

# Vetyliikenteeseen liittyvä tutkimus VTT:llä

18.11.2022

Jari Ihonen

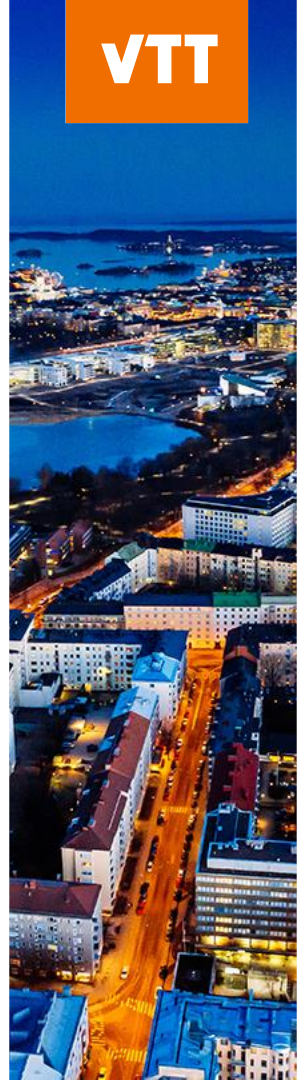
18/11/2022 VTT – beyond the obvious



H<sub>2</sub>

# Sisältö

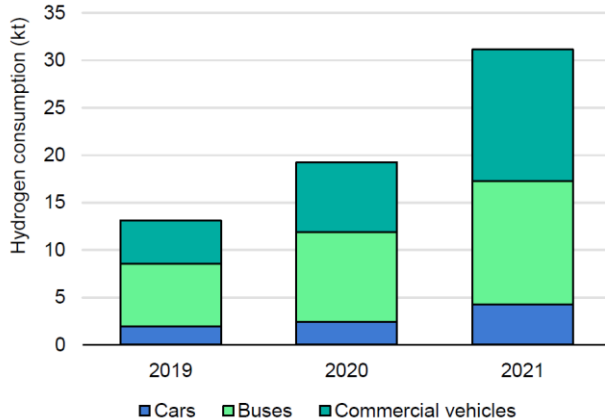
- Lyhyt katsaus vedyn liikennekäytön kehitykseen globaalisti (mm. IEA 2022)
- AFID-direktiivistä AFIR-asetukseen
- VTT:n vedyn liikennekäyttöön liittyvä tutkimus
  - Vetytolttokennojen järjestelmäkehitys
  - Vedyn laatuvaatimukset
  - Vety meriliikenteessä
  - Vety raskaassa tieliikenteessä
  - Vedyn kuljetuslogistiikkaan liittyvä tutkimus
- Esimerkki vedyn kuljetuslogistiikkaan liittyvästä tutkimuksesta Next Wave – projektista ja tunnistetut tutkimustarpeet Suomessa liittyen AFIR-asetuksen vaatimusten täyttämiseen



# Katsaus vedyn tieliikennekäytön kasvuun

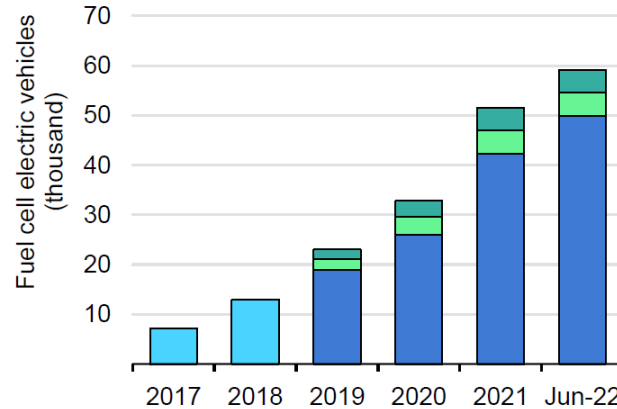
(IEA (2022), Global Hydrogen Review 2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>, License: CC BY 4.0)

