Vedyn mahdollisuudet Kemille-hankkeen logistiikkaselvitys - loppuraportti

AFRY Finland Oy

DIGIPOLIS

Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
Närings-, trafik- och miljöcentralen

29.6.2022

AFRY
ÅF PÖYRY

Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Sisältö:

1. Johdanto

2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat

3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti

   3.1 Varastointi

   3.2 Kuljetus

   3.3 Siirto

4. Vedyn toimitusketjut

5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä

6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella

7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella

8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella

9. Vedyn logistiikkakustannukset

10. Yhteenveto ja johtopäätökset

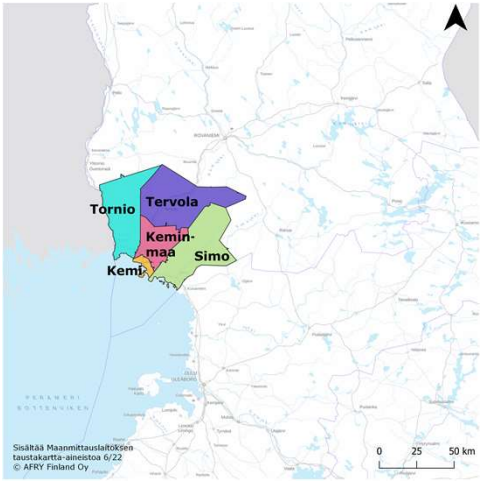
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Johdanto

Tämä on Kemin Digipolikselle tehtävä selvitys, joka koostuu tietopaketista liittyen vedyn varastointiin, kuljetukseen ja siirtoon sekä näiden aihe-alueiden tarkastelusta Meri-Lapin näkökulmasta. Tietopaketti on rajattu käsittelemään vaihtoehtoja, jotka ovat alueellisesti mahdollisia. Tästä syystä esimerkiksi suolakaivosvarastointi on rajattu tarkastelusta pois. Lisäksi tarkastelussa on painotettu vaihtoehtoihin, jotka soveltuvat teollisuusmittakaavaan. Alueelliseen tarkasteluun on otettu mukaan asiakkaan valitsemat teollisuusalueet Meri-Lapin alueelta. Selvitys pohjautuu AFRYn asiantuntemukseen, yleisesti saatavilla olevaan tietoon sekä haastatteluihin, jotka on toteutettu asiakkaan valitsemiin yrityksiin.

Selvitys on yksi osa Kemin Digipoliksella meneillä olevaa Vedyn mahdollisuudet Kemille-hanketta. Joulukuussa 2021 alkaneella hankkeella halutaan varmistaa, että Meri-Lapin talousalue ja erityisesti pk-yrityskenttä pääsevät ajoissa hyödyntämään vetytaloutta. Hanke on saanut rahoituksen Ely-keskuksen toimintaympäristö kehittämisavustuksesta/Euroopan aluekehitysrahastosta.



DIGIPOLIS

Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
Närings-, trafik- och miljöcentralen

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

AFRY

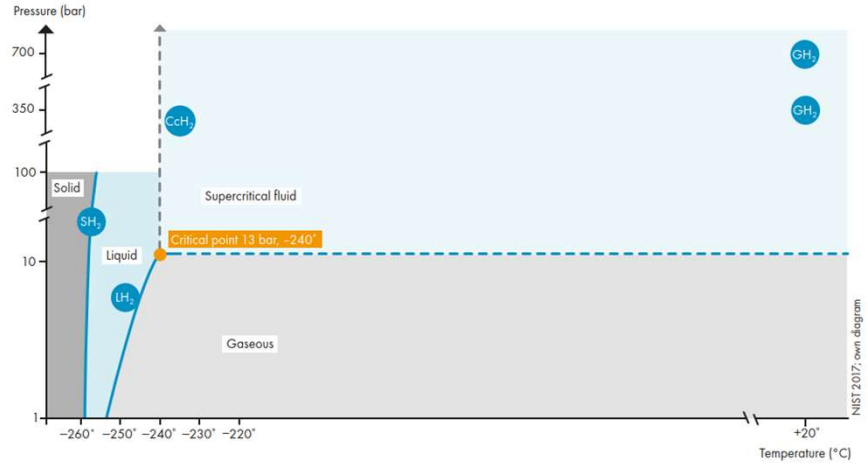
Sisältö:

1. Johdanto
2. **Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat**
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn aineominaisuudet

VETY -FAASIDIAGRAMMI



Adolf, J. et Al. Shell Hydrogen Study – Energy of the Future? Sustainable mobility through fuel cells and H2. Shell Deutschland Oil. 2017.

YLEISTÄ VEDYSTÄ

- Vety on kevyin alkuaine
- Väritön, hajuton ja myrkytön kaasu vakio-olosuhteissa
- Vedyn tiheys NTP olosuhteissa (0,083 kg/m^3)
- Vedyn lämpöarvo on korkea (n. 119 MJ/kg)
- Alempi (LEL 4 %) ja ylempi (UEL 77 %) syttysmisraja
- Vetykaasu muodostaa tyypillisesti päästölähteen osoittamaan suuntaan suihkumaisen päästön
  - Kun suihkun liikemäärä on vähentynyt, vetypilvi alkaa liikkua pystysuuntaisemmin
- Vedyn itsesyttymislämpötila on 560°C
- Faasidiagrammi
  - Kriittinen piste (P = 13 bara, T = -240°C)
  - Kolmoispiste (P = 0.07 bara, T = -259°C)
  - Vety on nestemäistä kolmoispisteen ja kriittisen pisteen välisissä olosuhteissa
- Faasinmuutoksessa nesteestä kaasuksi vedyn tilavuus kasvaa 847 kertaiseksi
  - Vakiotilavuudessa tämä faasinmuutos vastaa 177 MPa:n painetta

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn käyttöturvallisuustiedote

LAUSEKKEET

- **H220**
  - **Erittäin helposti syttyvä kaasu.**

  Paineenalainen kaasu:
- H280
  - Sisältää paineen alaista kaasua; voi räjähtää kuumennettaessa.
- P210
  - Suojaa lämmöltä, kuumilta pinnoilta, kipinöiltä, avotulelta ja muilta sytytyslähteiltä. Tupakointi kielletty.
- P337
  - Vuotavasta kaasusta johtuva palo: Ei saa sammuttaa, jollei vuotoa voida pysäyttää turvallisesti.
- P381
  - Poista kaikki sytytyslähteet, jos sen voi tehdä turvallisesti.
- P403
  - Varastoi paikassa, jossa on hyvä ilmanvaihto.

KULJETUSMÄÄRÄYKSIÄ

- Säiliöiden merkinnät on tehtävä kuljetusmääräyksissä annettujen yksityiskohtaisten ohjeiden mukaisesti
- Merkintä: UN 1966 tai UN 1049
- Varoituslipuke: 2.1

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Merkinnät ja tilaluokittelu

VETYSOVELLUSTEN TILALUOKITTELU

- Lämpötilaluokka: T1
  - Laitteen maksimipintalämpötilaa, johon lämpö voi nousta (T1 = 450°C)
- Räjähdysryhmä: IIC
  - IIC = vaarallisimmat kaasut kuten vety
- Vety muodostaa ilman kanssa räjähdyskelpoisen seoksen, kun sen pitoisuus on 4 % ja 77 % välillä. Kaasuseoksien tapauksessa laiteryhmän tulisi olla IIC tai IIB+ H2, kun kaasuseoksesta 30 % tai enemmän on tilavuudeltaan vetyä, ellei jotain muuta tarkempaa tietoa ole saatavilla
- Vedyn itsesyttymislämpötila on 560 °C. Vaikka vedyn ja ilman seoksen syttymiseen vaaditaan hyvin korkea lämpötila, on varmistuttava siitä, ettei vetypäästöjä päädy kuumille pinnoille
- Vety on ilmaa kevyempi kaasu, joka hajaantuu nopeasti ja joka pyrkii nousemaan ylöspäin
- Vety syttyy helposti päästökohdassa, ja syttyminen/palaminen on yleensä odotettavissa
- Tilaluokittelu
  - Laitteistojen sisäpuolisena luokituksena voidaan käyttää tilaluokkaa 1, mikäli laitteiston sisällä ei esiinny jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein räjähdyskelpoista seosta. Muussa tapauksessa laitteen sisäpuolen tilaluokka on 0
  - Normaalisti venttiilien, avattavien putkiliitosten ja laippojen ympärillä voidaan käyttää tilaluokkaa 2
  - Prosessilaitteistot, joissa kemikaalimäärät ovat suuria ja paineet korkeita, vaativat laajemman tilaluokitellun alueen ympärilleen kuin laitteistot, joissa määrät ovat pieniä ja paineet matalia
  - Tilaluokiteltavan alueen varmistamiseksi suositellaan erilaisia laskentamenetelmiä ja mallintamisohjelmia. Tilaluokiteltu alue on riippuvainen kohteen sijainnista sekä operointiarvoista kuten paine

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Turvallisuusnäkökulmat vetyjärjestelmissä –ISO/TR 15916:2015

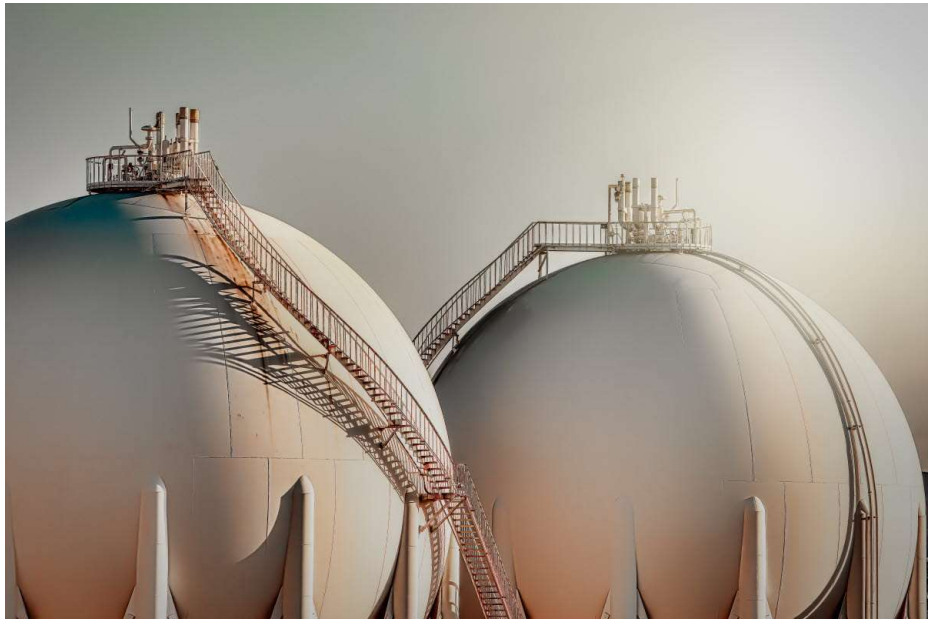
VEDYN ENSISIJAISET VAARAT JA RISKIT:

- **Helposti syttyvä kaasu**:
  - Vetypalon tai –räjähdyksen lämpötilavaikutus ihmisiin ja ympäristöön
    - Liekin lämpötila yli 2000°C
  - Räjähdystyyppisen vetypalon painevaikutus monikymmenkertainen alkupaineeseen nähden
    - Räjähdysaalto liikkuu ääntä nopeammin, mikä tulee huomioida paineenalennusjärjestelmissä
  - Vetyseosten herkkä syttyvyys (min. syttymisenergia alhainen 0,017 mJ)
    - Vety-ilmaseoksen voi sytyttää esimerkiksi liekki, kipinä, sulakkeellinen johto, kuumat pinnat, lämmitys, nopea adiabaattinen puristus tai shokkiaalto
- **Vetymolekyylin pieni koko:**
  - Vedyn alhainen viskositeetti johtaa nopeaan virtausnopeuteen vuototapauksissa
  - Korkea diffuusinopeus ja läpäisy ympäristöön
  - Korkea noste voi johtaa kaasutaskuihin rakennuksen sisällä
- **Vedyn vuorovaikutus materiaalien kanssa (materiaalien haurastuminen)**
- **Tukehtumisvaara, jos vety syrjäyttää hapen**
- **Varastointiin liittyvät vaarat:**
  - Kaasun kohonnut varastointipaine voi hajoittaa säiliön
  - Nesteytetyn vedyn alhainen lämpötila voi aiheuttaa paleltumia

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vaarojen ja riskien seurausten minimointi

- Vetyjärjestelmän suunnittelulla ja operoinnilla pyritään minimoimaan onnettomuuden mahdollisuus muun muassa seuraavilla keinoilla ISO/TR 15916:2015 mukaisesti:
  - Minimoidaan vedyn määrä varastossa ja putkilinjoissa silloin kun se on mahdollista
  - Erotetaan vety hapettimista, vaaraa aiheuttavista materiaaleista ja laitteista
  - Tunnistetaan ja poistetaan mahdolliset sytytyslähteet
  - Erotetaan henkilöstö ja työskentelytilat vetyjärjestelmien vikaantumisen vaikutusalueelta
  - Sijoitetaan vetyjärjestelmät ja niiden tuuletusaukot muuta toimintaa ylemmälle tasolle, sillä vety on ilmaa kevyempi kaasu
  - Minimoidaan henkilöstön määrä vetyjärjestelmien läheisyydessä, parityöskentely kuitenkin suositeltavaa
  - Käytetään vety- ja paloilmaisia sekä tarvittavia henkilösuojaimia



 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. **Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti**
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn varastointi - ratkaisut

