempi syttymisraja (LFL): Pienin aineen (esim. vety) pitoisuus kaasupilvessä, jolla kaasupilvi voi vielä syttyä. Kun pitoisuus pienenee mentäessä kauemmas vuotokohdasta, vetypilvi ei ole enää syttymiskelpoinen. Koska muodostuva kaasupilvi ei ole koostumukseltaan yhtenäinen, lasketaan usein myös pisin etäisyys, jolla saavutetaan 50 % LFL arvosta.

[5] [6] [7] [8] [9] [10]

REJLERS

LÄMPÖSÄTEILYN JA YLIPAINEEN VAIKUTUKSET



Esimerkki painevaikutusten (sinisellä) ja lämpösäteilyvaikutusten (punaisella) esittämisestä kartalla (TUKES, Tuotantolaitosten sijoittaminen, 2015). Kuvassa esitetyt etäisyydet ovat esimerkki, eivätkä vastaa todellisuutta.

Lämpösäteilyn intensiteetti	Lämpösäteilyn vaikutus	Muuta
3 kW/m²	Yli 2 minuutin vaikutusaika aiheuttaa palautumattomia vaikutuksia ihmisiin	Pelastustoimet mahdollisia Evakuointireittien lämpösäteilyn yläraja
5 kW/m²	Yli 2 minuutin vaikutusaika aiheuttaa kuolettavia vaikutuksia ihmisiin	
8 kW/m²	Ympäröivät rakenteet, rakennukset ja laitteet syttyvät	

Paine-aallon ylipaine	Vaikutukset rakennuksiin ja ihmisiin	Mahdollisia rakenne- tai rakennustyyppejä
30 kPa	Kantavien rakenteiden romahdus, onnettomuuden laajenemisriski	Teollisuuslaitteet ja -rakenteet
15 kPa	Talojen osittaisia romahduksia, pysyvän vammautumisen riski	Rakennukset ja rakenteet, joille voidaan perustellusta syystä hyväksyä tämä yläraja, esim. Painetta kestäviksi mitoitetut teollisuusrakennukset
3 kPa	Pieniä vaurioita talojen rakenteille, vammautumisen riski	Rakennukset ja alueet, joissa normaalisti oleskelee ihmisiä. Sairaaloiden, vanhainkotien, päiväkotien, koulujen, hotellien ja muiden rakennusten, joissa voi olla suuria väkijoukkoja pitää olla tämän alueen ulkopuolella

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

TYYPILLISIÄ VARAUTUMISKEINOJA TEOLLISUUDESSA

- Vedyn turvalliseen käyttöön liittyvät ratkaisut tulee arvioida aina tapauskohtaisesti riippuen mm. Käytettävästä laitteistosta, vedyn määrästä sekä muista ympäröivistä prosesseista.
- Vetyä käytettäessä räjähdyssuojaus on hyvin tärkeää, ja laitteiston, ympäristön ja toiminnan tulee täyttää ATEX-säädösten vaateet.
- Palon ja räjähdyksen varalta käytettyjä rakenteellisia ratkaisuita
- Palo-osastointi
- Painetta kestävät seinät (esim. ohjaamo-/valvomotilat)
- Painetta keventävät seinät (purkavat painetta turvalliseen suuntaan, rakennusten romahtaminen räjähdystilanteessa voidaan estää tällä)
- Palon ja räjähdyksen varalta käytettyjä laiteratkaisuita
    - ATEX-luokitellut laitteet
    - Ilmanvaihto mitoitettu normaalia korkeammaksi
    - Kaasuilmaisimet
    - Sprinklausjärjestelmät
    - Laitteen sisäistä ylipainetta estävät järjestelmät, esim. Paineenpurkuun käytetyt varoventtiilit ja murtokalvot
    - Turva-automaatiojärjestelmät

ATEX: Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita koskeva lainsäädäntä ja standardisointi

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

LAINSÄÄDÄNTÖ JA DIREKTIIVIT

- Tällä hetkellä vedyn käytössä noudatetaan lainsäädäntöä ja asetuksia, jotka koskevat vaarallisten kemikaalien teollista käyttöä ja varastointia. Helposti syttyvänä kaasuna vety luetaan vaaralliseksi kemikaaliksi
- Vedyn turvalliseen teolliseen käyttöön liittyvää suomalaista erityislainsäädäntöä tai viranomaisohjeistusta ei kirjoitushetkellä ole, mutta tilanne muuttunee tulevaisuudessa.
- Lainsäädäntö ja viranomaiskäytännöt esim. Ruotsissa voivat olla erilaisia. Tämä tulee ottaa huomioon raja-alueilla toimiessa.
    - Ruotsissa ei ole TUKESia vastaavaa valvovaa viranomaista, vaan vaarallisia kemikaaleja käyttäviä laitoksia valvoo Länsstyrelsen (lääninhallitus)
- Kaikkia toiminnanharjoittajia, joiden tiloissa voi esiintyä kaasujen, nesteiden tai pölyjen aiheuttamia räjähdysvaaroja, tulee toiminnanharjoittajan laatia räjähdyssuojausasiakirja, jossa esitetään räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu, vaaratekijät, räjähdysvaaran aiheuttamat riskit, riskinarvoinnin tulokset, sekä tekniset ja organisatoriset suojaustoimenpiteet. Räjähdyssuojausasiakirja tulee laatia ennen laitoksen käyttöönottoa.
- Toiminnanharjoittajien tulee arvioida toiminnan riskit ja riskinarvionti tulee pitää ajan tasalla ja päivittää säännöllisesti. Käytettyjä riskinarviomenetelmiä ovat mm. HAZOP-menetelmä.

Hazop-menetelmä: poikkeamatarkastelu, jossa käydään koko laitos tai tietty osa laitosta putkisto- ja instrumentointikaavion kanssa läpi. Tätä voidaan myös täydentää mm. LOPA- ja SIL-analyyseillä

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

LUPAMENETTELY

- Mikäli vaarallisia kemikaaleja käyttävän laitoksen vaarallisten kemikaalien suhdeluku ylittää asetuksessa VNa 685/2015 annetun minimimäärän, tulee käytölle hakea lupa TUKESilta ennen kuin tuotantolaitosta aletaan rakentamaan tai ennen kuin tuotantolaitoksen toiminta muuttuu esim. Uusien kemikaalien tai niiden määrien lisäyksen myötä.
- Hakemuksessa tulee olla yleistiedot toiminnanharjoittajasta, toiminnasta, riskien hallinnasta ja tuotantolaitoksen toteutusperiaatteista.
- Laajamittaista kemikaalien käsittelyä tekevän laitoksen tulee myös laatia sisäinen pelastussuunnitelma ja määriteltävä vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin käytönvalvoja
- TUKES tarkastaa laitoksen ennen käyttöönottoa.
- Oheisessa taulukossa on esitetty suhdeluvut vedylle ja muita luvitukseen liittyviä asioita.

Tarvittavan luvan tyyppi	Ilmoitus	Lupa	Toimintaperiaateasiakirja	Turvallisuusselvitys
Vähimmäismäärä	0,1 tonnia	2 tonnia	5 tonnia	50 tonnia
Toiminnan laajuus	Vähäinen teollinen toiminta	Laajamittainen teollinen toiminta	Laajamittainen teollinen toiminta	Laajamittainen teollinen toiminta
Valvova viranomainen	Pelastuslaitos	TUKES	TUKES	TUKES
Käyttöönottotarkastus ennen laitoksen käynnistämistä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Määräaikais-tarkastuksen väli	Pelastuslaitoksen tarkastussuunnitelman mukaan	5 vuotta	3 vuotta	1 vuosi

Suhdeluku: Suhdeluku on laitoksella käytettävistä kemikaaleista VNa 685/2015 4 § mukaisesti laskettava luku, jonka avulla määritetään, onko toiminta ilmoituksen-, luvan-, toimintaperiaateasiakirja- vai turvallisuusselvitysvaraista. Suhdeluku voidaan laskea käyttäen KemiDigin suhdelukulaskuria https://www.kemidigi.fi/suhdelukulaskenta. Laskuriin syötetään laitoksella käsiteltävät kemikaalit ja niiden määrät.

Vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin käytönvalvoja: Vastuuhenkilö laajamittaista kemikaalien käsittelyä ja varastointia tekevissä laitoksissa. Huolehtii ja valvoo sitä, että lupaehdot täyttyvät. Käytönvalvojan tulee läpäistä pätevyyskoe. Käytönvalvojan tehtävät, vastuualueet ja päätösvalta tulee olla selkeästi määritelty. Käytönvalvojan tulee hyväksyä tehtävänsä. Toiminnanharjoittajan on huolehdittava siitä, että käytönvalvojalla on riittävät edellytykset hoitaa tehtäväänsä.