Hydrogen consumption in road transport  
by vehicle segment, 2019-2021



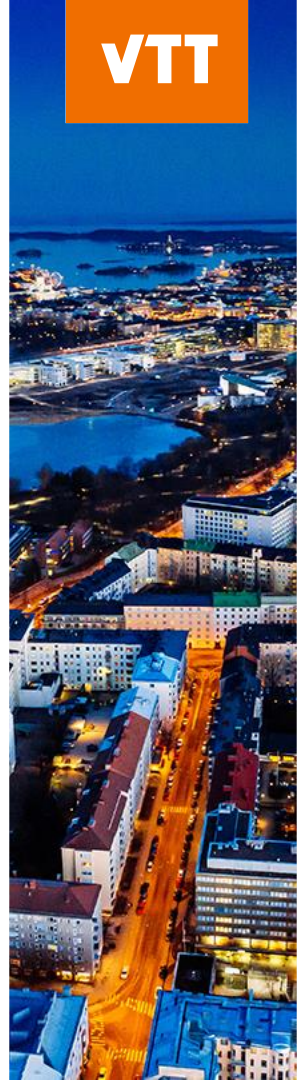
IEA. All rights reserved.

Note: Commercial vehicles include light commercial vehicles, medium-duty trucks and heavy-duty trucks.



■ Total ■ Cars ■ Buses ■ Commercial vehicles

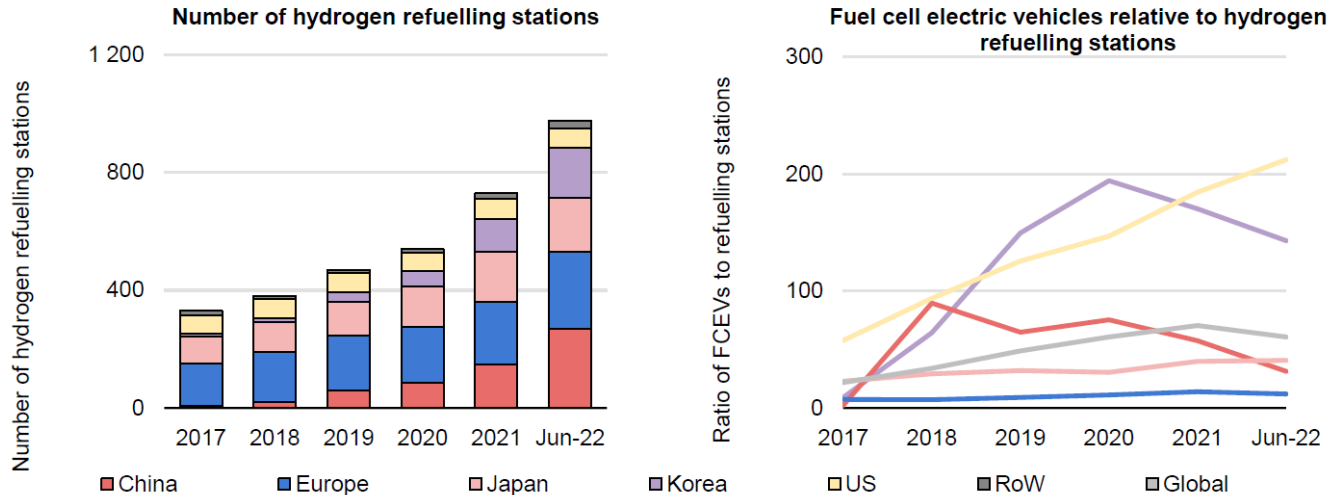
- Määrällisesti vedyn käytön kasvu tapahtuu jo nyt raskaan tieliikenteen puolella, joka on haastavinta saada toimimaan vain akkusähköisillä ratkaisuilla
- Valmistelussa oleva AFIR-asetus on osaltaan seuraus tästä kehityksestä