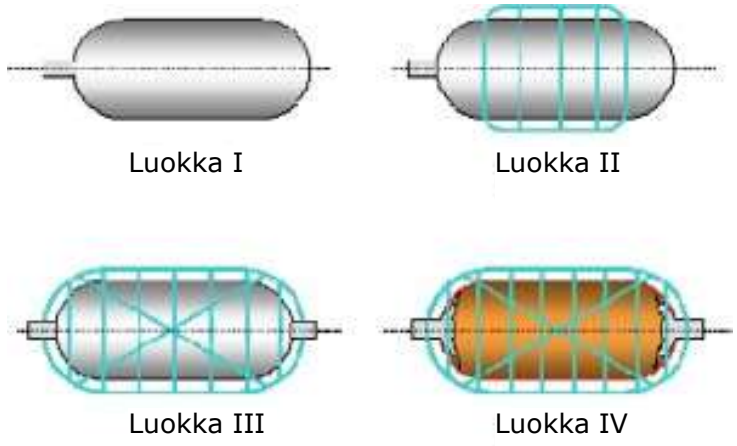
- Vedyn varastointiratkaisut perustuvat vedyn tiheyden kasvattamiseen jollakin seuraavista menetelmistä:
  - Vedyn paineistus
  - Lämpötilan lasku kriittisen lämpötilan alle
  - Vetymolekyylien välisen hylkimisen vähentäminen materiaalien avulla
- Fyysiset vedyn varastointiratkaisut, jotka ovat käytössä kaupallisesti tällä hetkellä:
  1. Painekaasu
  2. Kryogeeninen neste
  3. Kryogeeninen paineistettu hybridivarasto
- Materiaaleihin perustuvia varastoja kehitysvaiheessa, mutta nämä eivät ole tällä hetkellä kaupallisesti käytössä
- Vedyn varastointi ammoniakkina tai metanolina:
  - Metanolin etuna kuljetus vakiopaineessa- ja lämpötilassa
  - Ammoniakki on hiilivapaa vedynkantaja ja sen varasto- ja kuljetusinfrastruktuuri on kehittynyttä
  - Tarvitaan erillinen käsittely-yksikkö, jotta vety voidaan vapauttaa käyttöön muista yhdisteistä

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

AFRY ÅF PÖYRY

1. Painekaasu

- Kompressoitu vetykaasu
  - Vakiintunein vedyn varastointiratkaisu
  - Vetysäiliön paine > vedyn kriittinen paine (> 13.1 bar)
- Tyypillisiä varastointipaineita:
  - Paikalliset varastot 350 bar
  - Liikennesovellukset (tankkausasemat, tankkausaika 3-5 min) 700 bar
  - Vedyn varastoinnin säiliöluokitus paineistetulle vetykaasulle:
    - Luokka I
      - Metallinen säiliö, tyypillisesti terästä (200 bar) tai alumiinia (175 bar)
      - Painava
    - Luokka II
      - Metallinen säiliö komposiittivanteilla
      - Alumiini / lasikuitu (260 bar)
      - Alumiini / hiilikuitu (299 bar)
    - Luokka III
      - Komposiittisäiliö metallivuorauksella
      - Hiilikuitu / alumiini (jopa 700 bar)
    - Luokka IV
      - Komposiittisäiliö muovivuorauksella
      - Kevein ja kallein ratkaisu
      - Jopa 1000 bar



Langmi, Henrietta W et al. "Chapter 13 - Hydrogen Storage." *Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications*. Elsevier B.V, 2022. 455–486. Web.

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

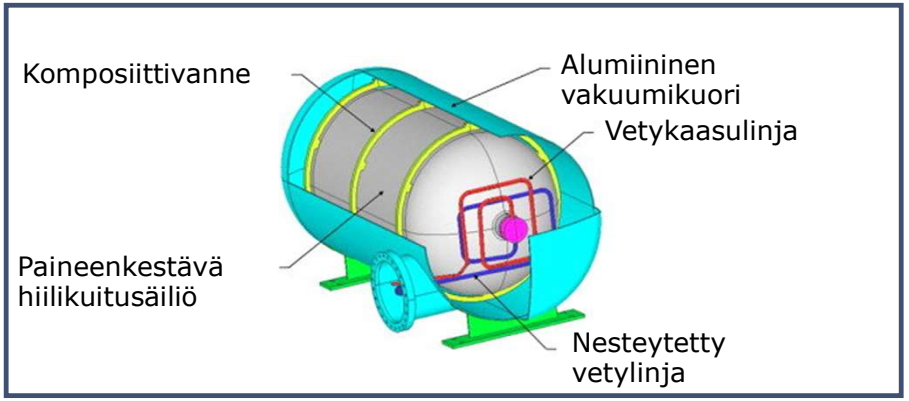
2. Kryogeeninen- ja 3. Hydridivarasto

KRYOGEENINEN VARASTO

- Vety jäähdytetään lähelle normaalia kiehumispistettä (-253°C) tyypillisesti ilmanpaineessa
- Vedyn tiheys kryogeenisenä nesteenä on 70,78 kg/m^3 eli suhteellinen tiheys on 0,071 (veden suhteellinen tiheys on 1)
- Kryogeeniset varastot sopivat laajamittaiseen vedyn varastointiin
- Höyrystyminen ja riittämätön tila laajentumiselle voi johtaa ylipaineeseen nestevedyn järjestelmässä
  - Tällöin vety pääsee kulkeutumaan systeemin ei-toivottuihin osiin
- Jos vetyä ei uudelleen nesteytetä, noin 1% vedystä menetetään päivässä
  - Suuren säiliön vetyhäviö vain 0,03% per päivä
- Vedyn nesteytys on energiaintensiivistä
  - Nesteytys kuluttaa 30-40% vedyn lämpöarvosta
- Kryogeeninen säiliö on lämpöeristetty (kuva oikealla)
  - Yleensä termospullon kaltainen kaksoisseinärakenne
  - Seinien välissä on lämmöneristävä tyhjiö

HYBRIDIVARASTO

- Vedyn varastointi alle -55°C paineistetussa säiliössä (250-350 bar)
- Vedyn olomuoto on superkriittinen neste
  - Kriittisen pisteen yläpuolella
- Ei erillisiä kaasu- ja nestefaaseja
- Hybridivarastolla vähennetään painekaasuun ja nesteytettyyn kaasuvarastoon liittyviä riskejä kuten korkea paine ja kiehumishäviöt
- Hybridivarasto soveltuu erityisesti liikennekäyttöön



Langmi, Henrietta W et al. "Chapter 13 - Hydrogen Storage." *Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications*. Elsevier B.V, 2022. 455–486. Web.

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn fyysinen varastointi - yhteenveto

Painekaasu H_2 (350-700 barg)	**Kryogeeninen neste H2**	**Hybridivarasto H_2**
+ Kehittynyt teknologia + Alhaisin CAPEX + Vähiten energiaintensiivinen varastointimenetelmä - Alhaisin volumetrinen enrgiatiheys, joten suurin varastointitilavuuden tarve	+ Kaupallisesti saatavilla + Soveltuu hyvin erittäin puhtaalle vedylle - Korkea energiantarve - Korkein CAPEX, sillä tarvitaan nesteytyslaitos	+ Korkein volumetrinen enrgiatiheys + Paine- ja lämpötilaolosuhteet helpommin saavutettavissa - Laajamittainen teollinen käyttö vielä kehitysvaiheessa - Korkea energiantarve
Kehittynein teknologia ja edullinen vaihtoehto Vaatii eniten tilaa	Kaupallisesti saatavilla oleva teknologia on kallis verrattuna painekaasuun	Vielä kehitysvaiheessa Tarvitaan sekä paineistus että jäähdytys

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

AFRY ÅF PÖYRY

Vety – varastoitavien aineiden ominaisuuksien vertailu

Varastoitava aine	Olosuhde	Paine (bar)	Lämpötila (°C)	Tiheys (kg/m³)	LEL ja UEL rajat	Vetypitoisuus (m-%)	Menetelmä jolla saadaan vety käyttöön
Vety (kaasu)	Paineistettu	690	25	39	4-75,6	100	Paineen päästö
Vety (neste)	Nesteytetty	1	-252,9	70.8	4-75,6	100	Höyrystyminen
Metanoli	NTP-olosuhteet	1	25	792	5,5-36,5	12,5	Katalyyttinen prosessi T > 200°C
Ammoniakki (neste)	Nesteytetty	10	25	600	16-25	17,8	Katalyyttinen prosessi T > 400°C
Metaani (maakaasu)	Nesteytetty	1	-162	430	4,4-17	25	Reformointi > 700°C

LEL ja UEL: OVA-ohjeet

Aziz, Muhammad, Agung Tri Wijayanta, and Asep Bayu Dani Nandiyanto. "Ammonia as Effective Hydrogen Storage: A Review on Production, Storage and Utilization." *Energies (Basel)* 13.12 (2020): 3062–. Web.

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

AFRY ÅF PÖYRY

Vety ja yhteensopivat materiaalit

Materiaali	Vety		Huomiot
	Kaasu	Neste	
Alumiini ja alumiiniseokset	Kyllä	Kyllä	
Austeniittinen ruostumaton teräs (> 7 % nikkeli (kuten 304, 304L, 308, 316, 321, 347)	Kyllä	Kyllä	Martensiittinen konversio matalissa lämpötiloissa, jos rasitus ylittää myötörajan
Hiiliteräs	Kyllä	Ei	Liian hauras nestevetysovelluksiin
Kupari ja kupariseokset (kuten messinki, pronssi ja kupari-nikkeli seokset)	Kyllä	Kyllä	
Harmaa-, pallografiiti- tai tavallinen valurauta	Ei	Ei	Ei sallittu vetysovelluksissa
Niukkaseosteinen teräs	Kyllä	Ei	Liian hauras nestevetysovelluksiin
Nikkeli tai nikkeliseokset (kuten Inconel tai Monel)	Ei	Kyllä	Herkkyys vetyhaurastumiselle
Nikkeliteräs (kuten 2.25 %, 3.5 %, 5 % ja 9 % Ni)	Ei	Ei	Sitkeyden menetys
Titaani ja titaaniseokset	Kyllä	Kyllä	

ASME B31.12: 2014, https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121_04%20H2TransportationPipelines.pdf

- Materiaalivalinnoissa seuraavat standardit:
  - SFS 3278 Kuljetettavat kaasusäiliöt. Vedyn, metaanin ja eteenin varastointi ja käyttö
  - ISO-TR 15916:2015 Basic considerations for the safety of hydrogen systems
  - ISO 11119 Gas cylinders — Refillable composite gas cylinders and tubes — Design, construction and testing
- Vetykaasupullon vuorausmateriaaleina voidaan käyttää muun muassa polyamidia (PA), polyetyleeniä (PE) tai polyeteenitereftalaattia (PET)
- Komposiittirakenteissa käytössä yleisimmin hiilikuitu, aramidikuitu (kuten Kevlar) ja lasikuitu
- Vetyhauraustuminen tyypillistä materiaaleille:
  - Teräs, ruostumaton teräs ja nikkeliseokset
- Teräksen lujuuksille on seuraavat ohjearvot:
  - Teräksen maksimilujuus alle 22 HRC (Hardness Rockwell C) tai 250 HB (Hardness Brinell).
  - Hitsisaumojen maksimilujuus vastaavasti 22 HRC tai 250 HB
- Hitsisaumat tyypillisesti hauraampia kuin muut putkiston osat

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn varastointi - suojaetäisyydet

- Vety säilytetään tyypillisesti ulkotiloissa
- SFS 3350 Palavien kemikaalien tuotantolaitos ja SFS 3278 Kuljetettavat kaasusäiliöt. Vedyn, metaanin ja eteenin varastointi ja käyttö
- Tapauskohtainen vetyjärjestelmän onnettomuustilanteiden mallintaminen on tarpeellista turvaetäisyyksien selvittämiseksi
  - Lämpösäteily- ja painevaikutuslaskelmat
- Vetytalouden mahdollistava lainsäädäntö on jäljessä verratuna esimerkiksi maakaasuun
  - Tukes-ohjeen 7/2015 *Maakaasun käsittelyn turvallisuus* tavoitteena on yhtenäistää ja selkeyttää maakaasuasetuksen (551/2009) mukaista käytäntöjä, vastaavaa ei ole saatavilla vedylle
- Sisätiloissa on huomioitava paloturvallisuus ja ilmanvaihto
- OSHAn (Occupational Safety and Health Administration, USA) ohjeen mukaisesti (taulukko alla) vetyä voidaan varastoida sisätiloissa vain alle 85 m^3 tilavuus
  - Yli 425 m^3 tilavuuksia on sallittua varastoida vain ulkotiloissa tai omassa rakennuksessa

Vetyvaraston sijainti	**Alle 85 m^3**	**85 m^3 – 425 m3**	**Yli 425 m^3**
Ulkona	I	I	I
Oma rakennus	II	II	II
Oma erikoishuone	III	III	Ei sallittu
Sisällä	IV	Ei sallittu	Ei sallittu

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn kuljetus- ja jakelumenetelmät

VEDYN SIIRTO ERI KULJETUSMENETELMIN

- Jakelumetodi valitaan vedyn kuljetuskulujen, kuljetusetäisyyksien ja vedyn kysynnnän mukaan
- **Alhainen kysyntä:**
  - **Painekaasu** (alkaen 180 bar)
  - Kaasupullot- tai putkiperävaunu (tyypillinen 400 kg, 200 bar)
  - Kuljetus kuorma-autoilla tyypillisesti enintään 500 km
- **Pitkä välimatka ja kohtuullinen kysyntä:**
  - **Nesteytetty vety** (tyyppillisesti 1-4 bar)
  - Tankkien kapasiteetti noin 3500 kg eli 50 m^3
  - Kuljetusetäisyys kuorma-autolla jopa 1500 km
  - Laivakuljetus mahdollista pitkillä etäisyyksillä
- **Jatkuvaa suurta kysyntää ja/tai pitkä välimatka:**
  - **Vetyputkistot**

	Jakelu	Siirto	
Vedyn olomuoto	0-100 km	101-500 km	> 1000 km
Kaasumainen vety	Kuorma-auto Jakeluverkko	Kuorma-auto Siirtoverkko	Siirtoverkko
Nestemäinen vety	Kuorma-auto	Kuorma-auto	Laiva

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn kuljetus painekaasuna

- Vetyä kuljetetaan painekaasuna pienissä säiliöissä tai kaasupulloissa
  - Kuvassa A kaasusäiliön tyypillinen kaksikerroksinen rakenne

- Suurempia vetymääriä kuljetetaan tyypillisesti painekaasuna putkiperävaunuissa (tube trailer), Kuva B
  - Putkiperävaunun tyypillinen vedyn kuljetusmäärä on 400 kg

A) Vetysäiliön läpileikkaus
Gondal, I.A. "12 - Hydrogen Transportation by Pipelines." *Compendium of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 2016. 301–322. Web.