Toimintaperiaateasiakirja: Toimintaperiaateasiakirjassa toiminnanharjoittaja selostaa toimintaperiaatteensa suuronnettomuuksien ja muiden onnettomuuksien ehkäisemiseksi

Turvallisuusselvitys: Sisältää kuvaukset tuotantolaitoksesta ja sen ympäristöstä, tuotantolaitoksen turvallisuusjohtamisjärjestelmästä, toimintaan liittyvistä vaaroista ja niiden hallinnasta ja varautumistoimenpiteistä sekä mahdollisista toimenpiteistä onnettomuuden rajaamiseksi. Turvallisuusselvityksessä on myös luettelo tuotantolaitoksen vaarallisista kemikaaleista ja niiden ominaisuuksista.

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

YHTEENVETO VEDYN TURVALLISUUDESTA

- Vety on erittäin helposti syttyvä ja räjähdysvaarallinen pienimolekyylinen aine, jonka valmistuksessa ja varastoinnissa tulee ottaa turvallisuus jo varhain suunnitteluvaiheessa huomioon. Näin myös säästetään kustannuksissa kun varmistetaan, ettei myöhemmässä vaiheessa tarvitse tehdä muutoksia turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi.
- Tuotantolaitosta sijoittaessa TUKES vaatii että sijoituksen yhteydessä osoitetaan vaara-etäisyyksien riittävyys seurausanalyysillä. Vedylle ei ole Suomessa esitetty suoraan vaara-etäisyyksiä vaan nämä tulee tarkastella tilannekohtaisesti.
- Riskit tulee tunnistaa ja varautumiset suunnitella tilannekohtaisesti riskiarvion (esim. HAZOP) perusteella.
- TUKES tai pelastuslaitos toimivat toiminnan laajuudesta riippuen valvovana viranomaisena, joka osaa myös neuvoa suunnitteluvaiheessa.
- Erityisesti vetyä koskeva lainsäädäntö on Suomessa vielä puutteellista, mutta tähän voi tulevina vuosina tulla muutoksia. Hanketta koskeva lainsäädäntö ja muut vaatimukset tulee varmistaa alkuvaiheessa.
    - Kansallinen vetyklusteri
    - European Clean Hydrogen Alliance

REJLERS

Tekniset alkuselvitykset

TÄRKEIMMÄT LAIT JA DIREKTIIVIT

Tärkeimmät direktiivit

- 94/9/EY (ATEX-laitedirektiivi) (linkki)
- 1999/92/EY (ATEX-työolosuhdedirektiivi) (linkki)
- Suuronnettomuusvaaran torjuntaan liittyvä EU-direktiivi ”SEVESO III” (linkki)
- Painelaitedirektiivi (linkki) (kaikki putkistot, jotka sisältävät vaarallisia kemikaaleja ovat painelaitedirektiivin alaisia. Vetyä säilytetään tyypillisesti paineen alaisessa säiliössä)

Tärkeimmät lait:

- Valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta (576/2003) (linkki)
  - Koskee myös vanhoja tiloja, siirtymäaika loppui 2006.
  - ATEX-työolosuhdedirektiivin täytäntöönpaneva asetus
- Asetus räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä (917/1996) (linkki)
  - Koskee kaikkia työnantajia, joiden työntekijät voivat joutua alttiiksi syttyvistä nesteistä, kaasuista tai pölyistä johtuville räjähdysvaaroille
  - Siirtymäaika loppui 2003
  - ATEX-laitedirektiivin täytäntöönpaneva asetus
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä (918/1996) (linkki), jota uusittu 1135/2016 (linkki) ja 1439/2016 (linkki)
  - Koskee laitteiden, komponenttien ja suojausjärjestelmien laitevalmistelijoita, suunnittelijoita, markkinoijia, maahantuojia ja jälleenmyyjiä
  - Siirtymäaika loppui 2003
- Ympäristönsuojelulain 527/2014 liitteen 1 taulukon 1 kohdan 4 a) ”epäorgaanisten kemikaalien valmistus” mukaan vedyn valmistus on luvanvaraista toimintaa ja kuuluu direktiivilaitoksiin. (linkki)

REJLERS

TÄRKEIMMÄT LAIT JA DIREKTIIVIT

Suomessa räjähdysvaaralliset ja syttyvät aineet luetaan vaarallisiksi aineiksi. Tällöin tuotantolaitoksia koskee myös seuraava lainsäädäntö:

- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005) (”Kemikaaliturvallisuuslaki”) (linkki)
  - Vaarat työntekijöille pitää ehkäistä
  - Putket ja säiliöt on suunniteltava painelaitelainsäädännön mukaan
- Painelaitelaki (1144/2016) (linkki)
  - Putkistojen suunnittelu ja valvonta
  - Säiliöt, jotka sisältävät vaarallista kemikaalia
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015) (linkki)
  - TUKES valvova viranomainen
  - Luvituskäytännöt
  - Vaarallisia kemikaaleja laajamittaisesti käsittelevässä ja varastoivassa laitoksessa pitää olla käytönvalvoja
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista (856/2012) (linkki)
  - Tuotantolaitosten sijoittaminen
  - Seurausanalyysi
  - Turvallisuusvaatimukset, räjähdysten estäminen ja onnettomuuksiin varautuminen

VIITTEET

[1] Työterveyslaitos, OVA-ohje: VETY, päivitetty 27.05.2021. https://www.ttl.fi/ova/vety.html

[2] EU 517/2014

[3] EIGA Doc 122/18, ENVIRONMENTAL IMPACTS OF HYDROGEN PLANTS. https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC122.pdf

[4] H2 Tools, Hydrogen Compared with Other Fuels. https://h2tools.org/hydrogen-compared-other-fuels

[5] TUKES, Tuotantolaitosten sijoittaminen, 2015. https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/Tuotantolaitosten+sijoittaminen/

[6] 685/2015 Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta

[7] EIGA Doc 15/21. https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC015.pdf

[8] HyApproval – Handbook for Approval of Hydrogen Refuelling Stations. http://www.hyapproval.org/

[9] MB DRGA 514-englisch - Requirements for hydrogen fueling stations

[10] Nationale Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Sichere Wasserstoffinfrastruktur. https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/now_studie_sichere_wasserstoffinfrastruktur.pdf

[11] KemiDigi. https://www.kemidigi.fi/suhdelukulaskenta

VEDYN MAHDOLLISUUDET KEMILLE TEKNOLOGIASELVITYS

SÄHKÖVERKKOJEN TILANTEEN SELVITYS

10.6.2022

REJLERS DIGIPOLIS Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus Euroopan unioni Euroopan aluekehitysrahasto Euroopan sosiaalirahasto Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

TUOTANNON JA KULUTUKSEN LIITTÄMISEN YLEISET PERIAATTEET:

- Liityntäteho ja -tapa:
  - yli 250 MVA:n liittymät liitetään Fingrid Oy:n 400 kV:n kytkinlaitokseen
  - 50 - 250 MVA:n liittymät liitetään 110 kV:n kytkinlaitokseen (Fingrid Oy tai paikallinen alueverkonhaltija)
  - 20- 50 MVA:n liittymät liitetään joko 110 kV:n kytkinlaitokseen tai voimajohtoon (Fingrid Oy tai paikallinen alueverkonhaltija)
  - alle 20 MVA:n liittymät liitetään paikallisen jakeluverkkoyhtiön 20 kV jakeluverkkoon
  - alle 1 MVA:n liittymät liitetään paikallisen jakeluverkkoyhtiön 0,4 kV jakeluverkkoon