# Katsaus vedyn tieliikennekäytön kasvuun

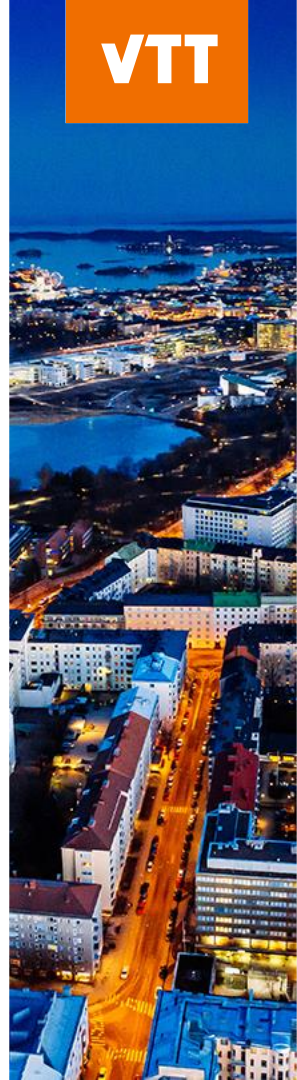
(IEA (2022), Global Hydrogen Review 2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>, License: CC BY 4.0)

Hydrogen refuelling stations by region and ratio of fuel cell electric vehicles to refuelling stations, 2017-June 2022



IEA. All rights reserved.

- Vedyn tankkausasemien määrän kasvu on kiihtymässä.
- Raskaalle liikenteelle ei ole vielä 700 bar nopean tankkauksen standardia (on valmistelussa), jolloin 350 bar on nyt ja lähivuosina vallitseva tankkauspain.



# AFID-direktiivistä AFIR-asetukseen

## ■ Direktiivit

- Direktiiveillä säädetään tavoitteista, joihin kaikkien EU-maiden on yllettävä. Maat saavat kuitenkin itse päättää laeista, joilla tämä toteutetaan.

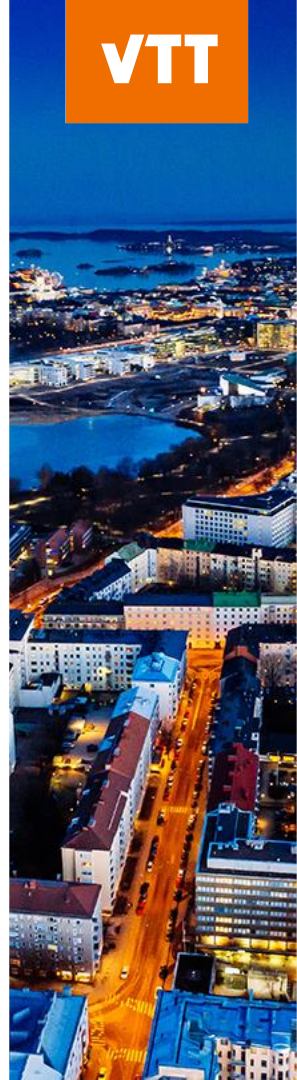
## ■ Asetukset

- Asetukset ovat sitovia säädöksiä. Niitä on sovellettava kaikilta osiltaan kaikkialla EU:ssa. Lähde: [https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/law/types-legislation\\_fi](https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/law/types-legislation_fi)

## Positions of the EU institutions on AFIR targets

	EC proposal	Every 200 km on TEN-T Core	EP draft position
<b>HRS</b>	Every 150 km along TEN-T Core and Comprehensive	Every 200 km on TEN-T Core	Every 100 km along TEN-T Core and Comprehensive
<b>HRS in urban nodes</b>	At least one in 424 large EU cities	Possibly, under a 2024 revision	At least one in 424 large EU cities
<b>HRS capacity</b>	Min. 2 t/day		Min. 2 t/day
<b>HRS</b>	Yes		Yes

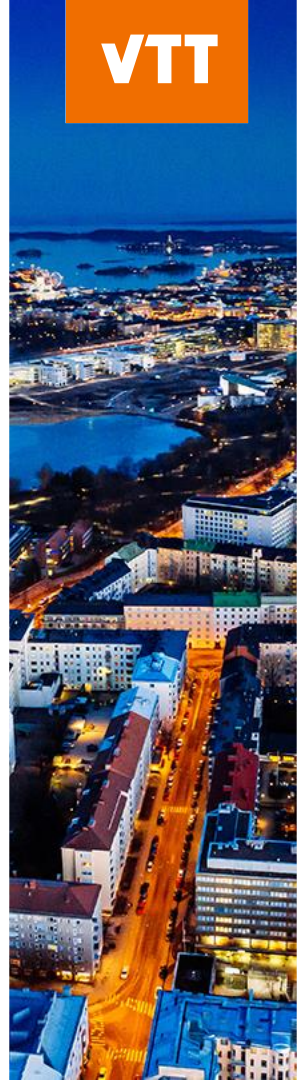
Source: Hydrogen Europe.