B) Putkiperävaunu
https://fuelcellsworks.com/news/hygear-expands-its-hydrogen-trailer-fleet-in-europe/

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn kuljetus nesteytettynä

- Vety jäähdytetään lähelle normaalia kiehumispistettä (-253°C) tyypillisesti lähellä ilmanpainetta (kryogeeninen neste)
- Nesteytetyn vedyn kuljetus tapahtuu tyypillisesti kuvan mukaisissa trailereissa
  - Kuvan trailerin vedynsiirtokapasiteetti on 68 000 litraa eli noin 4450 kg, joka on tämän hetkinen nesteytetyn vedyn trailerin maksimikoko
  - Tyypillisesti trailereihin mahtuu 30 000 – 50 000 litraa vetyä
- Kuvan trailerin työpaine on 10,7 bar
  - Päiväkohtainen vetyhäviö trailerikuljetuksessa alle 0,8 %

https://www.cryoindsolutions.com/hydrogen

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vetyputkisto - vaatimukset

- Vetyputkisto voi olla maanalainen tai maanpäällinen
  - Vetyä on kuljetettu putkistoissa vuodesta 1938 eli teknologia on kehittynyt
  - Siirto vetyputkistoa pitkin ei aina kuitenkaan ole käytännöllistä
- Vedynsiirtoputkisto jakautuu kantaverkkoon ja jakeluverkkoon
- Olemassa olevat vetyputkistot on tyypillisesti valmistettu tavallisesta teräksestä operointipaineen ollessa 1-2 Mpa
- Vaihtoehtoisesti vetyputkistoissa voidaan käyttää komposiittimateriaaleja kuten hiilikuitua ja polytetrafluoro-eteenia (PTFE)
- Maakaasuputkiston uudelleenkäyttöä vedylle on tutkittu vaihtoehtona uuden putken rakentamisen sijaan
  - Putkisto käyttöikä voi lyhentyä 20-50%
  - Riippuen putkiston materiaalivalinnasta suuria muutoksia ei välttämättä tarvita
- Sama putkisto voi kuitenkin siirtää suuremman määrän energiaa maakaasuna kuin vetynä
- Kaasut, kuten ilma ja typpi, tiivistyvät ja jähmettyvät nestemäisen vedyn vaikutuksesta ja tämä voi johtaa tukkeumiin putkissa ja venttiileissä

Taulukoituna tyypillisiä vetyputkiston virtausmääriä ja vastaavia putken halkaisijoita:

Virtausmäärä	**m (kg/s)**	**0,2**	**0,5**	**1,0**	**2**	**2,8**
Vetyputken halkaisija	d (m)	0,06-0,065	0,094-0,1	0,12-0,15	0,16-0,2	0,18-0,25

Gondal, I.A. "12 - Hydrogen Transportation by Pipelines." *Compendium of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 2016. 301–322. Web.

Repurposing gas infrastructure for hydrogen | 2020 | Siemens Energy Global (siemens-energy.com

ISO/TR 15916:2015 Basic considerations for the safety of hydrogen systems

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vetyputkistot – standardit ja ohjeet

Kansalliset ohjeet ovat kehitysvaiheessa. Ohessa kansainvälisiä standardeja ja ohjeita:

Putkiston ja komponenttien suunnittelu, materiaalivalinnat, valmistus, hitsaus, testaus, tarkastus, operointi ja turvallisuusriskit:

- American Standard **ASME** B31.12 (2019): Hydrogen Piping and Pipelines
  - Sisältää vetyputkistojen vaatimukset sekä nesteytetyn että kaasumaisen vedyn jakeluun
- **EIGA** (European Industrial Gases Ass.) IGC Doc 121/12 (2014): Hydrogen Pipeline System
  - Tiivistelmä tämän hetkisistä teollisista käytännöistä (Regional Industrial Gas Associations)
  - Käsittelee LNG putkistojen muuttamista vedylle sopiviksi
- German Technical Rule **DVGW** G 409:2020-09 (2020
  - Korkeapainekaasuputkistojen muuntaminen vetysiirtoon sopiviksi

Muita ohjeita:

- **DNV**
  - Vetytalouden asiantuntija, joka on julkaissut laivakuljetuksen vetykäsikirjan
- **IGEM**
  - Suunnitteilla globaali digitaalinen arkisto, joka jakaa vetyresursseja ja vetytietämystä

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn siirtomenetelmät - yhteenveto

	Määritelmä	Esimerkki
Putkisto	– Vetyä voidaan siirtää maakaasuputkilinjaa vastaavissa putkistoissa – Maailmanlaajuisesti vedynsiirtoverkkoja on kaupallisessa käytössä, tyypillisesti teollisuudessa	– Tyypillinen vedyn saumatonta teräsputkisto 2-10 bar paineessa – Putkistomateriaaleina voidana käyttää komposiittimateriaaleja kuten hiilikuitu, hiilikuidulla vahvistetut polymeerit, polytetrafluoretyleeni (PTFA)
Kaasupullot	– Vähäisten vetymäärien siirto ja varastointi kaasupulloissa	– Useat materiaalit soveltuvia, kuten alumiiniseokset, tietyt ruostumattomat teräkset, metallihydridiseokset, polymeerit
Painekaasu	– Kaasumaisen vedyn siirto vähäisissä tai kohtalaisissa määrin – Vedyn kuljetuspaine yli 180 bar	Tyypillisesti saatavilla seuraavat: – Modulaarinen putkiperävaunu (8-54 putkea) – Välimallinen traileri: 5 putkea – Jättiputkiperävaunu: 10 putkea
Kryogeeninen neste	– Nesteytetyn vedyn siirto trailerissa rekka-autolla, laivalla tai junalla – Pitkillä välimatkoilla painekaasua taloudellisempi ratkaisu sillä vie vähemmän tilaa	Kaksi tyypillistä vaihtoehtoa: – Nesteytetyn vedyn kuljetus täys- tai puoliperävaunussa
Laivaus	– Vedyn laivaus joko nesteenä tai kaasuna	– Ensimmäinen vedyn laivakuljetus käyttöönotettu vuonna 2022

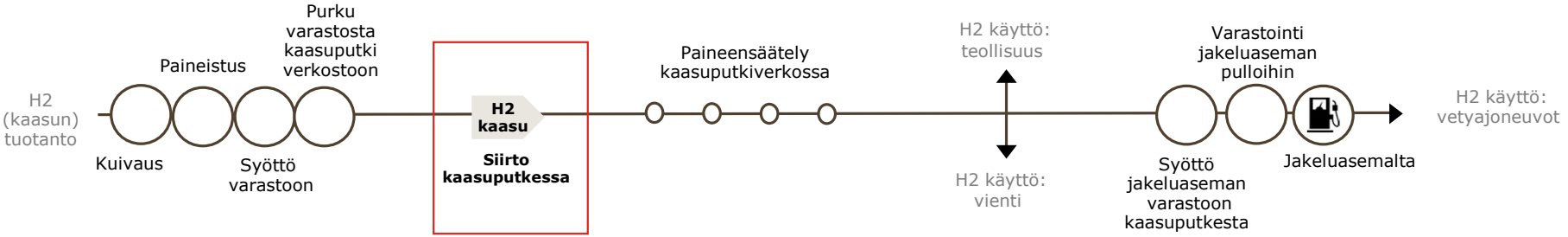
 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Sisältö:

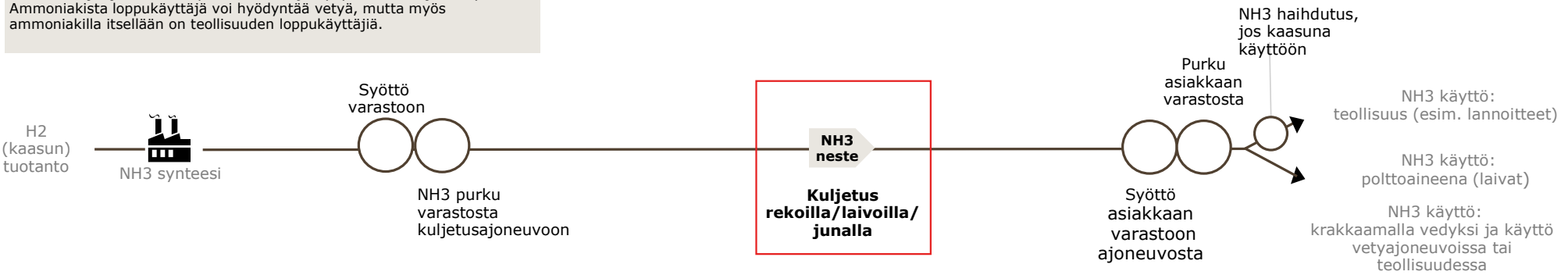
1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. **Vedyn toimitusketjut**
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vety kaasuna ja ammoniakki

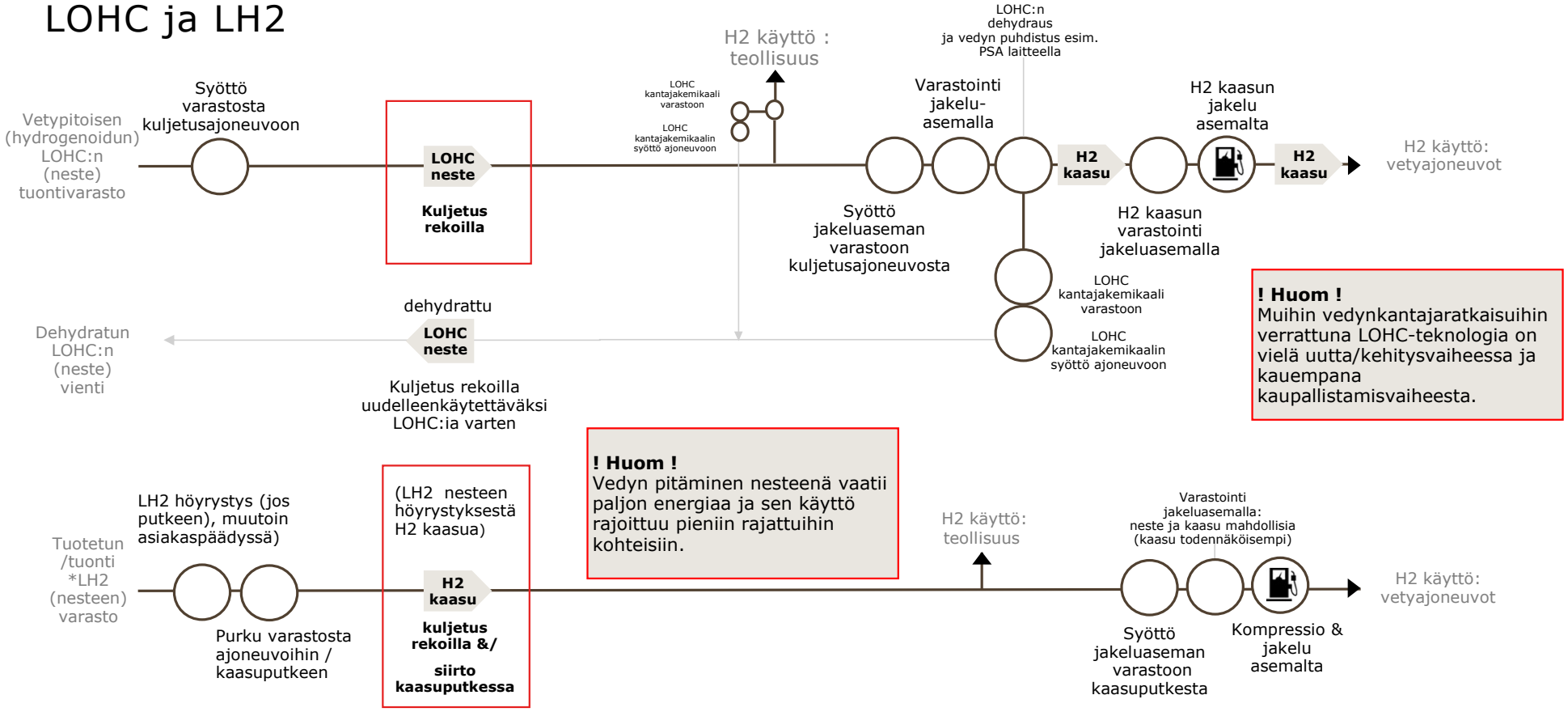


! Huom ! Ammoniakki on tehokas vedynkantaja, vedyn tiheys: 10.7 kg/100L, vetysisältö: 121 kg H2/m3. Ammoniakin kuljetusteknologia, toimitusketjut ja siihen liittyvä infra ovat jo nykyisellään laajalti käytössä. Ammoniakista loppukäyttäjä voi hyödyntää vetyä, mutta myös ammoniakilla itsellään on teollisuuden loppukäyttäjiä.