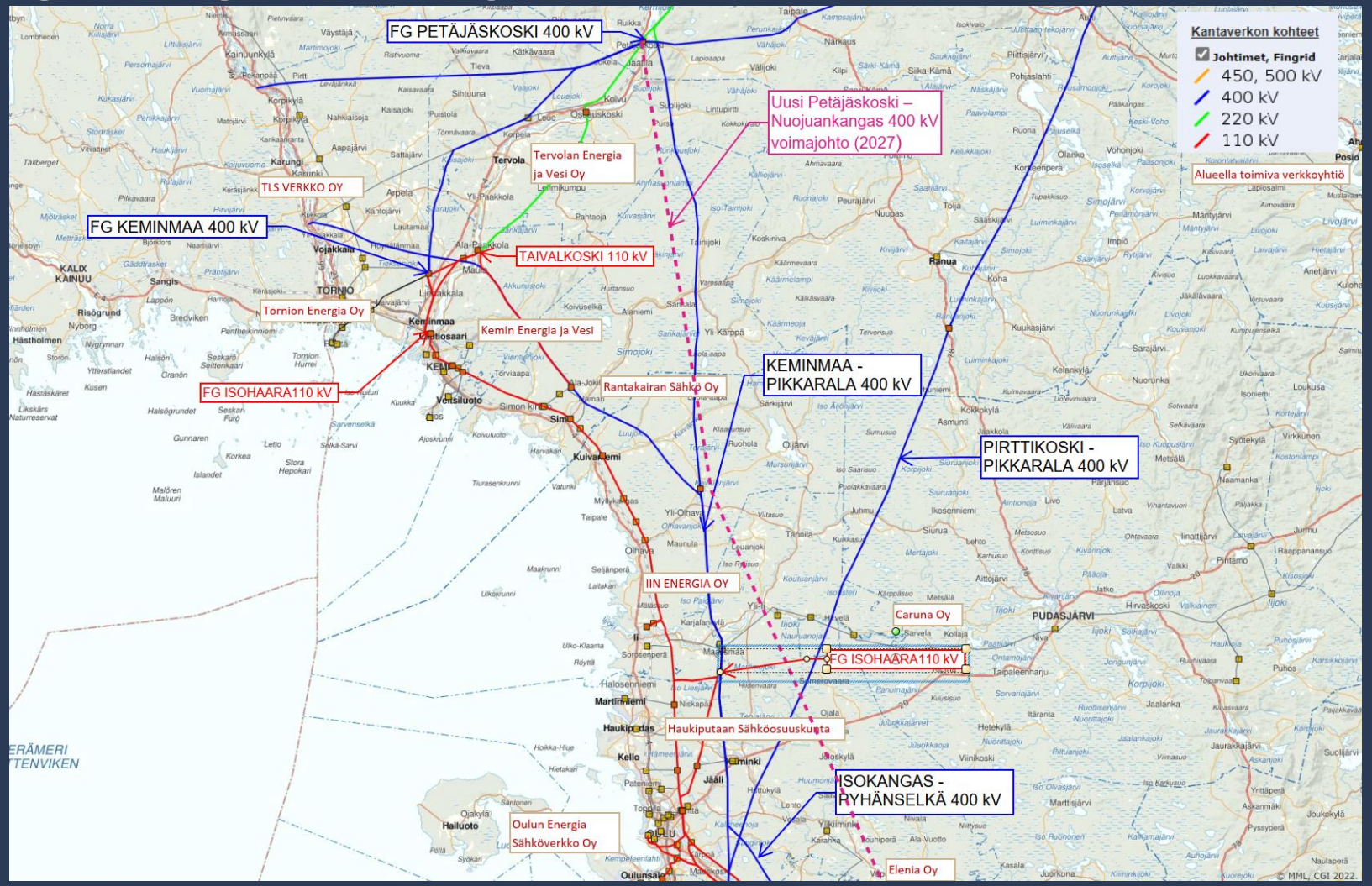
- Jakeluverkonhaltijalla on yksinoikeus rakentaa jakeluverkkoa eli alle 110 kV sähköverkkoa vastuualueellaan. Muut kuin verkonhaltija voivat rakentaa alle 110 kV sähköverkkoa, jos johdolla on tarkoitus liittää sähkönkäyttöpaikka tai yksi tai useampi voimalaitos jakeluverkonhaltijan sähköverkkoon.

- Suurjännitteisen eli vähintään 110 kV sähköjohdon rakentamiseen on haettava hankelupa Energiavirastolta. Hankelupa voidaan myöntää ilman tarveharkintaa, jos kyseessä on 110 kV sähköjohto, jolla liitetään sähkönkäyttöpaikka tai yksi tai useampi voimalaitos lähimpään vähintään 110 kV sähköverkkoon. Tarveharkinnassa annetaan selvitys johdon tarpeellisuudesta sähkön siirron turvaamiseksi. Hankelupaa ei tarvita kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sisäisen sähköjohdon rakentamiseen.

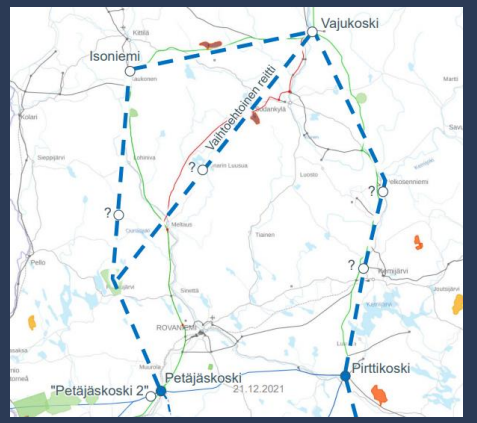
- Yli 110 kV verkko on aina joko kantaverkkoa tai liittymisjohtoa, jolla liitetään sähkönkäyttö/-tuotantopaikka kantaverkon kytkinasemalle.

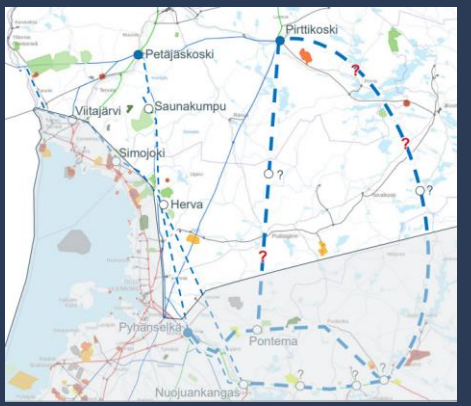
- Keski- ja suurjänniteverkon liittymien hinnoittelu on usein tapauskohtaista. Hinnoittelu perustuu liittymän rakentamisesta aiheutuviin välittömiin laajennuskustannuksiin, liityntätehoon sekä kapasiteettivarausmaksuun.

MERI-LAPIN ALUEEN SUURJÄNNITTEINEN SÄHKÖVERKKO



Pohjoisen sähköntuotannon liittämismahdollisuuksien kehittäminen vaatii 400 kV siirtokapasiteetin lisäämistä kantaverkossa etelään päin kohti sähkön kulutusta.
Johtoreitit ja asemapaikat riippuvat mm. tuulivoimahankkeiden etenemisestä (FG).





REJLERS

TUULIVOIMAHANKKEET

- Tuulivoimahankkeita on suunnitteilla Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan alueelle ennätysmäärä. Liityntäkyselyitä ollut noin 20 GW:lla.
- Toteutuvien hankkeiden maantieteellistä sijoittumista ja lukumäärää ei voi arvioida tällä hetkellä. Hankkeista on rakenteilla 1437 MW ja 1000 MW:lla suunnitelmista on lainvoimainen kaava.
- Meri-Lapin alueella on suunnitteilla 12 hanketta, joiden maksimi teho olisi 2000 MW.

Riviotsikot	Summa / Min teho MW	Summa / Max teho MW
Lappi	**1750**	**3235**
Maatuulivoima	**1710**	**3155**
0 Identifioitu hanke/ Esisuunnittelu	135	198
1 Kaavoitus aloitettu	1186	1871
2 YVA-menettely käynnissä	36	42
3 Kaavaehdotus	0	300
3 YVA-menettely tehty	30	96
4 Kaavoitus tehty	85	134
5 Luvitettu	166	291
6 Rakenteilla	72	223
Merituulivoima	**40**	**80**
4 Kaavoitus tehty	40	80
Pohjois-Pohjanmaa	**5387**	**15493**
Maatuulivoima	**4435**	**13523**
0 Identifioitu hanke/ Esisuunnittelu	163	1762
1 Kaavoitus aloitettu	1064	3722
2 Kaavaluonnos	890	1835
2 YVA-menettely käynnissä	568	2054
3 Kaavaehdotus	535	760
3 YVA-menettely tehty	84	175
4 Kaavoitus tehty	96	486
5 Luvitettu	549	1512
6 Rakenteilla	486	1217
Merituulivoima	**952**	**1970**
0 Identifioitu hanke/ Esisuunnittelu	736	1210
3 Kaavaehdotus	0	400
4 Kaavoitus tehty	216	360
Kaikki yhteensä	**7137**	**18728**

Riviotsikot	Määrä / Hanke (Kunta, Projektin nimi)	Summa / Max teho MW
Alavieska	2	92
Alavieska ja Kalajoki ja Ylivieska	1	
Enontekiö	1	9
Haapajärvi	3	121
Haapavesi	5	604
Haapavesi ja Haapajärvi	1	220
Haapavesi ja Kärsämäki	1	45
Haapavesi ja Oulainen	1	320
Hailuoto	1	33
Ii	11	1688
Kalajoki	5	299
Kemijärvi ja Salla	1	97
Kittilä	2	
Kristiinankaupunki	1	125
Kuusamo	3	402
Kärsämäki	4	780
Liminka	3	100
Lumijoki	2	6
Muhos	1	
Muhos ja Liminka ja Tyrnävä	1	98
Nivala	1	45
Oulainen	3	181
Oulu	9	944
Oulunsalo	1	4
Pello	2	102
Pihtipudas ja Kinnula	1	640
Posio	1	126
Pudasjärvi	7	520
Pyhäjoki	5	421
Pyhäjärvi	13	1816
Pyhäntä	6	670
Raahe	7	200
Raahe ja Pyhäjoki	2	760
Raahe ja Siikajoki	1	68
Ranua	1	
Reisjärvi	1	170
Rovaniemi	3	198
Salla	1	32
Salla ja Kemijärvi	1	102
Sievi	2	57
Siikajoki	9	433
Siikalatva	9	1763
Siikalatva & Kärsämäki	1	424
Simo	3	697
Taivalkoski	1	
Tervola	5	264
Tornio	4	1040
Utajärvi	5	629
Vaala	6	581
Ylitornio	3	568
Ylivieska	4	234
Kaikki yhteensä	**168**	**18728**