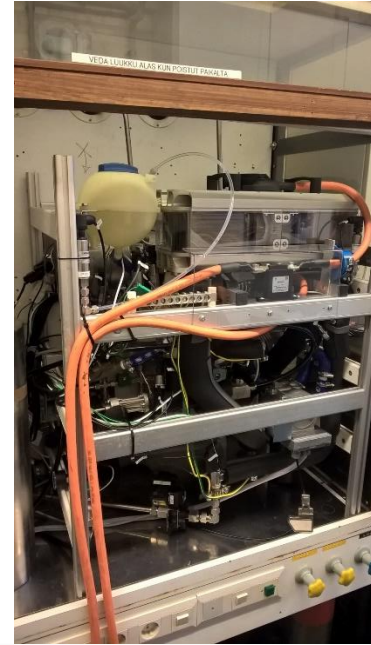
# Viimeisin versio (tilanne 18.11.2022) on Euroopan Parlamentin ehdotus 19.10.2022

[https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0368\\_FI.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0368_FI.html)

- Vedyn tankkausinfraa koskien ovat tärkeimmät alakohdat artiklassa 6:
- 1 kohta – 1 alakohta: Jäsenvaltioiden on varmistettava, että niiden alueella otetaan käyttöön vähimmäismäärä yleisesti saatavilla olevia vetytankkausasemia 31 päivään joulukuuta 2027 mennessä.
- 1 kohta – 2 alakohta: Tätä varten jäsenvaltioiden on varmistettava, että 31 päivään joulukuuta 2027 mennessä TEN-T-ydinverkossa ja kattavassa TEN-T-verkossa otetaan enintään 100 kilometrin välein käyttöön yleisesti saatavilla olevia vetytankkausasemia, joiden kapasiteetti on vähintään 2 tonnia päivässä ja joissa on vähintään 700 baarin jakelulaite. Nestemäistä vetyä on oltava tarjolla yleisesti saatavilla olevilla tankkausasemilla enintään 400 kilometrin välein.
- Jälkimmäinen sallii siis 350 bar jakelulaitteen käytön, mutta vaatimuksena on että pitää olla vähintään 700 baarin jakelulaite. Jaeltavan vedyn kokonaismäärälle eri painetasoilla ei määritetä minimikapasiteetteja.



# VTT:n vedyn liikennekäyttöön liittyvä tutkimus



# VTT:n vedyn liikennekäyttöön liittyvä tutkimus

- Vetytolltokennojen ja hybridijärjestelmien järjestelmäkehitystä
  - 1-100 kW järjestelmiä varavoimasta liikennesovelluksiin lähinnä kansallisissa projekteissa (PowerPEM, WorkingPEM, TopDrive, DuraDemo)
- Liikennekäytön vedyn laatuun (ISO 14687) liittyvää tutkimusta lähinnä EU-projekteissa (HyCoRA, HYDRAITE, MetroHyVe 2)
- Vedyn meriliikennekäyttöön liittyvää tutkimusta EU-projekteissa (mm. MARANDA, FLAGSHIPS), joissa vetyturvallisuusasiat ovat olleet keskeisessä asemassa
- Vedyn tieliikennekäyttöön (raskaissa ajoneuvoissa) liittyvää tutkimusta vuoden 2023 alussa alkavissa EU-projekteissa (2 projektia)
  
- Vedyn logistiikkaan liittyviä EU-projekteja ja pohjoismaisia projekteja (EVERYWH2ERE, HySTOC, Next Wave 1, Next Wave 2)
  - Next Wave 1:sta tutkimusesimerkki seuraavissa kalvoissa