 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

LOHC ja LH2



*LOHC = nestemäinen orgaaninen vedyn kantaja (Liquid Organic Hydrogen Carrier)
*LH2 = nestemäinen vety

 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

Huomioita eri vedyn ja vedynkantajien toimitusketjujen vaihetyypeistä

	Käsittely	Varastointi	Kuljetus / Siirto	Jakelu

H2 kaasu
Siirto kaasu-putkessa
	• Vedyn kuivaus
	• Syöttö varastoon, paineistus : lähtöpaine 15 bar, paineistetaan noin 700 bar
	• Purku: laadun ja määrän tarkistaminen ja mahdollinen paineen alentaminen
		• Tukkuri mahdollisena varastoijana
		• Tyypilliset varastointipaineet:
		  • 350 bar: paikalliset varastot
		  • 700 bar: liikennesovellukset
			• Kaasuputkella teollisuuden suurkuluttajille ja jakeluasemille. Paine kaasuputkessa esim. maakaasulle max. 80 bar
			• Paineen säätely verkossa kompressoreilla ja analogisilla laitteilla
			• Pientoimitukset varastoista rekoilla käyttäjille
				• Teollisille suurkuluttajille jakelu suoraan kaasuputkiverkossa. Paineen alennus: 4 bar
				• Vetyajoneuvoille jakelu jakeluasemilta
				• Vedyn paikallistoimituksia tekeville kuljetusajoneuvoille jakelu paikallisista varastoista esim. kaasuputken varrelta, satamista ja myös jakeluasemilta

NH3 neste
kuljetus ajoneuvoilla
	• Syöttö & purku: standardiratkaisut olemassa, turvallisuus kriittistä ratkaisuissa ja operoinnissa	• Säilytä erillään hapettimista, hapoista, halogeeneistä
		• Säilytä paikassa, jossa hyvä ilmanvaihto
		• NH3 syövyttää kuparia ja alumiinia
		  • varastopaine : 10 bar
		  • vetysisältö NH3 nesteessä : 121 kg H2/m3
		  • lämpötila : 25 C (nestemäinen)
			• Vaaralausekkeet : H314
			• Kuljetusluokitus : 3318, 2073, 2672
			• Tilavuus pieni painoon nähden
				• Nestemäisenä säiliöstä
				Haihdutus loppukäyttäjän päässä mikäli kaasuna käyttöön

* LOHC neste Kuljetus ajoneuvoilla	• Vedyn puhdistus: PSA laitteella esimerkiksi jakeluasemien yhteydessä • Syöttö- ja purkukäytännöt riippuen kantaja-aineista	• Varastointi jakeluasemilla: mahdollista käyttämällä perinteisiä neste/polttoainesäiliöitä	• Tuontikuljetukset laivoilla • Kuljetus rekoilla jakeluasemille • LOHC on turvallisempi ja yksinkertaisempi kuljetusmuoto vedylle muihin kuljetusmuotoihin verrattuna -> ei vaadi esim. ADR kyvykkyyttä kuljetuksilta	• Jakeluasemat: käyttäjille H2 kaasuna -> vaatii laitteet LOHC.n dehydraukseen ja puhdistukseen
LH2 neste	• Höyrystys: lyhyitä kuljetuksia/loppukäyttöä varten	• Vetysisältö LH2 nesteessä : 70.8 kg H2/m3 • Säilytys: kryogeeninen säiliö, H2 jäähdytetty lähelle normaalia kiehumispistettä (-253°C)	• LH2 kuljetus vaatii erikoiskalustoa (esim. vakuumisäiliön)	• Tarvitsee erikoislaitteita asemille esim. kryopumppuja, ionisia paineistimia ja höyrystymishäviön hallintalaitteita

*LOHC – teknologia ja toimitusketju vielä kehittymässä vs. muut vedynkantajaratkaisut

 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

AFRY ÅF PÖYRY

Eri vedyn ja vedynkantajien toimitusketjujen vertailu: hyödyt, haitat ja turvallisuus

	Hyödyt (+)	Haitat (-)	Turvallisuusseikat
H2 kaasu Siirto kaasu putkessa	+ Olemassa olevan kaasuputkiston käyttömahdollisuus + Kustannustehokas siirto kaasuputkistolla + Luo mahdollisuuden hyödyntää/siirtää teollisuudessa sivutuotteena syntyvää vetyä + Energiaa tehokkaasti hyödyntävä ratkaisu. Energiaa säästyy siirrossa, koska muuntoa ei tarvitse toiseen olomuotoon + Viennin hyödyntämispotentiaali, kustannustehokkain siirtovaihtoehto	- Matala energiatiheys kaasumuodossa, vaatii paljon tilaa - Suomessa vähän olemassa olevaa kaasuputkistoa - Infran rakentamisen hitaus - Lainsäädännössä vielä puutteita (esim. roolit ja vastuut)	• Erittäin helposti syttyvä kaasu • Taipumus vuodoille • Materiaaleja haurastuttava kaasu • Ilmanvaihdon on oltava hyvä. Tukehtumisvaara, jos vuoto tapahtuu sisätiloissa
NH3 neste kuljetus ajoneuvoilla	+ Olemassa oleva kuljetusinfra + Tehokas vedyn kantaja: nestemäisessä ammoniakissa korkea vetysisältö + Kehittynyt arvoketju NH3 krakkausprosessia lukuunottamatta + Erittäin potentiaalinen vaihtoehto, jos loppukäyttö ammioniakkina	- Myrkyllistä ja vaatii varotoimenpiteitä sekä erikoiskalustoa - Matala hajukynnys - NH3 krakkaus takaisin vedyksi vaatii paljon energiaa ja lisää kustannuksia	• Syttyvä kaasu • Sisältää paineen alaista kaasua; voi räjähtää kuumentaessa • Voimakkaasti ihoa syövyttävä ja silmiä vaurioittavaa • Myrkyllistä hengitettynä • Erittäin myrkyllistä vesieliöille
LOHC neste Kuljetus ajoneuvoilla	LOHC – teknologia ja toimitusketju vielä kehittymässä vs. muut vedynkantajaratkaisut + Ei vaadi ADR kyvykkyyttä kuljetuksilta, helppo kuljettaa ja varastoida (kuten diesel) + Nykyisen infran ja kemikaalikuljetusvälineistön hyödyntäminen on mahdollista	- LOHC hydraus, dehydraus ja uudelleenkäyttökuljetus-syklit kuormittavat ympäristöä - Uusi teknologia - Dehydraus vaatii paljon energiaa	Esimerkiksi benzyltolueenille: • Matala myrkyllisyysaste • Ei räjähdysaltis • Vaarallinen vesieliöille
LH2 neste	+ Vie vähemmän tilaa kuin kaasumuodossa	- Höyrystymishäviöitä toimitusketjun varrella - Vedyn nesteytyminen kuluttaa paljon energiaa - Varastoinnin ja kuljetuksen monimutkaisuus	• Erittäin palava (näkymättömällä liekillä) • Voi muodostaa räjähtäviä seoksia ilman kanssa • Erittäin kylmää, joten vakavien paleltumien ja kudosvaurioiden riski täytyy huomioida vetyä käsiteltäessä

 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

AFRY ÅF PÖYRY

Vedyn ja vedynkantajien mahdolliset käyttäjät

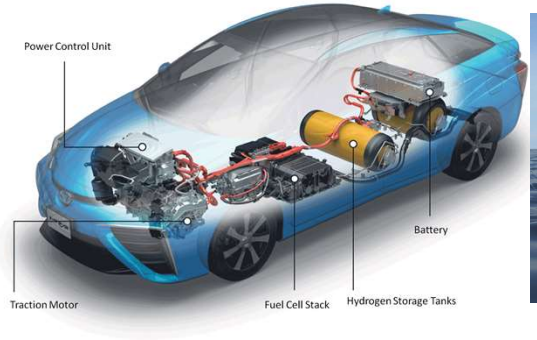
Teollisuus	Vetyajoneuvot	Vienti
Öljynjalostajat H2 kaasuna : Teräksen tuotanto (vetypelkistys , teräksen käsittely) NH3 : Lannoitevalmistajat H2 kaasuna : Kemianteollisuus H2 kaasuna : Metallien erotus/rikastus H2 kaasuna : Elintarviketeollisuus (esim. H2 hydrogenaatioon) H2 : CCU (talteenotetun hiilidioksidin hyödyntäminen)	Henkilöautot Bussit raskaat kuljetusajoneuvot (esim. kuorma-autot, dumpperiautot kaivoksilla) Junat Nostotrukit (esim. varastoille) Laivat (logistiikkka/tavarankuljetus, huolto/erikoislaivat, mutta myös henkilöliikenne) Lentokoneet (kaukana tulevaisuudessa, esim. Airbusin ensimmäinen koelento 2035)	Kaasuputkella pohjoiseen (Ruotsi) ja etelään (Baltia) Laivaus

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Esimerkkejä vetyajoneuvoista

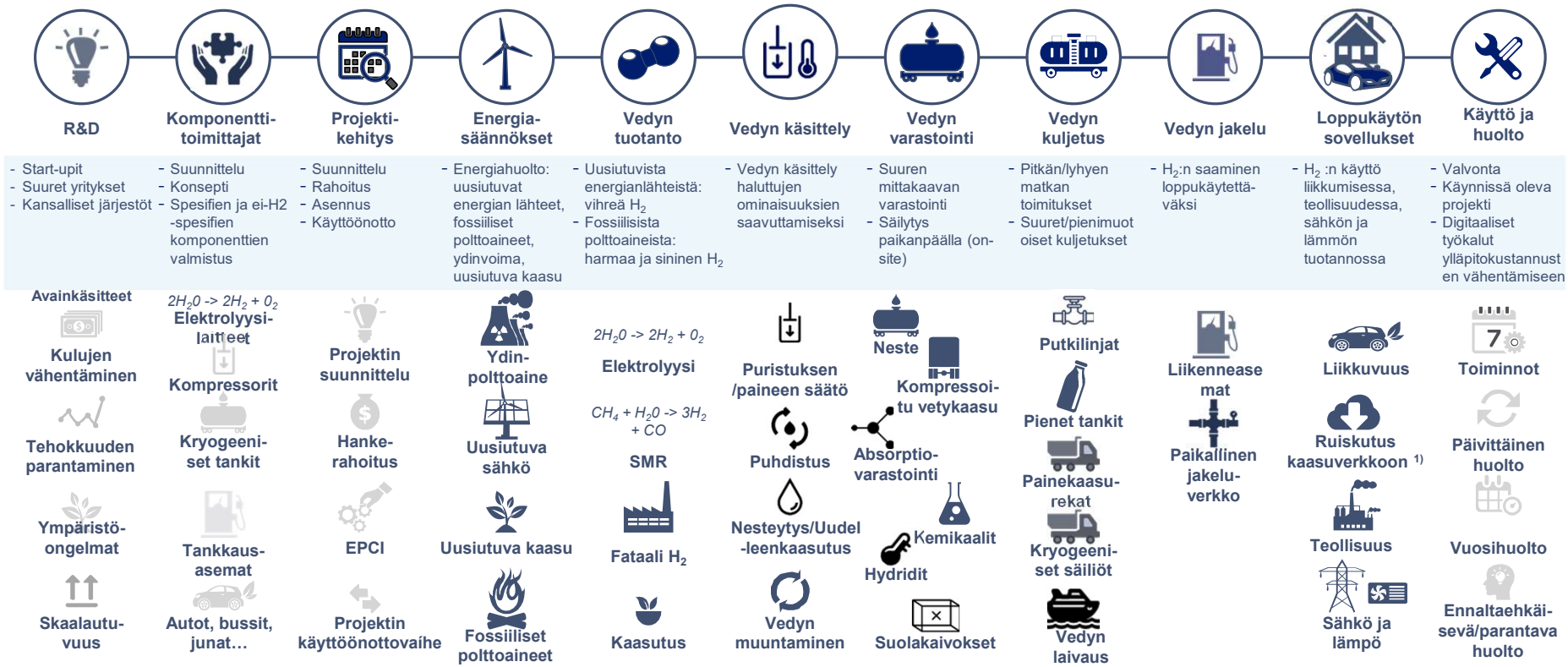
Logistiikka

Liikkuminen, henkilöliikenne



 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn arvoketjussa on kyse muustakin kuin tuotannosta



Huomautus: (1) Kaasuverkkoon ruiskutuksesta voi tulla myös keino varastoida tai kuljettaa vetyä, kun vedynottotekniikka on valmis.