Tilastot: Tuulivoimayhdistyksen Extranet, 25.4.22
Liityntäkyselyt: Fingrid 2/2022

REJLERS

CASE: VEDYNTUOTANTOLAITOKSEN SIJOITTTUMIMEN TUULIPUISTON LÄHELLE

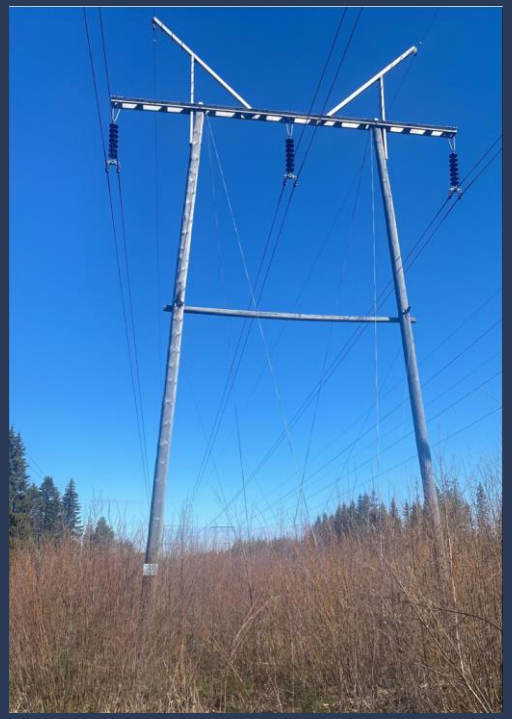
- Sähkönsiirron kannalta optimaalisinta olisi, että kulutuksen ja tuotannon käyttöpaikat ovat mahdollisimman lähellä tosiaan (pienet häviöt). Sähköverkon mitoituksen kannalta vedyntuotantolaitoksen (sähkön kuluttuja) liittäminen isotehoisen tuulipuiston kanssa samaan liittymään ei todennäköisesti lisäisi sähköverkon vahvistamistarvetta alueella.

- Mikäli tuotannon (tuulipuiston) liittymisjohtoon liitetään kulutusta sähköverkkoluvan, tarve tulee selvittää energiavirastosta tapauskohtaisesti. Luvanvaraista ei ole sähköverkkotoiminta, jossa sähköverkolla hoidetaan vain kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sisäistä sähköntoimitusta.

- Lisäksi Energiaviraston hallintokäytännössä on lisäksi katsottu että, mikä taho liittymisjohtoa operoi tai minkä hallinnassa tämä on, määrittelee kuuluuko liittymisjohto luvanvaraisen sähköverkkotoiminnan piiriin. Liittymisjohdoksi katsotaan sähköjohto, jolla liitetään sähkönkäyttöpaikka tai yksi tai useampi voimalaitos sähköverkkoon.

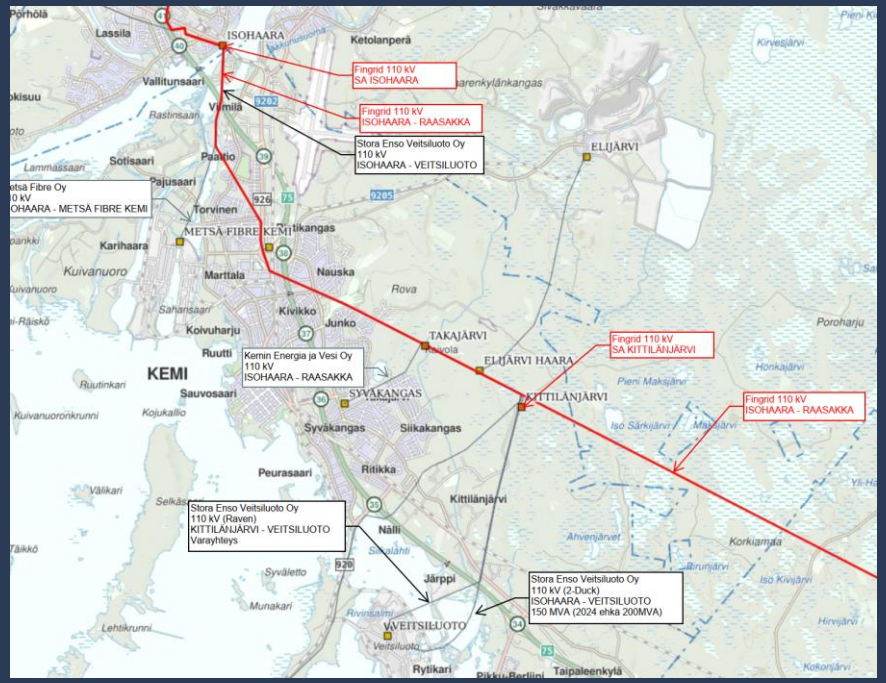
CASE: VEDYNTUOTANTOLAITOKSEN SIJOITTTUMIMEN KEMIN VEITSILUOTOON

- Stora Enson Kemin Veitsiluodon sellu- ja paperitehdasalueelle toivotaan uutta käyttöä. Alueella on valmiina 110 kV liittymisjohdot ja sähköasema.
- Isohaaran sähköaseman siirtokapasiteetti Fingridin mukaan n. 150 MVA. Sähköasemaa uusitaan 2024 ja se parantaa tilannetta entisestään.
- Stora Enson liittymän kapasiteetista osa jo käytössä ja osa varattu uusille toimijoille.



LIITTYMÄ
110 kV ISOHAARA – VEITSILUOTO

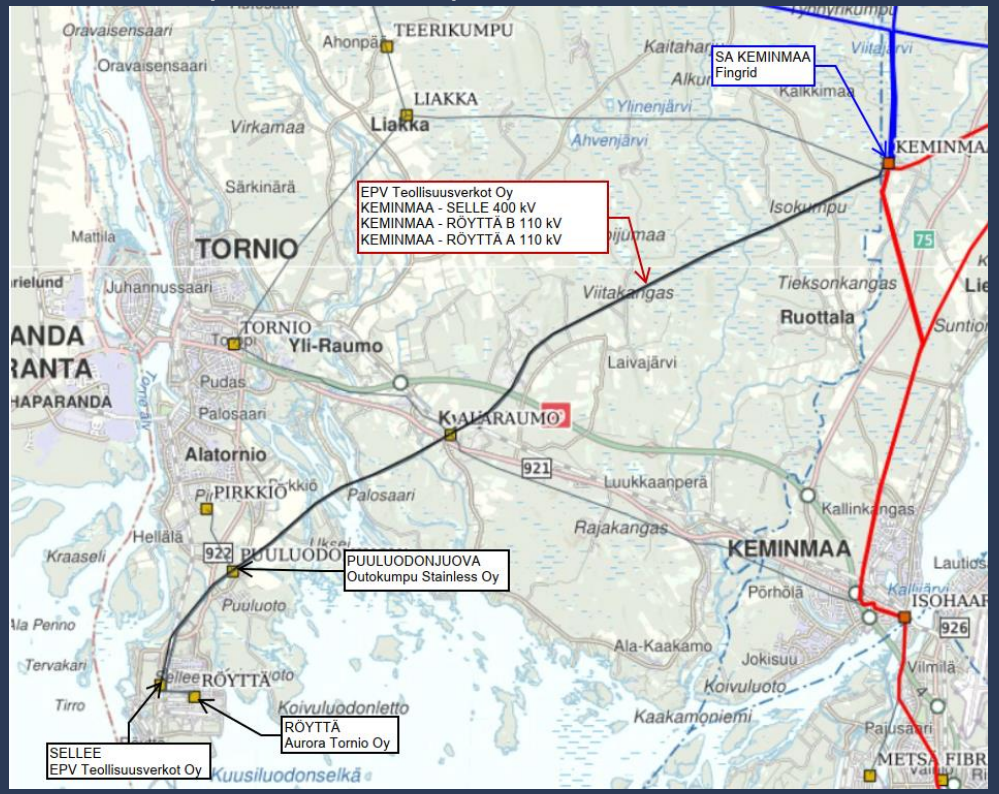
VARAYHTEYS
110 kV KITTILÄNJÄRVI – VEITSILUOTO



REJLERS

CASE: VEDYNTUOTANTOLAITOKSEN SIJOITTTUMIMEN RÖYTTÄN TEOLLISUUSALUE

- EPV Teollisuusverkot Oy on suurjännitteinen jakeluverkkoyhtiö, jonka omistuksessa ovat 400 kV ja 110 kV voimajohdot Fingrid Oy:n Keminmaan sähköasemalta Röyttän tehdasalueelle sekä Röyttän Selleen 400/110 kV muuntoasema.
- Aurora Tornio Oy omistaa Outokummun tehdasalueen teollisuussähköverkon.
- Alueen vapaasta siirtokapasiteetista ei ole tietoa.