# Next Wave tuloksia työpaketista WP2 - Logistics analysis (VTT, NHF, HS, HD, INE, KL)

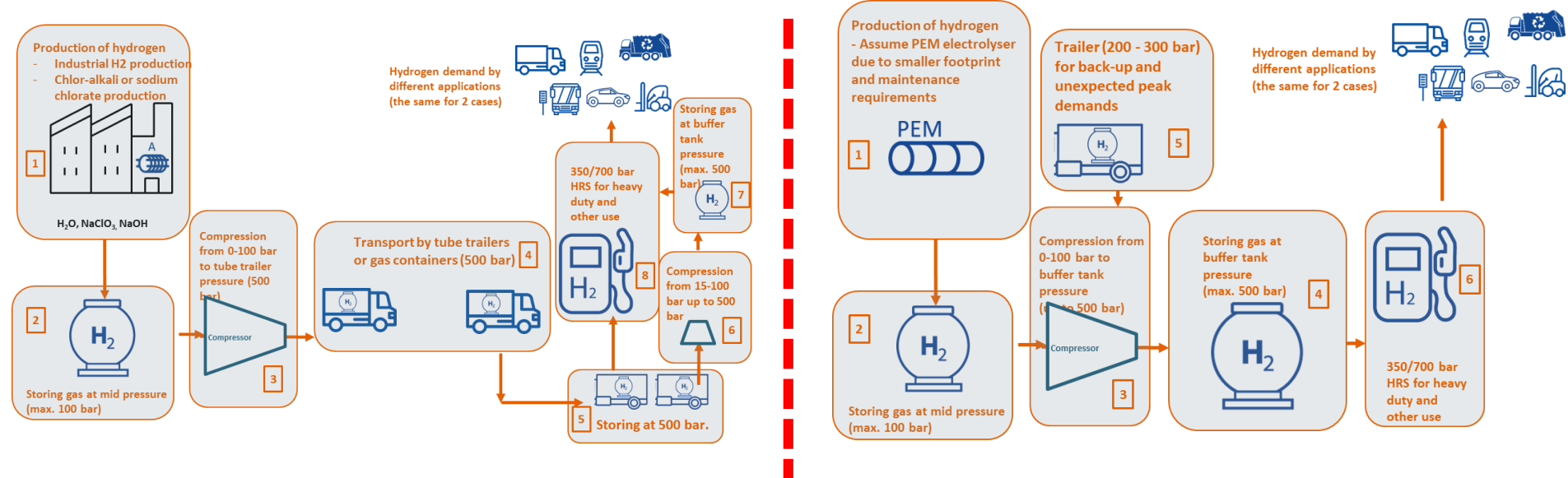
- D2.1 Available by-product hydrogen in the Nordic countries
- D2.2 Large-scale hydrogen use in Nordic industry 2020-2030
- D2.3 Nordic transport regulations for large-scale hydrogen transport
- D2.4 Hydrogen transport from large-scale production points to Nordic consumers
- D2.5 Detailed analysis for large-scale hydrogen transport in Finland
- Raportit ovat saatavilla :  
<https://www.nordicinnovation.org/programs/next-wave-next-nordic-green-transport-wave-large-vehicles>



# Miksi tämä WP2 (Logistics analysis of hydrogen) työ tehtiin?

- Projektia haettaessa ennakoitiin että AFID direktiivi tiukkenee ja kaikkiin pohjoismaihin tulee vaatimus tieliikenteen vetyinfrastruktuurille seuraavan 5-10 vuoden kuluessa. AFIR-asetuksen myötä tämä on nyt todellisuutta ja saadut tulokset luovat hyvää pohjaa jatkotarkasteluille.
- Tieliikenteen säädökset ja muut olosuhteet pohjoismaissa poikkeavat muusta Euroopasta jolloin Keski-Euroopan vedyn jakeluketjut (hydrogen supply chain, HSC) eivät todennäköisesti ole optimaalisia pohjoismaihin
- Kemian teollisuuden sivutuotevetyä tuotetaan paljon ja sitä voisi olla satavilla tieliikenteeseen.
- Tarvittiin yleiskuva kaikkien pohjoismaiden nykyisistä vedyn tuotannon ja kulutuksen paikoista, jotta saadaan kuva siitä onko mahdollista tuottaa tieliikenteen tarvitsema vety samoilla tuotantopaikoilla ja kuljettaa se sitten vedyn tankkausasemille (hydrogen refueling stations, HRS).