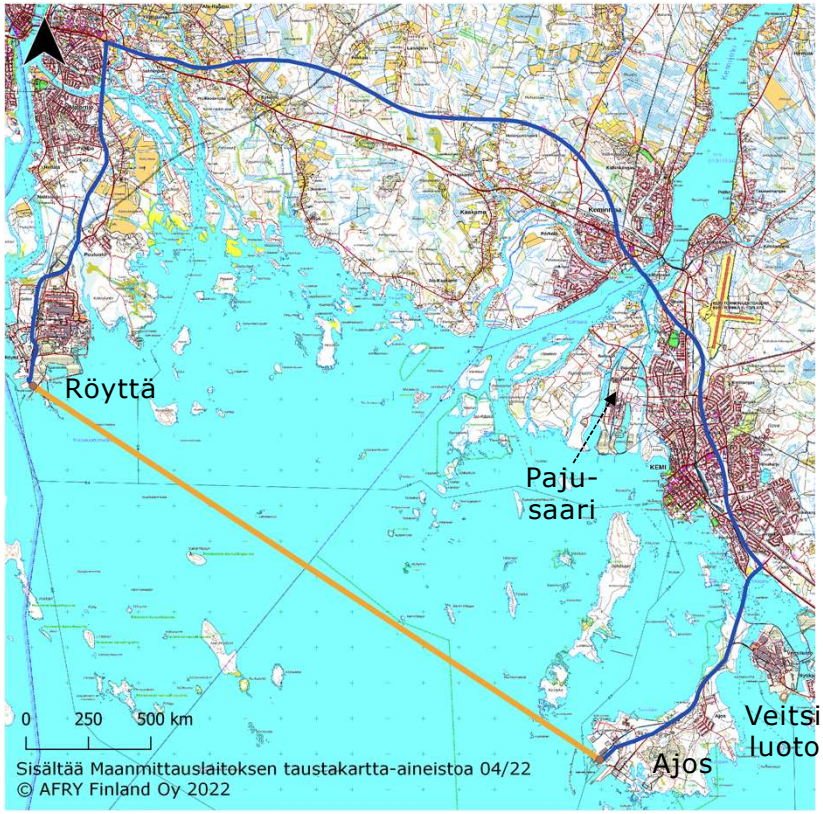
 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. **Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä**
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

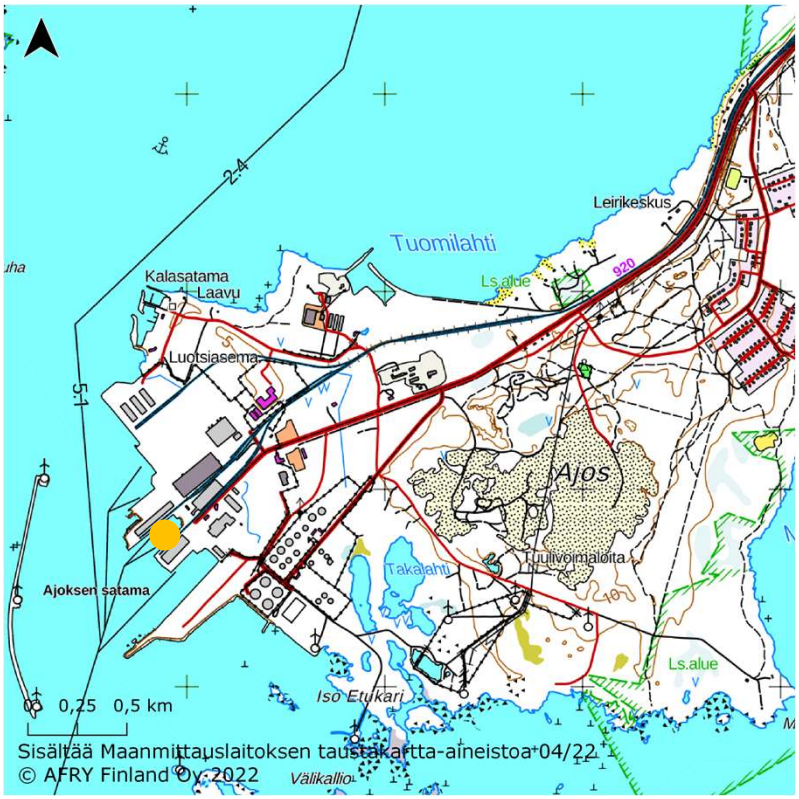
 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä



- Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä ovat merkittäviä teollisuusalueita Meri-Lapissa.
- Ajoksessa, Veitsiluodossa ja Röytässä sijaitsee satamat.
- Ajoksen ja Röyttän satamien etäisyys suorinta ns. linnuntietä on noin 19 km (oranssi viiva).
- Merireitille sijoittuu laaja Perämeren kansallispuisto (kartan lounasosa: vihreillä merkinnöillä).
- Tietä (E8) pitkin satamien etäisyydeksi tulee noin 45 km (sininen viiva).

Ajos



- Kemin keskustasta 10 km etäisyydelle sijoittuva saari
- Ajoksen satama-alue sijoittuu saaren lounaisosiin
- Laaja sora-alue/pohjavesialue sijaitsee alueen keskiosassa
- Tuulivoima on sijoittuneena lähinnä ranta-alueille ja merelle
- Alueen koillisosaan sijoittuu asutusta
- Alueelle sijoittuu kolme luonnonsuojelualuetta, joista laajin sijaitsee kaakkoisosassa saarta (Murhalahti)
- Satamaan on sekä rautatie- (Kemin rautatieasemalta) että tieliikenneyhteydet (E8) laivaliikenteen lisäksi
- Metsä Fibren biotuotetehtaan vienti keskitetään Ajoksen satamaan. Tästä syystä sataman kehittämiskohteet vuosille 2021-2023 ovat sataman laajennus ja väylän syvennys 10 metristä 12 metriin.

● Ajoksen satama

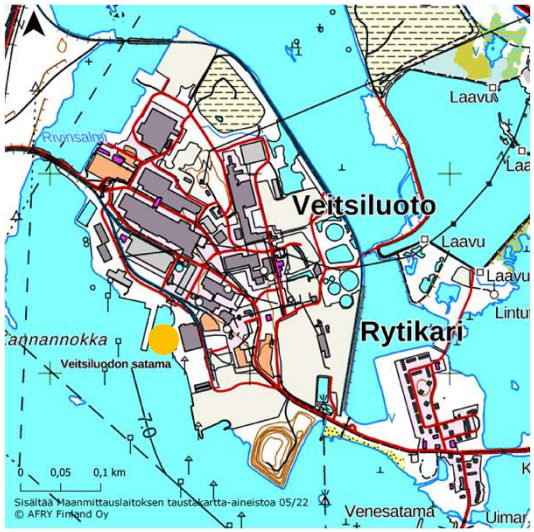
 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

Veitsiluoto ja Pajusaari

- Ajoksen läheisyyteen sijoittuu Veitsiluodon tehdasalue, jonka yhteydessä on satama. Kemin satama hallinnoi satamaa. Stora Enson Veitsiluodon sellu-ja paperitehdas suljettiin vuonna 2021. Tehtaalle jäi sahatoimintaa. Infinite Fibre rakentaa jätetekstiileistä uusiokuitua tekevän tehtaan paperitehtaan tiloihin. Toiminta käynnistyy vuonna 2025 ja sen arvioitu työllistävän suoraan 220 henkeä. Alueella on tilaa vielä muille toimijoille.

- Kemin Pajusaaressa on pitkään toiminut Metsä Fibren Kemin sellutehdas. Tehdasalueella käynnistetään vuonna 2023 moderni biotuotetehdas, joka korvaa nykyisen sellutehtaan. Pajusaaressa sijaitsevaan Metsä Boardin kartonkitehtaan kartonkikapasiteetti tulee kasvamaan ja veden sekä energiankulutus vähenee.

Veitsiluoto:

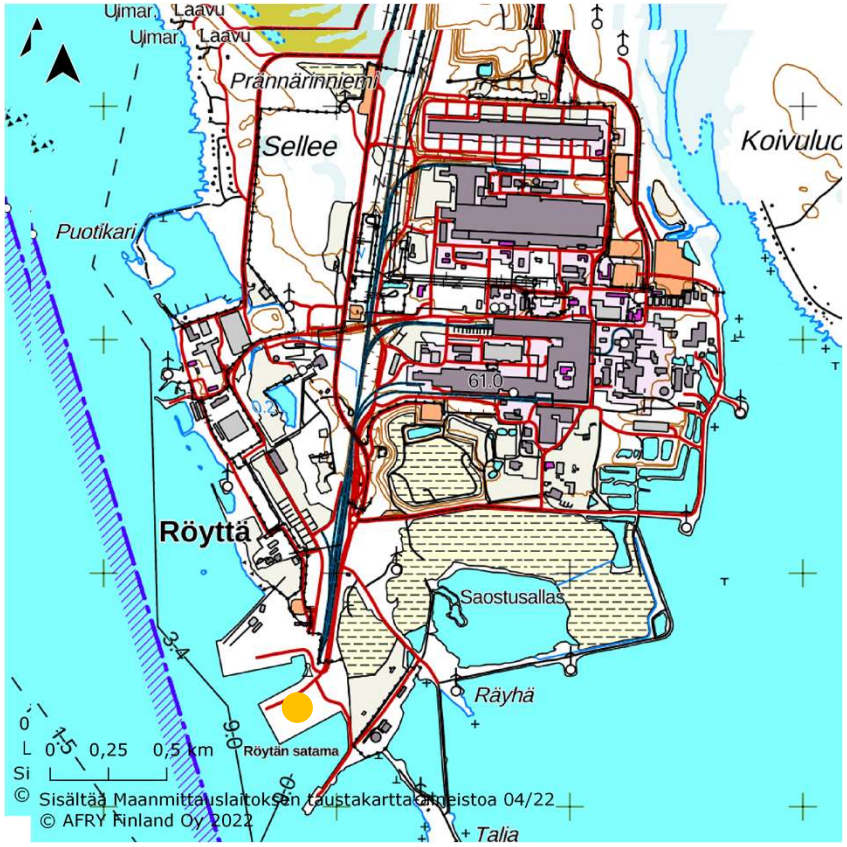


Pajusaari:

Veitsiluodon satama

Pajusaari

Röyttä



- Tornion keskustasta 13 km päähän sijoittuva satama- ja teollisuusalue. Outokokumpu Oyjn omistama Tornion terästehdas sijaitsee Röyttässä.
- Röyttän satama sijoittuu saaren eteläosaan. Satamassa on vuodesta 2018 toiminut nesteytetyn maakaasun (LNG) terminaali.
- Saaren eteläosaan sijoittuu suuri saostusallas.
- Tuulivoima sijoittuu pääasiallisesti merenranta-alueille.
- Alueelle on sekä rautatie- (Tornion rautatieasemalta) että tieliikenneyhteydet (E8) laivaliikenteen lisäksi.
- Röyttän koillisosassa sijaitsee 76 hehtaarin Arctio-teollisuuspuisto-alue, jossa on myös varaus sataman rakentamiselle. Vihreästä vedystä kaavaillaan veturia Arctio-teollisuuspuistoon.

Röyttän satama

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. **Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella**
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella

- Alueella ei ole olemassa olevaa vedyn varastointi-infrastruktuuria. Vedyn varastointi tapahtuu lähtökohtaisesti teollisuusalueella ulkotiloissa ja siihen olemassa olevia kaupallisia ratkaisuja ovat painekaasu, kryogeeninen neste ja kryogeeninen paineistettu hybridivarasto. Näistä ratkaisuista vedyn varastointi paineistettuna (350-700 barg) on kehittynein teknologia ja edullisin vaihtoehto.
- Vedyn varastointi ammoniakkina tai metanolina voi olla perusteltu vaihtoehto sillon kun on olemassa oleva kehittynyt ammoniakin tai metanolin toimitusketju ja loppukäyttäjät, kuten siirtymä ammoniakkiin laivapolttoaineissa.
- Lisäksi materiaaleihin perustuvia vedyn varastoja on kehitysvaiheessa.
- Meri-Lapin läheisyydessä, Ruotsin Luulajassa, rakennetaan kokeellista vedyn kallioperävarastoa. Hankkeen onnistuessa siitä voidaan ottaa mallia mahdollisesti myös Meri-Lapin alueella. Tällä hetkellä Röyttän satamassa on LNG:n kalliovarastointia.
- Meri-Lapin alueella on paljon teollisuusalueita, joissa vedyn varastointi olisi mahdollista. Esimerkiksi Kemin sataman satama-alueilla olisi tilaa vedyn varastoinnille.
- Vedyn varastona voidaan pitää myös vedyn siirtoverkkoa. Teollisuuden toimijoiden välillä vetyä voidaan siirtää tarvittaessa vetyputkistolla, ja täten vältetään erillinen varastoinnin tarve, joka osaltaan parantaa koko systeemin turvallisuutta minimoimalla vedyn purkuun ja lastaukseen liittyviä riskejä.

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. **Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella**
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

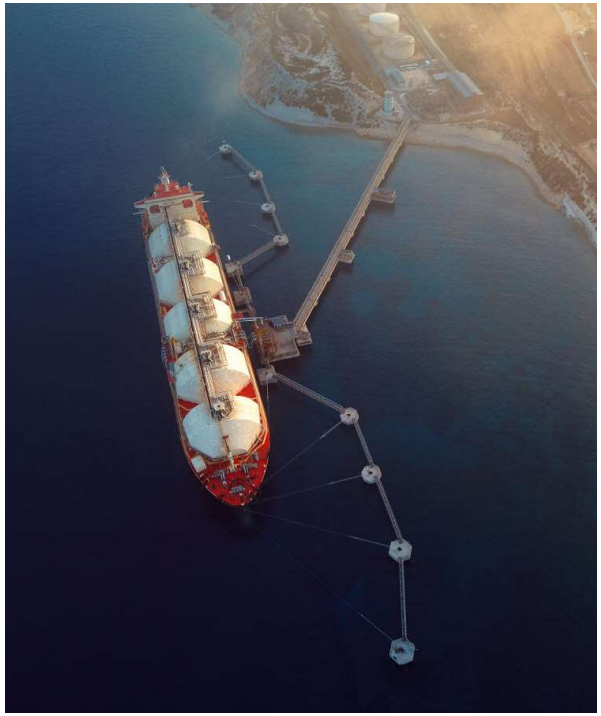
Kuljetus maanteillä

- Kysyntä vetykuljetuksiin on tällä hetkellä pientä ja tästä syystä alueen toimijoilla kestänee ennen kuin he päättävät investoida vetykuljetyksiin sopivaan kalustoon.
- Kaupallisilla toimijoilla ei ole tällä hetkellä julkisia suunnitelmia vedyn kuljetuksen suhteen.
- Alueella on hyvät tieverkot teollisuuslaitosten ympäristössä.
- Alueella on toimijoita, joilla ADR luokitus. Paikallisilla yrityksillä on tahtotilaa erikoistua ja tarvittavan kaluston investointihalukkuutta, mutta kannattavat kuljetusvolyymit ovat kriittinen tekijä yrityksille.
- Vety voi muodostaa ilman kanssa vakavan ja helposti syttyvän seoksen, joten turvallisuusnäkökohdat ovat vetykuljetuksissa merkittävässä roolissa. Röyttässä on Pohjoismaiden suurin LNG terminaali, joten alueelta löytyy osaamista kaasujen käsittelystä sekä kuljetuksista. Sitä voidaan pitää isona etuna vetykuljetuksiin siirtymisessä.