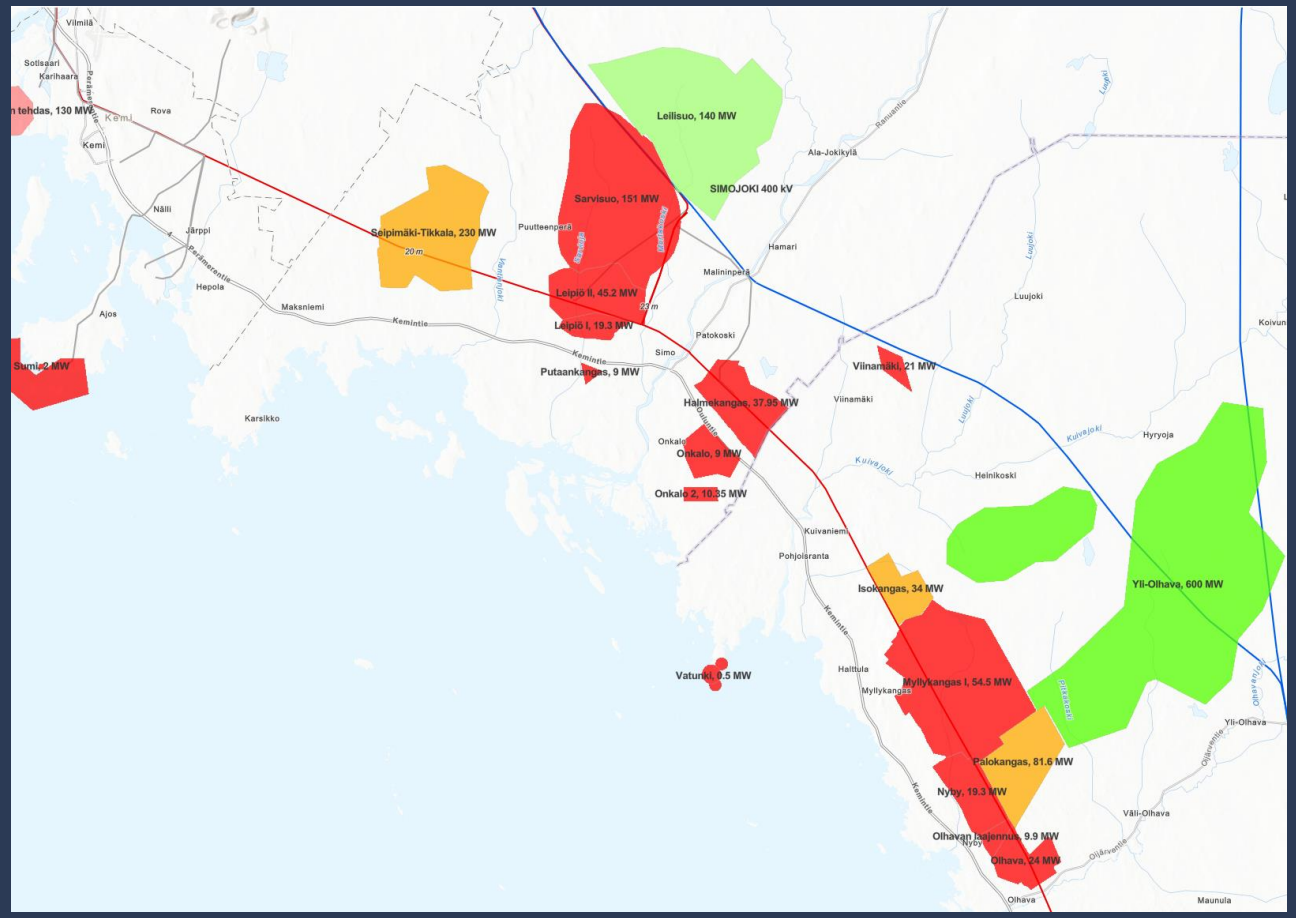


EPV 110 kV KEMINMAA - RÖYTTÄ A (2-DUCK / 2- FINCH)
EPV 110 kV KEMINMAA - RÖYTTÄ B (2-DUCK / 2- FINCH)
EPV 400 kV KEMINMAA - SELLEE

REJLERS

CASE: VEDYNTUOTANTOLAITOKSEN SIJOITTTUMIMEN MERI-LAPIN ALUEELLE

- Tuulituotantoa tulossa paljon lähi-alueille. Tuotantopainoitteisessa sähköverkossa kulutuksen lisääminen helpottaa tilannetta suurjännitteisen verkon mitoituksen kannalta.
- 110 kV verkon kytkinlaitosliitynnässä maksimi liityntäteho 250 MVA. Tätä isommat ovat 400 kV liittymiä. Vapaa liityntäkapasiteetti tulee aina tarkastaa Fingrid Oy:ltä.

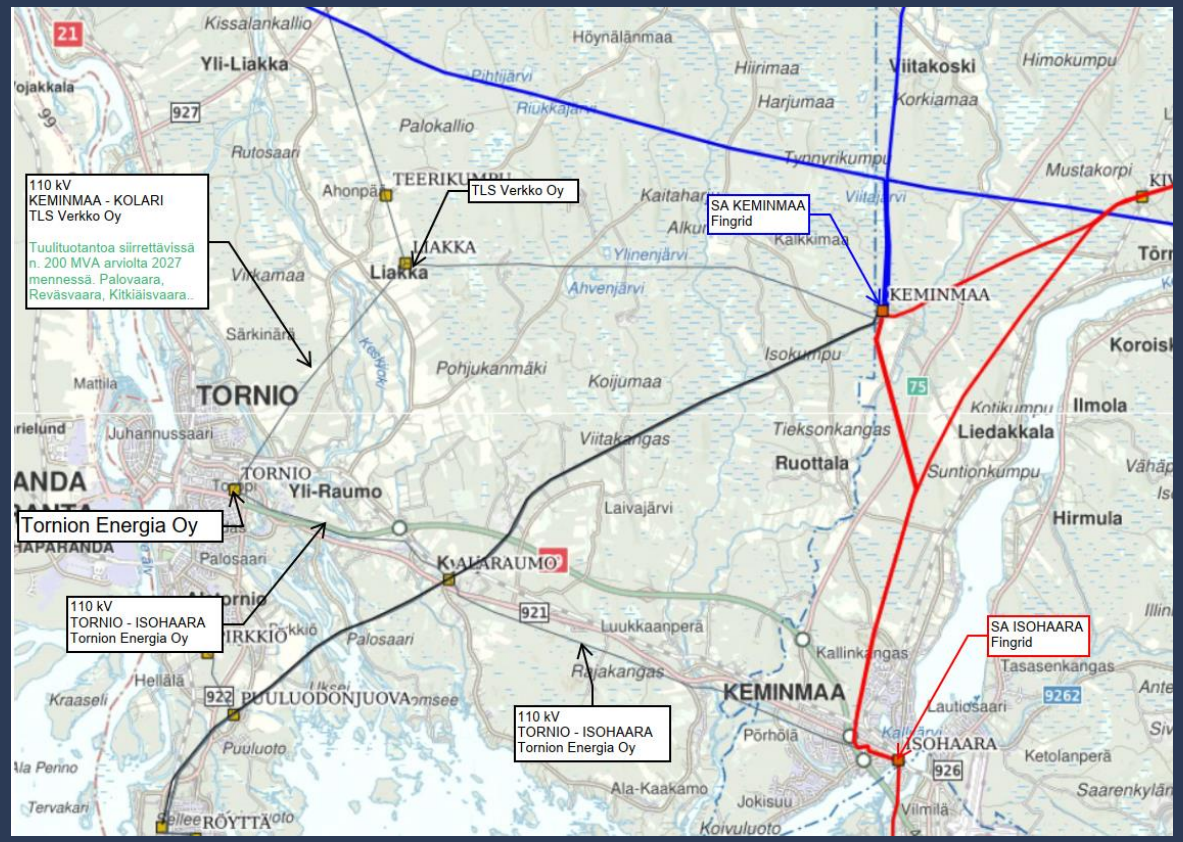


Vihreät: suunnitteilla
Oranssi: investointipäätös
Punainen: rakenteilla

REJLERS

CASE: VEDYNTUOTANTOLAITOKSEN SIJOITTTUMIMEN MERI-LAPIN ALUEELLE

- Torniolaakson alueen sähköverkkoon liitetyn tuulituotannon siirto olisi mahdollista Tornion Energia Oy:n 110 kV verkon kautta Tornion alueen mahdollisille vedyntuotantolaitoksille.
- Tervolan alueelle suunnitteilla n. 100 MVA tuulituotantoa. Mikäli alueen hankkeet toteutuvat sähköverkkoa vahvistetaan, jonka jälkeen alueelle on mahdollista liittää myös isoja kulutuksen liittymiä.