# Keskeinen kysymys: Onko parempi tuottaa vety tankkausasemalla vai keskitetysti ja kuljettaa se sitten tankkausasemalle?



Pohjoismaisia säädöksiä ja olosuhteita tutkittiin raporteissa D2.3 ja D2.4

# Päätulokset raportista D2.3 Nordic transport regulations for large-scale hydrogen transport

- Lainsäädäntö pohjoismaissa (erityisesti Suomi ja Ruotsi) mahdollistaa huomattavasti Keski-Eurooppaa raskaammat kuin Keski-Euroopassa.
- Puoliperävaunujen pituus on Suomessa 23 m ja Ruotsissa 24 m, mikä mahdollistaisi optimoidut ratkaisut vedyn kuljetukselle.
- Yleisten vaatimusten lisäksi on vaatimuksia VAK-kuljetuksille, jotka rajaavat Suomessa kaasukonttien maksimipainon 68 tonniin.

Country	Height	Width	Length		
			Lorry or Trailer	Road Train	Articulated Vehicle
All EU	4	2.55	12	18.75	16.50
Denmark	4	2.55	12	18.75	16.50
Finland	4.40	2.60	18	34.50	23
Iceland	4.20	2.55	12	22	16.50
Norway <sup>3</sup>	Not defined	2.55	12	19.50	17.50 <sup>4</sup>
Sweden <sup>5</sup>	Not defined	2.60	24	25.25	24

	Weight per non-drive axle	Weight per drive axle	Lorry 2 axles	Lorry 3 axles	Road Train 4 axles	Road Train 5 axles	Articulated Vehicle 5 axles
All EU	10	11.5	18	24	32	40	40
Iceland	10	11.5	18	26	36	40	44

	Road Train 6 axles	Articulated Vehicle 6 axles	Road Train 7 axles	Articulated Vehicle 7 axles	Road Train 8 axles	Articulated Vehicle 8 axles	Road Train 9 axles
Denmark	50	50	56	56			
Finland	56	56	60	60	64-68	64-68	69-76 <sup>7</sup>
Norway	50	50	60 <sup>8</sup>	60			
Sweden <sup>9</sup>	-	-	64/66	-	64/66	-	64/74

# Päätulokset raportista D2.4 Overview - hydrogen transport from large-scale production points to consumers in all Nordic countries

- Lasi- ja hiilikuitukomposiittisäiliöitä käyttävien konttien saatavuus on parantunut viime vuosina.
- Jokaiselle pohjoismaalle on löydettävissä optimaalinen ratkaisu, mikä riippuu lainsäädännöstä.
- Nyt saatavilla olevilla kaasukonteilla voidaan saavuttaa taulukon mukaiset maksimimäärät.
- Standardin (EN 17339:2020) muutos mahdollistaa samoissa hiilikuitukomposiittisäiliöissä korkeamman painetason (mm. 300 ->381 bar) mikä lisää kuljetettavan kaasun määrää.
- Maakohtaisilla räätälöidyillä ratkaisuilla kuljetusmäärät kasvavat huomattavasti, erityisesti Suomessa