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Merikuljetus Meri-Lapin alueella

- Vedyn siirto Kemin sataman kautta tulisi kysymykseen tilanteessa, jossa laivapolttoaineena siirryttäisiin vetyyn tai Kemin alueella tuotettua vetyä olisi kannattavaa kuljettaa pitkiä välimatkoja reittejä, joilla putkisiirto ei ole mahdollinen
- Kemin satamassa ei tällä hetkellä ole kaasuterminaalia
  - Sataman uudet investoinnit suunnitellaan yhteistyössä satama-operaattorien kanssa, joiden hallinassa on kuljettevien aineiden ja tavaroiden operointi
- Vetyä voidaan siirtää myös nestekaasutrailereilla juna- ja laivakuljetuksessa
  - Kemin satamasta on suora junayhteys Kemin kautta kulkevaan valtion raideyhteyteen
- Kemin satama toimii tällä hetkellä vaarallisten kemikaalien kuljetuksessa (VAK) ja öljysatamana
  - Kemin sataman tämänhetkiset ulkomaiset laivaliikennöintiyhteydet ovat Keski-Eurooppaan (Saksa, Belgia Ranska, Englanti)
  - Laiva kerran kuussa Philadelphiaan ja Aasiaan
  - Kemin satamssa on vaapata maa-alaa noin 20 km^2 + 8 km^2
    - Maa-alaa voidaan hyödyntää uusiin toimintoihin, kuten vetyterminaalin rakentamiseen
- Röyttän sataman LNG terminaali aloitti toimintansa 2018
  - Se on pohjoismaiden suurin LNG terminaali, jonka kokonaisinvestoinit oli 110 M€
- Konseptisuunnitelmissa Euroopassa tutkitaan LNG terminaalien muuntamista ammoniakille sopiviksi tukemaan siirtymää vetytalouteen



https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2021-06/hydrogen-vision-port-of-rotterdam-authority-may-2020.pdf

https://www.rechargenews.com/energy-transition/uniper-resumes-plans-for-hydrogen-ready-german-lng-terminal-fortum-ceo/2-1-1179191

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

AFRY ÅF PÖYRY

Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. **Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella**
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

European Hydrogen Backbone (EHB) vetyverkostosuunnitelmat

2021 Extending the European Hydrogen Backbone

- European Hydrogen Backbone (EHB) on 23 eurooppalaisen kaasunsiirtoverkonhaltijan visio tulevaisuuden vedynsiirtoinfrastruktuurista: Kuvassa EHB:n vetyputkistosuunnitelma Suomessa vuonna 2040
- Vetytalouden kehitys alkaisi teollisuuskeskittymistä lopettamalla maakaasun siirto tietyissä osissa nykyistä maakaasunsiirtoverkkoa ja muuntamalla nämä verkot vedyn-siirtoverkoiksi
  - Verkoston osien välille voitaisiin tarvittaessa rakentaa uusia yhteyksiä
- Tanskassa, Ruotsissa ja Suomessa olisi tarkoitus jatkossakin säilyttää nykyiset kaasunsiirtoverkot maakaasun ja jalostetun biokaasun käytössä
  - Vedylle rakennettaisiin tarvittaessa omat verkkonsa
  - Meri-Lapin alueella ei ole olemassa olevia maakaasuverkkoja, jotka voitaisi muuntaa vetykaasuverkoiksi
- Todellinen tarve rakentaa vedynsiirtoverkkoja riippuu tuotannon ja kysynnän alueellisesta kehittymisestä sekä siitä, miten vedyn alkuperätakuita pystyttäisiin hyödyntämään kaupankäynnissä ja markkinoiden luonnissa
  - Tällöin vetyä ei välttämättä tarvitsisi fyysisesti siirtää maasta toiseen
- Meri-Lapin sijainti mahdollistaa yhteisen vetytalouden Pohjois-Ruotsin kanssa

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

8. VEDYN SIIRTO PUTKISTOLLA MERI-LAPIN ALUEELLA

Nordic Hydrogen Route -hanke

https://www.epressi.com/tiedotteet/energia/gasgrid-finland-ja-nordion-energi-julkistavat-nordic-hydrogen-routen-euroopan-ensimmaisen-laajamittaisen-rajat-ylittavan-vetyverkoston.html

- Suomen ja Ruotsin kaasuverkkoyhtiöden Gasgrid Finland ja Nordion Energin hanke, joka on julkaistu 04/2022.
- Infrastruktuurihankkeen tavoitteena on olla toiminnassa vuoteen 2030 mennessä, ja putken lopullinen pituus olisi noin 1000 km.
- Suomen puolella putkisto kulkisi Vaasasta Kemiin ja siitä edelleen rajan yli Ruotsiin, jossa se yltäisi pohjoisessa Kiirunaan ja etelässä Örnsköldsvikiin.
- Kyseessä olisi arviolta 3,5 miljardin euron investointi.
- Suunnitelma on vielä varhaisessa vaiheessa. Yhtiöt alkavat seuraavaksi selvittää tarkemmin puhtaan vedyn kysynnän ja tarjonnan näkymiä, putkiston teknistä toteutusta ja luvitusta. Tämä kestää arviolta 1-1,5 vuotta. Tätä seuraa tarkempi suunnitteluvaihe ennen investointipäätöstä.
- Vedyn alueellisen kysynnän arvioidaan ylittävän 30 terawattituntia vuoteen 2030 mennessä ja olevan noin 65 terawattituntia vuoteen 2050 mennessä. Suuri osa tästä vedystä on tarkoitus tuottaa käyttämällä Perämeren alueen runsasta maa- ja merituulikapasiteettia. Tuotanto mahdollistaisi yli 25 000 megawatin tuulivoimakapasiteetin rakentamisen.

https://gasgrid.fi/2022/04/22/gasgrid-finland-ja-nordion-energi-ovat-julkistaneet-nordic-hydrogen-routen-euroopan-ensimmaisen-laajamittaisen-rajat-ylittavan-vetyverkoston/
https://www.hs.fi/talous/art-2000008767165.html?share=f318ca5cb7e1da4ca659a53a4d921a16

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella

- Meri-Lapin alue on mukana EHB:n 2030 vetyverkostovisiossa sekä Nordic Hydrogen Route – vetyinfraskstruktuurihankeen suunnitelmassa. Tämän vedyn pääsiirtoputkiston toteuduttua tarvitaan jakeluverkosto alueen vedyn käyttäjille ja tuottajille.
- Osa Meri-Lapin teollisista toimijoista/teollisuusalueista sijaitsevat lähellä toisiaan, joka luo synergiamahdollisuuksia jakeluverkostolle.
- Lisäksi yksittäisten toimijoiden välillä voi tulla tarpeelliseksi rakentaa erillinen siirtoputkisto.

kuva: https://www.hs.fi/talous/art-2000007916275.html

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

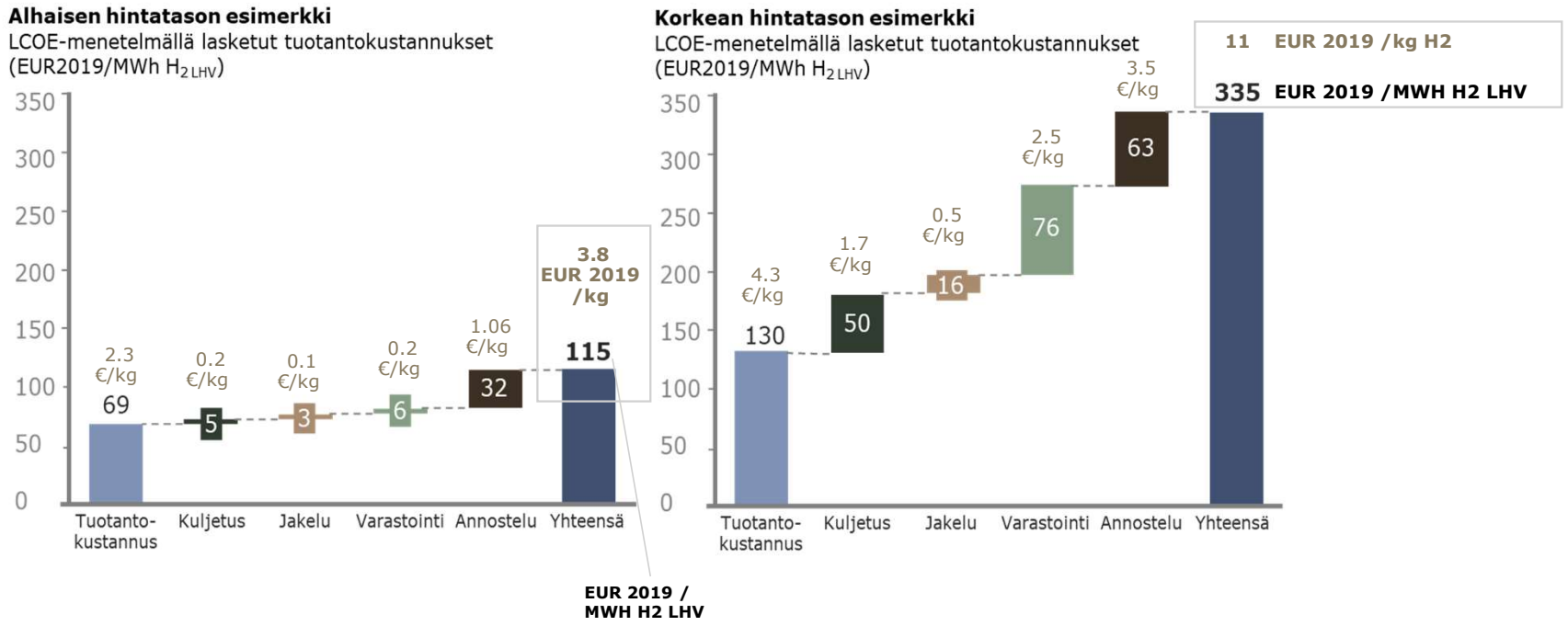
Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. **Vedyn logistiikkakustannukset**
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Esimerkki 1 : Korkean ja alhaisen hintatason esimerkit

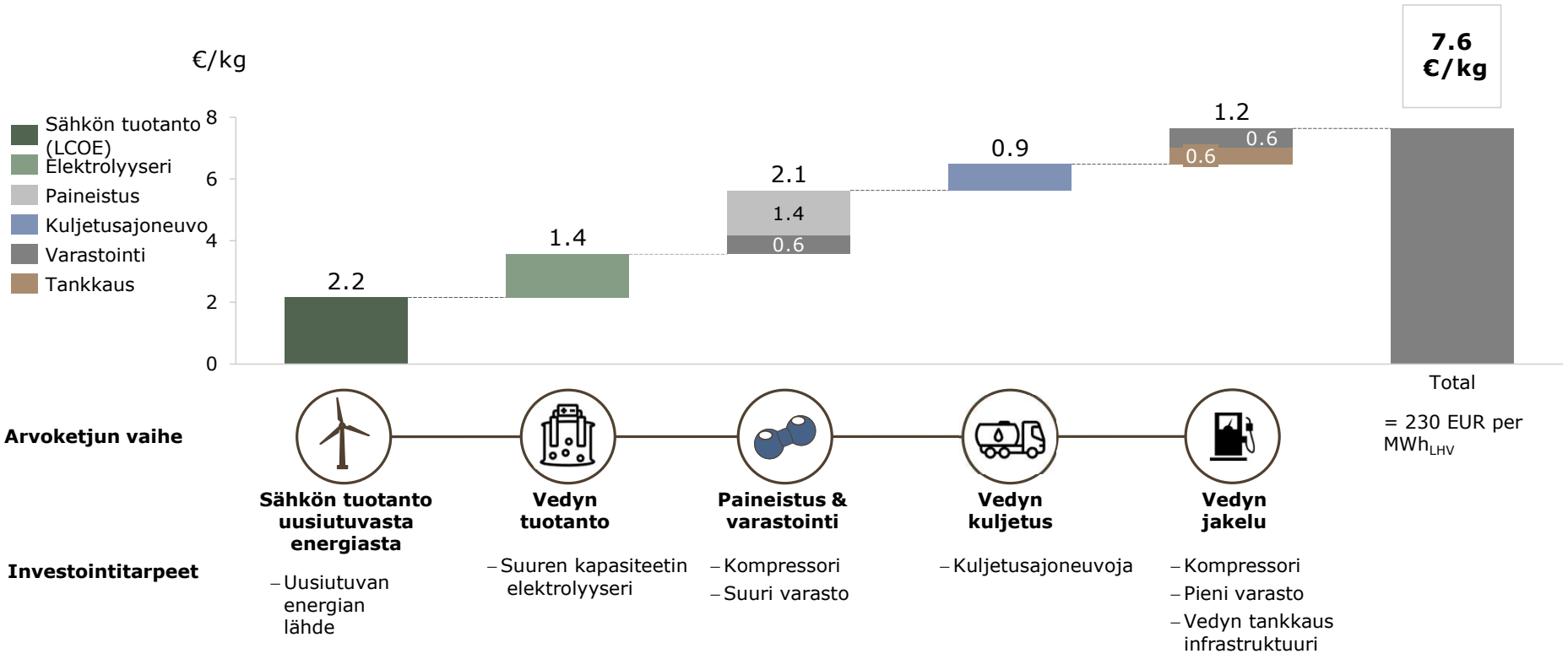
Logistiikan ja varastoinnin vaikutus vedyn hintaan loppukäyttäjälle :