Vihreät: suunnitteilla
Oranssi: investointipäätös
Punainen: rakenteilla

REJLERS

YHTEENVETO

- Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan alueelle on suunnitteilla ennätysmäärä tuulivoimaa. Liityntäkyselyitä ollut noin 20 GW:lla. Tuotannon lähelle sijoitettava kulutus pienentää tehon tarvetta muualta verkosta sekä siirrosta syntyviä häviöitä.
- Pohjoisen sähköntuotannon liittämismahdollisuuksien kehittäminen vaatii siirtokapasiteetin lisäämistä kantaverkossa etelään päin kohti sähkön kulutusta. Tulevat johtoreitit ja sähköasemien paikat riippuvat hankkeiden etenemisestä. Vastaavasti myös suuritehoisen kulutuksen liittäminen vaikuttaa sähköverkon kehittämissuunnitelmiin.
- Tuulituotanto on riippuvainen tuulesta ja sille on ominaista tuotantotehon vaihteleminen. Verkoston mitoituksen kannalta tärkeintä on siirrettävä maksimiteho (tuotannon ja kulutuksen), jonka perusteella tehdään johtimien mitoitus.
- Kulutuksen lisääminen tuotantopainotteiseen verkkoon ei välttämättä lisää verkon vahvistustarvetta.
- Yksittäisen tuotanto- tai kulutuslaitoksen verkkoliityntä ja verkkovaikutukset ovat hyvin tapauskohtaisia ja edellyttävät aina verkostolaskelmia. Laitoksen sijainti, liitettävä teho, olemassa olevan sähköverkon tekniset ominaisuudet, kytkentätilanne sekä verkon kuormitustilanne vaikuttavat verkon suunnitteluun.
- Verkon pullonkaulan muodostuminen on mahdollista, jos siirtokapasiteetti ei verkossa riitä. Nämä ovat aina tapauskohtaisia.
    - Tervolan alueella pienet sähköliittymät ovat mahdollisia tällä hetkellä. Tuulivoiman myötä siirtokapasiteetti lisääntyy oleellisesti.
    - Teollisuusalueilla pitää sopia sähköliittymän omistajan kanssa käytöstä ja tarkistaa kuinka paljon on vapaata kapasiteettia liittymässä on.
- Isotehoisen kulutuksen liittämisestä tulee olla mahdollisimman ajoissa yhteydessä alueen verkonhaltijaan tai kantaverkkoyhtiöön.

VEDYN MAHDOLLISUUDET KEMILLE TEKNOLOGIASELVITYS

KYSYNTÄ- JA HYÖDYNTÄMISKARTOITUKSET
10.6.2022

REJLERS DIGIPOLIS Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus Euroopan unioni Euroopan aluekehitysrahasto Euroopan sosiaalirahasto Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Vedyn ja syntettisten polttoaineiden kysyntäkartoitus | Sivutuotteiden hyödyntämisen kartoitus

MERI-LAPIN VETYÄ HYÖDYNTÄVÄ TEOLLISUUS KYSYNTÄKARTOITUKSET

Vedyn ja synteettisten polttoaineiden sekä niiden sivutuotteiden kysyntäkartoitus suoritettiin analysoimalla alueen teollisuuden prosessit sekä läpikäymällä yritysten toimenkuvat, myös potentiaalisesti tulevaisuudessa vetyä hyödyntävistä yrityksistä. Tästä saatiin lista yrityksistä, joille lähetettiin nettikysely ja tiedote.

Potentiaalisimmat yritykset kontaktoitiin soitoin, sähköpostein tai Teams-palaverein. Kyselyssä selvitettiin yritysten tietoisuutta vetytaloudesta ja erityisesti heidän kiinnostusta vedyn ja synteettisten polttoaineiden sekä niiden sivutuotteiden tuotantoon, varastointiin ja käyttöön. Samalla selvitettiin yritysten kiinnostus osallistua synergiatyöpajoihin.

Työpajoja järjestettiin 2 kpl, joista toinen keskittyi vetyyn ja synteettisten polttoaineisiin sekä niiden tuotannossa syntyviin sivutuotteisiin, ja toinen biokaasun ja vedyn tuotannon synergioihin, mukaan lukien sivutuotteet.

Kontaktointi

- noin 250 yritystä webpropol-kyselyllä
- Noin 70 yritystä soitoin, sähköpostein ja Teams-palaverein
- 45 yritystä kutsuttiin työpajoihin.
  - 1. työpaja: 24 osallistujaa 19 yrityksestä
  - 2. työpaja: 16 osallistujaa 11 yrityksestä

REJLERS

KARTOITUKSESSA TUNNISTETUT SYNERGIAMAHDOLLISUUDET

Tunnistetut mahdollisuudet:

- Vedyn ja synteettisten polttoaineiden tuotanto
- CO_2 talteenotto ja sen hyödyntäminen
- Polttoaineiden varastointi & logistiikka
- Synteettisten polttoaineiden käyttö
- Hukkalämmön hyödyntäminen

Vielä kehitettävä lisää:

- Vedyn käyttö ja logistiikka
- Hiilituotteet ja niiden hyödyntäminen

- Työpajoissa yrityksillä oli kiinnostusta aiheeseen, erityisesti tuotantoon, CO_2 talteenottoon, hukkalämmön hyödyntämiseen sekä varastointi/logistiikkaan. Vedyn käyttö oli selkeästi vieraampi aihe. Synteettiset polttoaineet kiinnostavat, jos niiden hinta on kilpailukykyinen.
- TDC oli menetelmänä uusi, joten hiilituotteet olivat tuntemattomia.

REJLERS

VEDYN JA SYNTEETTISTEN POLTTOAINEIDEN TUOTANTO- JA KULUTUSPOTENTIAALI

Arvio teoreettisestä vedyn ja synteettisten polttoaineiden tuotanto- ja kulutuspotentiaalista sekä hiilidioksidin vähennyspotentiaalista **Lapin alueella**

- Nykyhetken alueellisena maksimi kulutuspotentiaalina sekä mahdollisena tuotantopotentiaalina voidaan pitää sitä polttoainemäärää, jota tuodaan Lapin satamien kautta. Satamatiedot ovat vuodelta 2021.
  - Kemin satamaan tuotiin öljytuotteita 398 000 tonnia. Tämän määrän korvaamiseen tarvitaan 152 000 tonnia vetyä (5085 TWh) (oletuksena bensiini + diesel).
  - Röyttän satamaan Tornioon tuotiin öljytuotteita 139 000 tonnia, jonka korvaamiseen tarvitaan 12 000 tonnia vetyä (400 TWh) (oletuksena nestekaasu).
  - Myös Oulun sataman kautta tuotiin öljytuotteita Lappiin (karkea arvio 180 000 tonnia), jonka korvaamiseen tarvitaan 69 000 tonnia vetyä (2300 TWh) (oletuksena bensiini + diesel). NEOT Group kuljettaa polttoainetta Oulun kautta myös Lapin ABC, Shell ja ST1 asemille ja asiakkaille.
  - Yhteensä tuotu polttoainemäärä tarkoittaisi 720 000 tonnia vetyä vuodessa.
- Näiden lisäksi on vielä merkittävämpi tuotantopotentiaali, jos pystytään viemään vetyä ja synteettisiä polttoaineita Meri-Lapin alueen ulkopuolelle.

[1-3]

REJLERS

VEDYN JA SYNTEETTISTEN POLTTOAINEIDEN TUOTANTO- JA KULUTUSPOTENTIAALI

Arvio vedyn ja synteettisten polttoaineiden tuotanto- ja kulutuspotentiaalista sekä hiilidioksidin vähennyspotentiaalista **Lapin alueella**

- Gasgridin ja Nordion Energin yhteisputkihanke n. 1000 km Pohjois-Suomessa ja –Ruotsissa on valtava varasto- ja vedyn siirtopotentiaali. Asiakaskunnan tavoittaminen Ruotsissa laajemmalla on vielä mielenkiintoisempaa kuin jo aiemmin tunnistetut Pohjois-Ruotsin lähialueet rajan tuntumassa.
    - Vetyputken tavoittaman alueen vedyn kysyntä on arvioitu olevan yli 30 TWh vuoteen 2030 mennessä, noin 65 TWh vuoteen 2050 mennessä. Tämä tarkoittaisi 25 GW uusiutuvan sähköntuotantoa vuoteen 2050 mennessä.
- Meri-Lapin alueen julkistetut suunnitteilla, mutta ei vielä rakenteilla, olevat tuulivoimahankkeet tuottaisivat sähköä n. 2 GW, mikä tarkoittaisi noin 33 t/h vedyn tuotantopotentiaalia elektrolyysereillä (70%:n hyötysuhteella).

https://nordichydrogenroute.com/wp-content/uploads/2022/04/Bothnia_Bay.png

[4, 5]

REJLERS

VEDYN KULUTUSPOTENTIAALI LIIKENNEKÄYTÖSSÄ

Vedyn ja synteettisten polttoaineiden käytön **kokonaispotentiaali liikennekäytössä Lapin alueella**