Country	Low CAPEX solution	High CAPEX solution	High CAPEX solution, new EN 17339 standard
Denmark	894 kg UAC container (450 bar)	1,065-1,115 kg 40 ft container at pressure level 500 bar from Wystrach or Hexagon	1,300-1,350 kg 40 ft container at pressure level 635 bar from Wystrach or Hexagon
Finland	1,118 kg with B-link and two 40 ft UAC high cube containers (200 bar)	1,670 kg with B-link and two 40 ft containers (300 bar)	2,200-2,300 kg with B-link and two 40 ft containers at 500 bar
Iceland	734 kg UAC container (350 bar)	1,065-1,115 kg 40 ft container at pressure level 500 bar from Wystrach or Hexagon	1,300-1,350 kg 40 ft container at pressure level 635 bar from Wystrach or Hexagon
Norway	894 kg UAC container (450 bar)	1,065-1,115 kg 40 ft container at pressure level 500 bar from Wystrach or Hexagon	1,300-1,350 kg 40 ft container at pressure level 635 bar from Wystrach or Hexagon
Sweden BK1	1,008 kg with three 20 ft UAC containers (250 bar)	1,505 kg with three 20 ft containers from Wystrach (500 bar)	1,800-1,900 kg with three 20 ft containers
Sweden BK4	1,305 kg with three 20 ft UAC containers (350 bar)	1,505 kg with three 20 ft containers from Wystrach (500 bar)	1,800-1,900 kg with three 20 ft containers

# Katsaus raportin ” D2.5 Detailed analysis for large-scale hydrogen transport in Finland” oletuksiin ja tuloksiin

- Oletettiin koko Suomen liikennevedyn tuotanto kahdessa pisteessä (Kilpilahti Porvoossa ja Takalaanila Oulussa)
- Tankkausemien etäisyys ja siten kaasukontin kuljetusaika ovat keskeisiä kustannustekijöitä.
- Yksi kriittinen arvo on 4,5 tunnin ajoaika, koska kuljettajien ajo- ja lepoaika tulee olla sellainen että kuljetus voidaan hoitaa yhden kuljettajan voimin ilman yöpymistä.
- Oletuksena oli AFIR-asetuksen alkuperäinen muoto Fit for 55:ssä eli asemat 150 km:n välein vain Ten-T ydinverkolla, 2000 kg/päivä kapasiteetti ja 50% käyttöaste eli 1000 kg/päivä tankkausmäärä.
- Aseman kustannus laskettiin NREL:n (HDRSAM) –mallia käyttäen ja vedyn tuotanto- ja paineistuskustannus VTT:n omia malleja käyttäen.



# Vedyn kuljetuskustannus eri asemille



Name and address	Neste Oyj Porvoon jalostamo,			Kemira Oulu, Typpitie,		
	km	avg	h	km	avg	h
<b>1</b> Neste Truck Naantali Luolala Viestitie 1, 21100 NAANTALI Neste Truck Turku Satama	215	76,7	2,8	628	71,5	7,5
<b>2</b> Tuontiväylä Tuontiväylä, 20200 TURKU Neste Truck Vihti Myllylampi	206	77,3	2,7	626	71,7	7,4
<b>3</b> Hiidenmäentie 268, 03100 VIHTI Neste Truck Helsinki	82	73,4	1,1	624	72,7	7,3
<b>4</b> Vuosaari Rahtarinkatu 4, 00980 Neste Truck Mäntsälä	32	65,3	0,5	601	77,4	6,6
<b>5</b> Tuuliruusu Lahden moottoritie 1150,	53	64,4	0,8	553	76,6	6,1
<b>6</b> Neste Truck Hartola Yhdistie Yhdistie 2, 19600 HARTOLA	171	80,0	2,1	428	74,0	4,9
<b>7</b> Neste Truck Jyväskylä Kirri KIRRINTIE 2, 40270 JYVÄSKYLÄ Neste Truck Pihlkipudas	266	77,5	3,4	333	73,5	3,9
<b>8</b> Rupontie 3, 44800 PIHTIPUDAS Neste Truck Kärsämäki	391	75,0	5,2	207	75,4	2,3
<b>9</b> Paanulinna Haapajärventie 1, 86710 Neste Truck Oulu	472	75,2	6,3	127	74,4	1,5
<b>10</b> Logistiikkakeskus Terminaalitie 1, 90400 OULU Neste Truck Kemimaa	596	75,2	7,9	9	51,0	0,2
<b>11</b> Teollisuuskyläntie Teollisuuskyläntie 15, Neste Truck Loviisa	710	74,8	9,5	112	68,8	1,4
<b>12</b> Ankkurituuli Länsikaari 3, 07900 LOVIISA Neste Truck Kotka Mussalo	52	75,8	0,7	583	73,6	6,7
<b>13</b> Merituulentie, Mussalontie portti, 48400 KOTKA	98	74,6	1,3	587	73,2	6,8