Cihlar, J., Villar Lejarreta, A., Wang, A., Melgar, F., Jens, J., Rio, P., van der Leun, K., 2020. Hydrogen generation in Europe: Overview of costs and key benefits. ISBN 978-92-76-20677-4

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

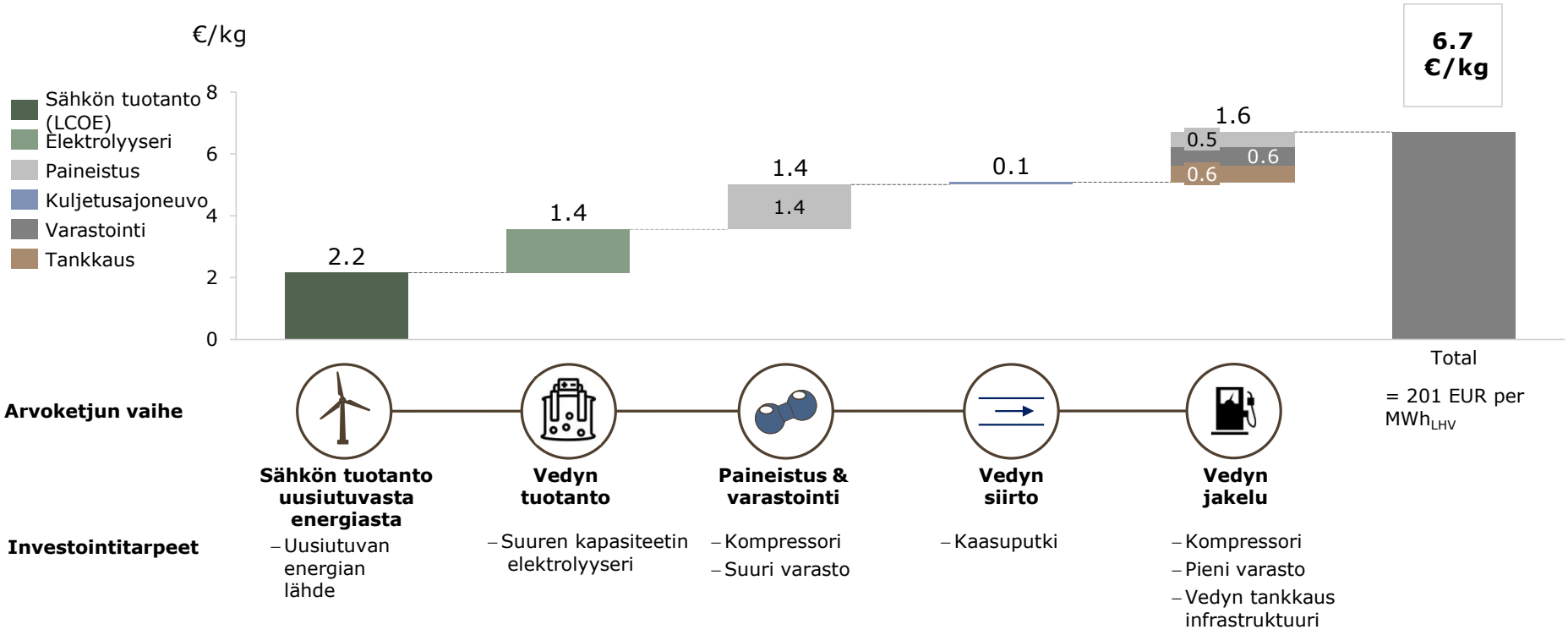
Esimerkki 2 : Vedyn kuljetus autoilla



Kuvaajan kustannukset vuodelle 2030 Saksassa
LCOE = elinkaaren ajalta laskettu tuotantokustannus (Levelized Cost of Energy)
Lähde : AFRY

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Esimerkki 3 : Vedyn siirto kaasuputkella



Kuvaajan kustannukset vuodelle 2030 Saksassa
LCOE = elinkaaren ajalta laskettu tuotantokustannus (Levelized Cost of Energy)
Lähde : AFRY

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Esimerkki 4 : Kuljetuskustannukset eri etäisyyksille ja kuljetusmuodoille

Kustannukset ilmaistu yksikössä USD/kg

Kuljetuskustannukset: <0,1 $/kg | 0,1–1 $/kg | 1–2 $/kg | >2 $/kg

		Jakelu		Siirto		
		0–50 km	51–100 km	101–500 km	>1000 km	>5000 km
Putkisto	Jälkiasennettu	Jakeluverkko	Alueellinen jakeluverkko	Siirtoverkko (maalla)	Siirtoverkko (maalla tai merellä)	Ei käytössä
	Uusi	Jakeluverkko	Alueellinen jakeluverkko	Siirtoverkko (maalla)	Siirtoverkko (maalla tai merellä)	Ei käytössä
Merikuljetus	Nestemäinen vety	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Laiva (LH_2)	Laiva (LH_2)
	Ammoniakki	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Laiva (NH_3)	Laiva (NH_3)
Kuorma- autokuljetus	Nestemäinen orgaaninen vedynkantaja	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Laiva (LOCH)	Laiva (LOCH)
	Nestemäinen vety	Kuorma-auto (LH_2)	Kuorma-auto (LH_2)	Kuorma-auto (LH_2)	Ei käytössä	Ei käytössä
	Kaasumainen vety	Kuorma-auto (CH_2)	Kuorma-auto (CH_2)	Kuorma-auto (CH_2)	Ei käytössä	Ei käytössä

Hydrogen Council, 2021b. Hydrogen insights: A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness. Hydrogen Council, McKinsey & Company (Hydrogen-Insights-2021-Report.pdf (hydrogencouncil.com)

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Huomioita kustannuksista

Siirto kaasuputkilla on kustannustehokkain siirtotapa	– Kaasuputkiverkosto voi ulottua myös Suomen rajojen ulkopuolelle mahdollistaen viennin ulkomaille
Laivaus viennille	– Ammoniakilla markkinavalmiit teknologiat kuljetukseen. Perusteltu ratkaisu silloin, kun loppukäyttö ammoniakkina. Muussa tapauksessa ammoniakki pitäisi konvertoida takaisin vedyksi tuoden lisäkustannuksia
Varastointi tapahtuu nykyisellään paineistetuissa säiliöissä	– Paineistetut säiliöt ovat markkinavalmiita ratkaisuja, mutta kalliita
Vedyn toimittaminen on kallista	– Varastoinnin , kuljetuksen/siirron ja jakelun kustannukset voivat olla kokoluokaltaan jopa yhtä paljon kuin tuotantokustannukset – toimitetun vedyn kustannuksista logistiikan osuus on merkittävä: logistiikka voi jopa tuplata vedyn kustannukset.

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

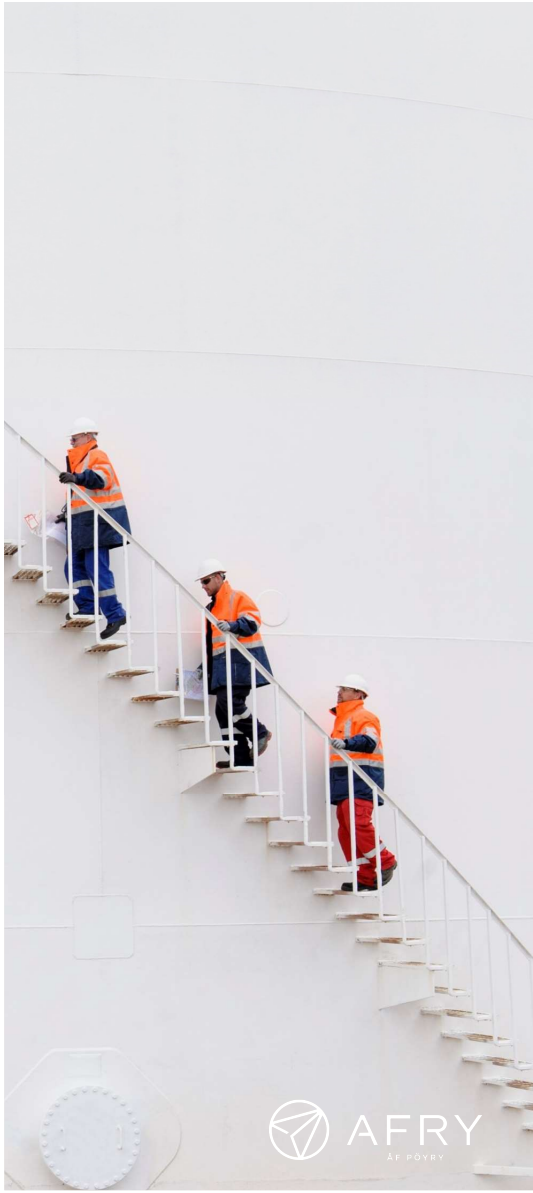
Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. **Yhteenveto ja johtopäätökset**
11. Liitteet

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Vety: turvallisuus, varastointi- ja kuljetusmenetelmät

- Vety on helposti syttyvä kaasu, joka voi palaa myös räjähtävänä palona
- Vetykaasun laaja syttymisalue ilmaseoksina tulee huomioida kaikkien vetyjärjestelmien ja -varastojen suunnittelussa
- Vety varastoidaan ja kuljetetaan tyypillisesti painekaasuna jopa 800 bar paineessa tai nesteytettynä kaasuna lähes -253°C lämpötilassa
- Palo- ja räjähdysvaaran lisäksi muita kaasu- ja nestemäisen vedyn käsittelyyn liittyviä riskitekijöitä ovat muun muassa paineen purkautuminen korkeapainejärjestelmästä ja nestekaasun alhainen lämpötila
- Vetyvarastojen turvaetäisyydet on määritettävä tapauskohtaisesti ja täytettävä standardin SFS 3353:2019 *Palavien kemikaalien tuotantolaitos* vaatimukset
- Muita kuljetus- ja varastointivaihtoehtoja ovat paineistetun kaasun ja nesteen välimuoto, vedyn kuljetus toisena yhdisteenä kuten ammoniakkina, metanolina tai metaanina, sekä kehitysvaiheessa vedynkantajamolekyylit (LOCH) tai materiaaleihin perustuvat ratkaisut
- Vedylle soveltuvat varastointi- ja kuljetusmateriaalit on valittava tarkasti, sillä pieni vetymolekyyli läpäisee helposti materiaaleja ja aiheuttaa metallien vetyhaurastumista



Toimitusketjut & hinnat

- **Vedyn toimitusketjut** ovat erilaisia riippuen missä muodossa vety kuljetaan (kaasu vs. neste) tai mitä vedynkantajaa käytetään (esim. LOHC ja ammoniakki). Vetytalous ja sen toimitusketjut ovat varhaisella kehitysasteella. Vedyn suurimpina käyttäjinä lyhyellä aikavälillä nähdään teolliset toimijat, mutta vetyajoneuvot myös nähdään mahdollisena suurena vedyn käyttökohteena tulevaisuudessa.

- **Vedyn loppuhinta** käyttäjälle rakentuu sähköntuotannon, vedyn tuotannon, vedyn paineistuksen ja varastoinnin, vedyn kuljetuksen/siirron, ja vedyn jakelun summatuista kustannuksista.

- **Kaasuputki**-siirrolle ominaista on matalat kustannukset: käytettävät materiaalit ovat vastaavanlaisia olemassa olevaan maakaasuputkistoon nähden ja kaasuputkella voi kuljettaa suuria volyymeja vetyä.

- **Laivaus**kustannukset pitkille matkoille voivat olla korkeat, koska vety vaatii kallista konvertointia kuljetettavaan muotoon ja konvertointia takaisin käytettävään muotoon.

- Nestemäinen vety, ammoniakki ja nestemäiset orgaaniset vedyn kantajat (LOHC) ovat **pääkonvertointiteknologioita**.

- **Kuljetusautot** voivat olla käytännönläheisiä ja kustannustehokkaita, mutta vain jos kuljetettavat volyymit ja kuljetusetäisyydet ovat rajallisia.

Vedyn varastoinnin, kuljetuksen ja siirron vahvuudet ja heikkoudet Meri-Lapin alueella

	Vahvuudet	Heikkoudet
Varastointi	Esimerkiksi satama-alueilla on tilaa vedyn varastoinnille.	Ei olemassa olevaa varastointi-infrastruktuuria.
	Meri-Lapin läheisyydessä, Ruotsin Luulajassa, rakennetaan kokeellista vedyn kallioperävarastoa. Hankkeen onnistuessa siitä voidaan ottaa mallia mahdollisesti myös Meri-Lapin alueella. Tällä hetkellä Röyttän satamassa on LNG:n kalliovarastointia.	
	Vedyn siirtoputkisto toimii samalla myös vetyvarastona, joten erillisten vetyvarastojen tarve vähenee vetysiirtoverkoston toteuduttua.	
Kuljetus	Alueen toimijat ovat valmiita investoimaan vetytalouteen silloin kun se nähdään taloudellisesti kannattavana.	Ei olemassa olevaa infrastruktuuria/kalustoa vedyn kuljetukseen.
	Tornion Röyttässä on Pohjoismaiden suurin LNG terminaali, joten alueella on osaamista kaasujen käsittelyssä.	Kaupallisilla toimijoilla ei ole tällä hetkellä julkisia suunnitelmia vedyn kuljetuksen suhteen.
Siirto	Alue mukana EHB:n 2030 vetyverkostovisiossa sekä Nordic Hydrogen Route –vetyinfraskstruktuurihankeen suunnitelmassa.	Tällä hetkellä alueella ei olemassa olevaa kaasuputkistoinfraa.