- Vuonna 2021 **Lapin** alueella liikennesuorite 1 973 miljoonaa kilometriä [Väylävirasto]. Tämän polttoainemäärän korvaamiseksi tarvitaan vetyä:
  - Raskas liikenne (ml. Linja-autot): 209 M km → 10 000 tn H_2 → 320 GWh
  - Muu liikenne: 1 764 M km → 81 000 tn H_2 → 2,7 TWh
- Suomessa ei toistaiseksi ole vedylle latauspisteitä
- Autoalan käyttövoimatiekartta ennustaa vedyn ja synteettisten polttoaineiden teknistaloudellisen potentiaalin realisoituvan Suomessa ennen vuotta 2030.
- Yhä useamman uuden auton ennustetaan käyttävän muuta kuin bensiiniä tai dieseliä (n. 50 % vuonna 2030).
- Vetyautojen ennustetaan yleistymään Suomessa vuodesta 2030 alkaen.
- Alemmassa taulukossa esitetään Lapin maakunnassa vetyautokannan ennuste suhteutettuna vuoden 2021 Lapin autokannan mukaan.
  - Noin 13 MW elektrolyyseritehoa riittäisi koko Lapin autokannalle vuonna 2030. Oletukset:
    - Raskas liikenne: 30 kg vetysäiliöt per auto, 8 kg/100 km kulutus, ja autoja tankataan keskimäärin 1,5 kertaa päivässä
    - Kevyt liikenne: 6 kg vetysäiliöt per auto, 1 kg/100 km kulutus, ja autoja tankataan keskimäärin kerran viikossa
  - Samoilla oletuksella vuoden 2040 tarve olisi noin 400 MW elektrolyysitehoa.

Vetyautokannan ennuste Suomessa	2020	2030	2040
Henkilöautot	0	2300	81 800
Pakettiautot	0	500	12 100
Linja-autot	0	15	300
Kuorma-autot	0	300	4900

Vetyautokannan ennuste Lapissa	2020	2030	2040
Henkilöautot	0	87	3075
Pakettiautot	0	18	433
Linja-autot	0	1	13
Kuorma-autot	0	15	236

[7-9]

REJLERS

HIILIDIOKSIDIN VÄHENNYSPOTENTIAALI

Synteettisen metaanin tuotantopotentiaali yhdyskuntajätteestä on Lapin alueella 42,5 Mm^3.

Lapissa 2020*	Yhdyskunta (biojäte)	Yhdyskunta (sekajäte)
Jätemäärä (tonnia)	6 600	72 500
Biokaasun tuotantopotentiaali (m^3)	2 055 000 – 3 535 000	22 650 000 – 39 000 000
Biokaasun tuotantopotentiaali (GWh)	12,3 – 21,2	135 – 235
Synteettisen metaanin tuotantopotentiaali biokaasun tuotannon yhteydessä (kt/a, MW elektroyyseritehoa) **	0,5 – 1 kt/a 2 – 3,4 MW	6,2 – 10,6 kt/a 22 – 38 MW

* Arvio Suomen kokonaistilastosta
** Oletettu että 40 % biokaasusta on CO_2

Julkistettuja paikallisia biokaasuhankkeita:

- Tornion Energia, Tornio: yhdyskuntajätteistä biokaasua
- Jurvan maatila, Tervola: maatilan oma biokaasulaitos, oma käyttö
- Metsä Group, Kemi: kuoren kaasutuslaitos

CO_2 hyödyntämispotentiaali nykytilanteessa:

Teollisuus: n. 5,7 Mt/a.

- Metanolin 4,2 Mt/a tai metaanin 2,1 Mt/a teoreettinen tuotantopotentiaali (5,7 tai 7,3 GW elektrolyyseritehoa).

Maatalous: n. 31 kt/a.

- Metanolin 6,9 kt/a tai metaanin 10,4 kt/a teoreettinen tuotantopotentiaali (vastaavasti 9,2 tai 36,8 MW elektrolyyseritehoa).

Yhdyskuntajätteestä tehdyn biokaasun CO_2 sivuvirrat: n. 32 kt/a.

- Metanolin 7,7 kt/a tai metaanin 11,6 kt/a teoreettinen tuotantopotentiaali (vastaavasti 10 tai 41 MW elektrolyyseritehoa).

Yhteensä vähennys/hyödyntämispotentiaali: n. 5,8 Mt/a

Hiilineutraalisuuteen (kaiken hiilioksidin talteenottoon) käytännössä tarvitaan myös muita ratkaisuja, kuten CCS, koska CO_2 päästöt eivät ole keskittyneet yhdelle alueelle.

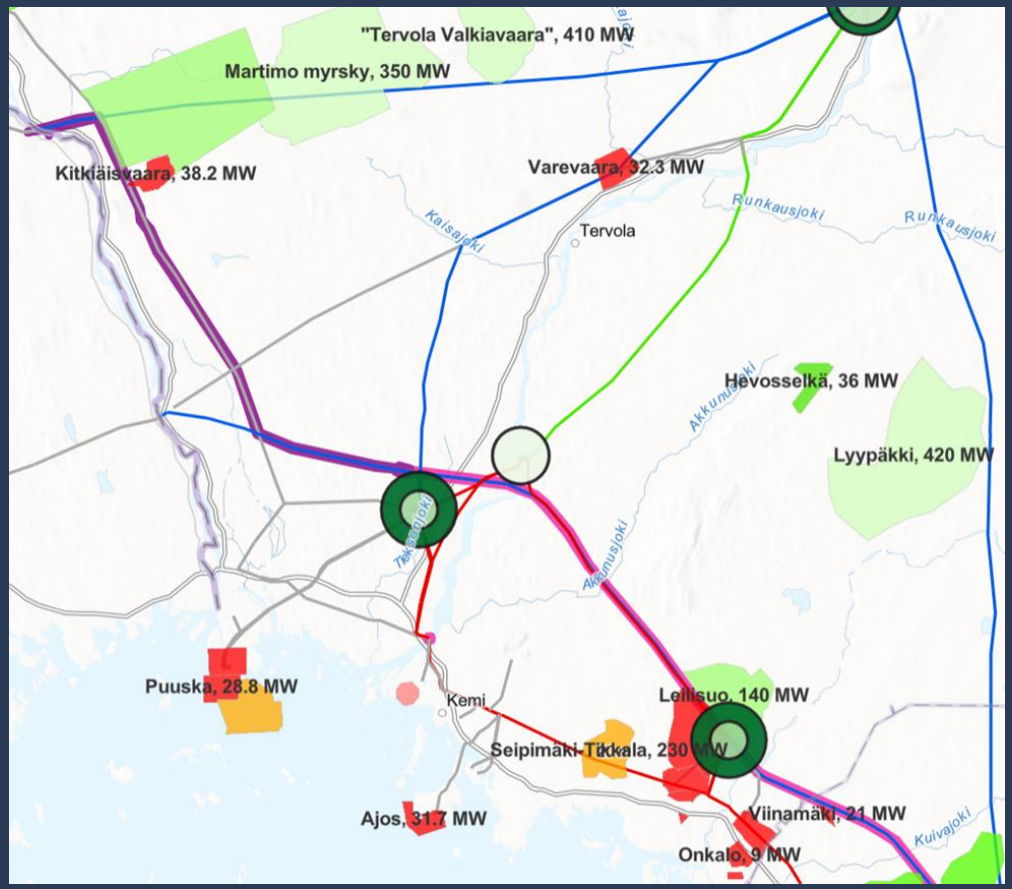
[10,11, 12]

REJLERS

LÄHTÖAINEIDEN SAANTI ALUEELLA

Vedyn ja synteettisten polttoaineiden valmistuksessa tarvittavien lähtöaineiden saanti alueella

- Vesi
  - Veden riittävyys ja veden käytön vaikutukset pohjaveden riittävyyteen, vesistöihin, meriin ja niiden ekosysteemeille sekä koko alueen yhteiskunnalle on tarkasteltava viimeistään isojen hankkeiden YVA-selvityksessä. Mahdolliset veden saannin lähteet:
    - Meri (desalinaation avulla), joet, pohjavesi, muut vesistöt
    - Kunnallinen vesi
  - 2 GW:n elektrolyysilaitos kuluttaisi vettä elektrolyysissä noin 320 t/h (vrt. Kemijoen virtaama on 2 000 000 t/h).
- Sähkö
  - Uusia tuulivoimahankkeita on alueella paljon (noin 2 GW).
- CO_2
  - Meri-Lapin alueen teollisuuden olemassa oleva CO_2 hyödyntämispotentiaali n. 5,7 Mt/a.
  - Biokaasun sivuvirran (CO_2) hyödyntämispotentiaali riippuu tulevasta biokaasun tuotannosta.
- Biokaasu / metaani
  - Biokaasun tuotantopotentiaali yhdyskuntajätteestä on 42,5 Mm^3. Biokaasun CO_2 osuudesta voidaan tuottaa lisää metaania 11 600 tonnia.
  - Maakaasun / LNG:n tuonti Röytän sataman kautta 139 000 tonnia.
- Typpi
  - Ammoniakin valmistukseen tarvitaan typen talteenotto ilmasta.



https://fingrid.maps.arcgis.com/apps/instant/slider/index.html?appid=f0b1e059d8a04f34aeb82b084b5106f2, Tiedot päivitetty 24.2.2022, hankkeet vuonna 2027