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

AFRY ÅF PÖYRY

VETYTALOUDEN MAHDOLLISUUDET PAIKALLISILLE PK-YRITYKSILLE

1. Jakeluasemien operointi
   (autot)
2. Vedyn ja vedynkantajien kuljetuspalvelut
   (esim. rekat)
3. Erikoislaitteistojen valmistus
   (esim. jakeluasemille, vedyn säiliöihin, vedyn kuljetusajoneuvoille ja vedyn konvertointiin)
4. Vetyinfrastruktuurin rakentaminen ja ylläpito
   (esim. putkistot, jakeluasemat ja satamat)
5. Vetyinfrastruktuurin kunnossapito
   (esim. putkistot, jakeluasemat ja satamat)

 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

Sisältö:

1. Johdanto
2. Vedyn ominaisuudet ja turvallisuusnäkökohdat
3. Vedyn varastointi, kuljetus ja siirto yleisesti
   - 3.1 Varastointi
   - 3.2 Kuljetus
   - 3.3 Siirto
4. Vedyn toimitusketjut
5. Meri-Lapin teollisuusalueet: Ajos, Veitsiluoto, Pajusaari ja Röyttä
6. Vedyn varastointi Meri-Lapin alueella
7. Vedyn kuljetusmahdollisuudet maantie- ja meriliikenteessä Meri-Lapin alueella
8. Vedyn siirto putkistolla Meri-Lapin alueella
9. Vedyn logistiikkakustannukset
10. Yhteenveto ja johtopäätökset
11. **Liitteet**

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Liitteet

 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

Liite 1: ISO-14687:2019 mukainen vetypolttoaineen luokittelu ja käyttökohteet

COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

ISO-14687:2019 mukainen vetypolttoaineen luokittelu ja käyttökohteet

- Vedyn luokittelun ja puhtauteen liittyvät standardit ovat vielä kehitysvaiheessa
- Vetypolttoaineen luokittelu ja käyttökohteet standrdin ISO-14687 mukaisesti
  - Kaasu: A, B, C, D tai E
  - Neste: Type II (C tai D) tai III
- Tiettyjen vetytyyppien käyttökohteita taulukoituna

Table 1 — Hydrogen and hydrogen-based fuel classification by application

Type	Grade	Category	Applications	Clause
I Gas	A	—	Gaseous hydrogen; internal combustion engines for transportation; residential/commercial combustion appliances (e.g. boilers, cookers and similar applications)	7
	B	—	Gaseous hydrogen; industrial fuel for power generation and heat generation except PEM fuel cell applications	7
	C	—	Gaseous hydrogen; aircraft and space-vehicle ground support systems except PEM fuel cell applications	7
	D[a,b]	—	Gaseous hydrogen; PEM fuel cells for road vehicles	5
	E	PEM fuel cells for stationary appliances		6
		1	Hydrogen-based fuel; high efficiency/low power applications	
		2	Hydrogen-based fuel; high power applications	
		3	Gaseous hydrogen; high power/high efficiency applications	

[a] Grade D may be used for other fuel cell applications for transportation including forklifts and other industrial trucks if agreed upon between supplier and customer.

[b] Grade D may be used for PEM fuel cell stationary appliances alternative to grade E category 3.

Type	Grade	Category	Applications	Clause
II Liquid	C	—	Aircraft and space-vehicle on-board propulsion and electrical energy requirements; off-road vehicles	7
	D[a,b]	—	PEM fuel cells for road vehicles	5
III Slush	—	—	Aircraft and space-vehicle on-board propulsion	7

[a] Grade D may be used for other fuel cell applications for transportation including forklifts and other industrial trucks if agreed upon between supplier and customer.

[b] Grade D may be used for PEM fuel cell stationary appliances alternative to grade E category 3.

ISO-14687:2019

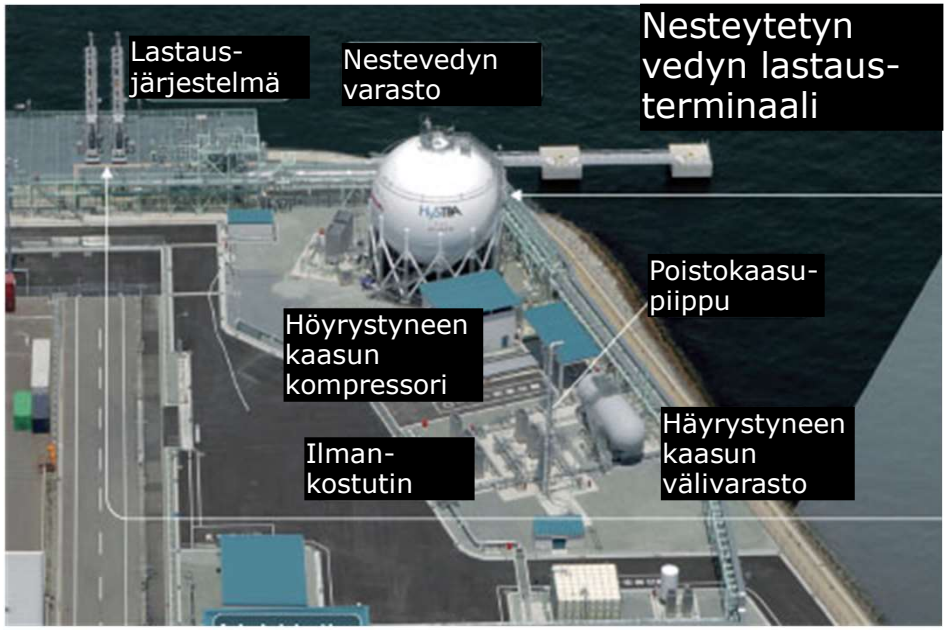
 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

Liite 2: Vedyn kuljetus meriteitse

COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

Kuljetus meriteitse

- Ensimmäinen nesteytettyä vetyä kuljettava tankkerilaiva otettiin testikäyttöön Japanissa vuonna 2022
  - Projektin ilmoitettu kokonaishinta oli 370 M€ (500 MAUD)
  - Vetyä aiotaan kuljettaa laivalla Australian ja Japanin väilillä vuositasolla 225 000 tonnia
- Vedyn kysyntä on tärkeässä roolissa kuljetusmetodin valinnassa ja meriteitse tankkerialuksella siirtotarpeen tulee olla merkittävä
  - Uusiutuvan vedyn tuotto ja kysyntä oletetaan olevan toisistaan maantieteellisesti erkaantunutta, joka luo mahdollisen laivakuljetuksen tarpeen
  - Satamainfrastruktuuria tarvitaan yhdistämään tuotantolaitos ja vedynkuljetusalus
    - Vetyterminaalia muistuttavat LNG nestekaasuterminaaalit ovat yleisesti kuapallisessa käytössä
    - Ensimmäinen nestevetyterminaali on rakennettu Japaniin vuonna 2021 (Kuva oikealla)
  - Vesiteitse nesteytettyä vetyä voidaan kuljettaa myös proomulla (NASA)



https://gcaptain.com/worlds-first-hydrogen-tanker-to-ship-maiden-cargo-from-australia-to-japan/

https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2021-06/hydrogen-vision-port-of-rotterdam-authority-may-2020.pdf

https://global.kawasaki.com/en/corp/sustainability/green_products/Liquefied_hydrogen_loading_unloading_terminal.html

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

Liite 3: Vedyn arvoketjun toimijoita Suomessa vuonna 2020

 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

Vedyn arvoketjun toimijoita Suomessa vuonna 2020

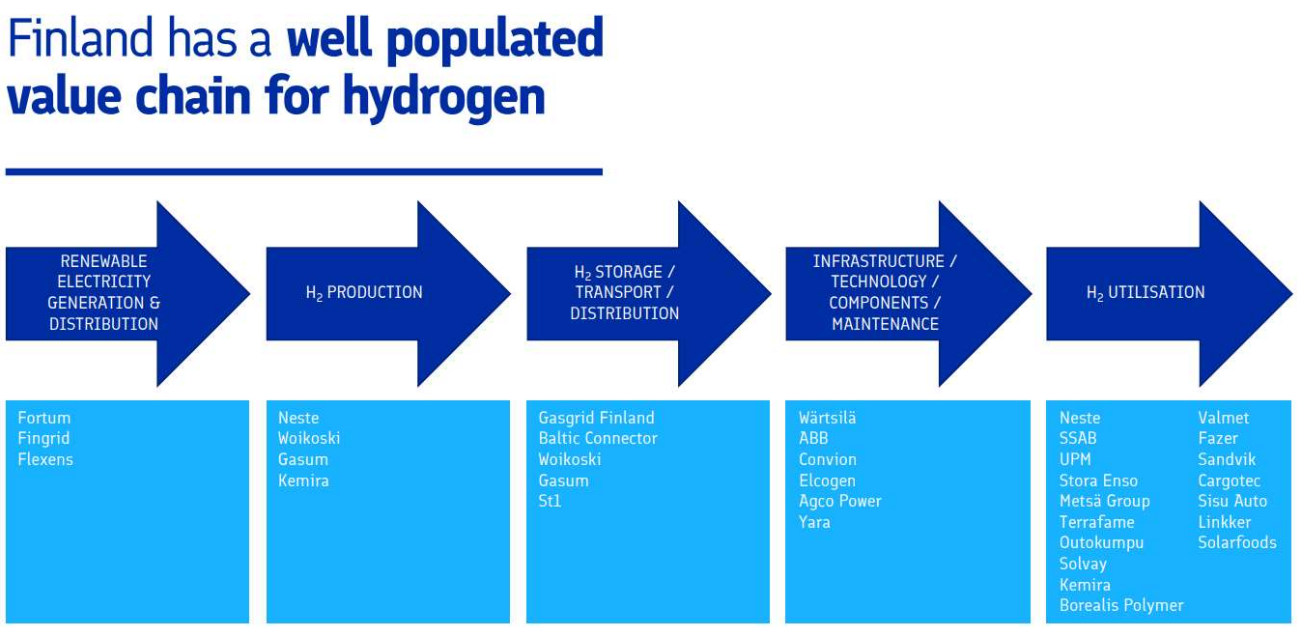


FIGURE 15: FINNISH HYDROGEN SUPPLY CHAIN AND EXAMPLES OF POTENTIAL COMPANIES. Source: VTT.

We have added also in the same figure some key Finnish companies that are already working with hydrogen or have potential to do so in the future. That listing is not comprehensive, but more like showing that there are already existing Finnish companies for all levels in hydrogen value chain, but there is also a lot of space for new potential business opportunities.

During the preparation of this report, a questionnaire was also sent out to these companies in order to chart their present activities and future plans regarding hydrogen

National Hydrogen Roadmap , Business Finland
(bf_national_hydrogen_roadmap_2020 , (https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf))

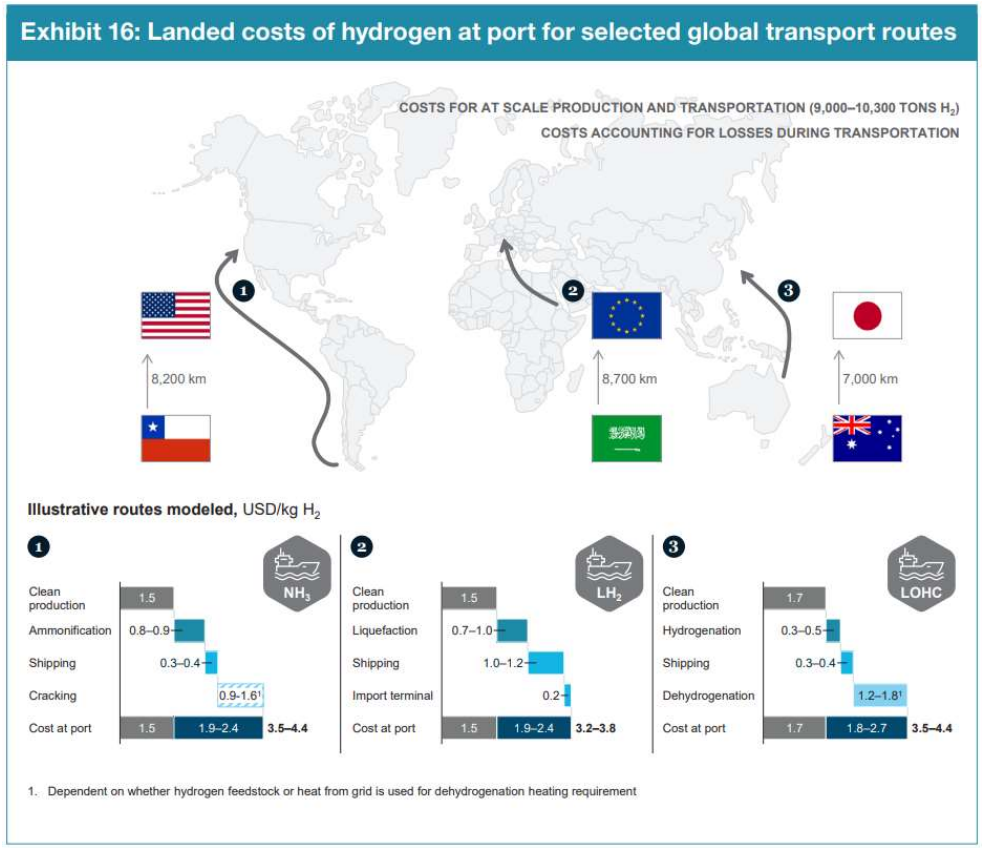
 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

Liite 4: Referenssihintoja vedylle – Vedyn tuonti laivalla

 COPYRIGHT AFRY FINLAND OY

VEDYN LOGISTIIKKAKUSTANNUKSET

Referenssihintoja vedylle – Vedyn tuonti laivalla



Hydrogen Council, McKinsey & Company (https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/02/Hydrogen-Insights-2021-Report.pdf)

 COPYRIGHT ARFY FINLAND OY

AFRY
ÅF PÖYRY