REJLERS

SIVUTUOTTEIDEN HYÖDYNTÄMISPOTENTIAALI

- Meri-Lapin alueen julkistetut suunnitteilla olevat tuulivoimahankkeet tuottaisivat:
  - Hukkalämpöä
    - 2 GW elektrolyysilaitos tuottaa n. 600 MW hukkalämpöä.
    - Elektrolyysilaitteiston tuottama hukkalämpö on matala-asteista (40-70 °C)
      - Vaatii lämpötilan nostamista n. 80-90 °C:en, jos hyödynnetään kaukolämmössä (esimerkiksi lämpöpumpuin)
  - Happea
    - 2 GW elektrolyysilaitos tuottaa puhdasta happea n. 282 t/h
    - Ellei hapelle ole kuluttajaa vetylaitoksen läheisyydessä, sen talteenotto ja myynti kannattaa keskustella teollisten kaasujen toimijoiden kanssa, jos heillä tarvetta alueella lisätuotannolle.
- Puhtaan hiilen tuotantopotentiaali kulkee kulutuspotentiaalin mukana, jonka suuruutta Suomessa on vaikea arvioida. Oletuksena on, että Eurooppa ja Pohjois-Amerikka ovat markkinakohteita.
    - Metaanin hajotusprosessissa teoriassa 1 kilosta metaania saa n. 750 g erilaisia hiilirakenteita ja n. 250 g vetykaasua. Haasteena on energiansiirron epätasaisuus ja lopputuotteiden laadun vaihtelut.

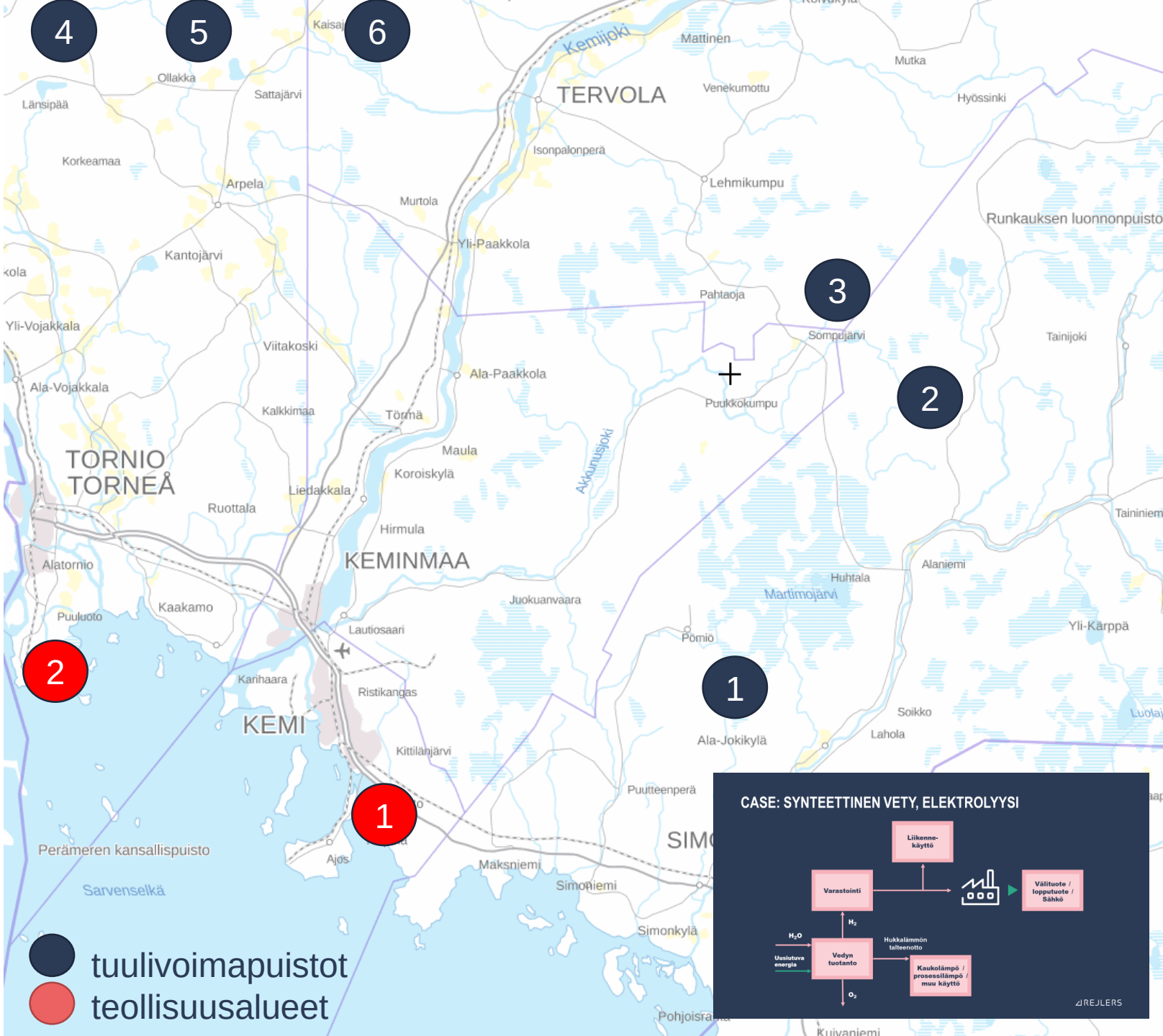
- Hukkalämmön hyödyntäminen parantaa vetylaitoksen kannattavuutta ja siksi sille kannattaa etsiä käyttökohteita. Kaukolämpö on yksi vaihtoehto, mutta verkkojen kapasiteetti ja lämmön kysyntävaihtelu (kesä-talvi) tulee huomioida suunnittelussa esimerkiksi lämpöakuin.
- TDM (Thermo-catalytic decomposition of methane) -menetelmällä tuotetut eri hiilen muodot luovat mielenkiintoisen mahdollisuuden laitoksen kannattavuudelle. Koska kyseessä on uutta ja vielä skaalaamista vaativaa teknologiaa, tämän hetken hyödyntämispotentiaali on pieni, lähinnä teollisen mittakaavan pilotti biokaasulaitoksen yhteyteen.

REJLERS

Potentiaalisia sijoituspaikkoja

CASE 1: VETYLAITOKSET

- Vedyn tuotannon optimaalinen sijainti riippuu useammasta asiasta:
  - Laitoksen toimintaperiaate ja tuotantomäärät
  - Sähkön saatavuus
  - Teollisuusalueet, joissa tarvittava infra
  - Hukkalämmön hyödyntämismahdollisuudet
  - Kuluttajan / siirtolinjan läheisyys
  - Mahdollisen vetyputken läheisyys
- Näiden näkökohtien perusteella noin 50-200 MW:n laitoksille sijaintipaikoiksi nousi:
  - Veitsiluodon tehdasalue
  - Tuulivoimapuistot / niiden läheisyys



Potentiaalisia sijoituspaikkoja

CASE 2: SYNTEETTISET POLTTOAINEET (METAANI, METANOLI, AMMONIAKKI)

- Metaanin tai metanolin tuotannon optimaalisimmat sijainnit ovat lähellä CO_2-lähdettä. Tässä nostettu esille julkisista lähteistä peräisin olevia CO_2-lähteitä, mukaan lukien biokaasun tuotanto.
- Ammoniakin valmistukseen optimaalisimmiksi kohteiksi nähtiin satamien ja rautatien läheisyydessä olevat teollisuusalueet.
- Jos vety valmistetaan samalla alueella, case 1:n suositukset tulee huomioida näiden lisäksi.

VIITTEET

[1] https://vayla.fi/vaylista/aineistot/tilastot/tietilastot/maanteiden-liikennesuoritteet
[2] https://www.stat.fi/til/uvliik/index.html
[3] https://www.stat.fi/til/kvliik/index.html
[4] Gasgridin tiedote 22.4.2022

[5] Fingrid, https://fingrid.maps.arcgis.com/apps/instant/slider/index.html?appid=f0b1e059d8a04f34aeb82b084b5106f2

[6] https://vayla.fi/vaylista/aineistot/tilastot/tietilastot/maanteiden-liikennesuoritteet

[7] https://www.aut.fi/files/2356/Kayttovoimatiekartta_raportti_1502_2021.pdf

[8] https://www.tilastokeskus.fi/til/mkan/2021/mkan_2021_2022-03-01_tau_001_fi.html

[9] https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2020_06_TE_comparison_hydrogen_battery_electric_trucks_methodology.pdf

[10] https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/76865/Raportteja_42_2012.pdf?sequence=4&isAllowed=y

[11] https://www.stat.fi/til/jate/2020/13/jate_2020_13_2021-12-09_tau_001_fi.html

[12] https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/yymp_kahup_1990-2019_2020.pdf

REJLERS

KESTÄVÄÄ TULEVAISUUTTA LUOMASSA

REJLERS DIGIPOLIS