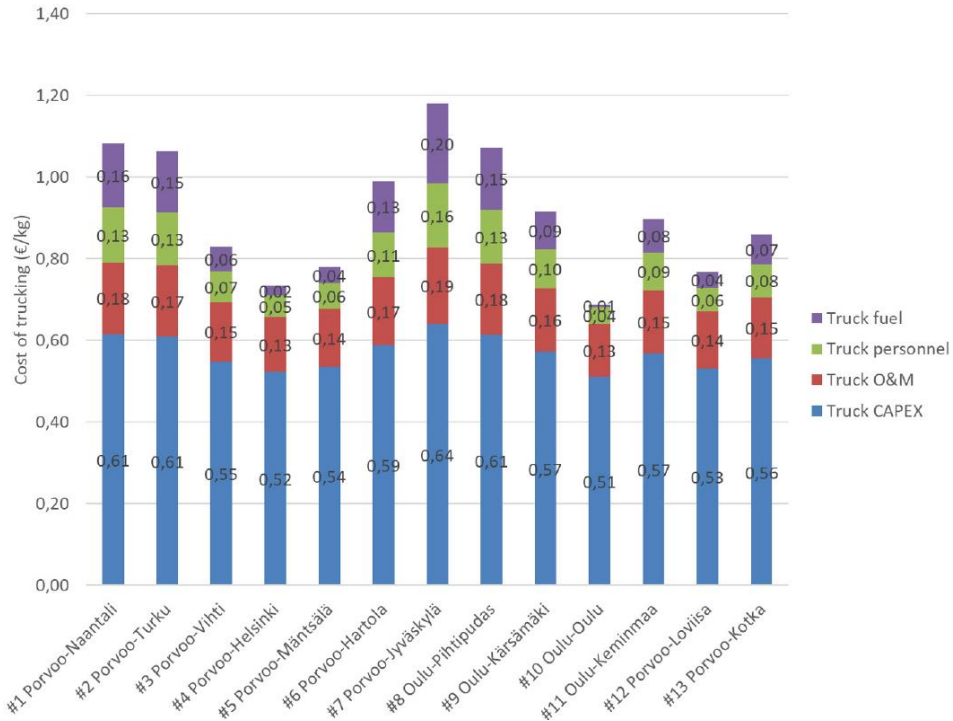


Figure 5. The core network and comprehensive traffic network in Finland<sup>9</sup>. Numbered circles indicate potential locations for the HRSs. Filled green dots illustrate the possible locations for semi-centralised hydrogen production facilities in Porvoo and Oulu<sup>9</sup>.

# Tulokset summattuna

- Näillä tankkausmäärillä (1000 kg/päivä) vaikuttaa asemalla tuotettu vety olevan huomattavasti kalliimpaa kuin keskitetysti tuotettu ja paikalle kaasukonteissa kuljetettu vety.
- Suurin selittävä tekijä on sähkön hinta, koska keskitetyssä tuotannossa on oletettu kantaverkkoliityntä ja paremmat mahdollisuudet tuottaa vetyä edullisen sähkön hinnan aikaan.
- Merkittävä osa hintaerosta tulee myös paineistuksen kustannuksesta ja oletuksesta laitteiden käyttöasteille.
- Tulokset ovat hyvin yhteneviä “H2FC HDT study” – tutkimuksen tulosten kanssa.

Table 1. Cost data of hydrogen (€/kg, excl. margin) from H2FC HDT study (FCH-JU 2020) for PEM electrolyser (PEMEL)

bar (year)	Production	Conditioning	Transport	Refuelling	Total
350 (2023)	3.5	0.8	0.9	1.5	6.7
350 (2030)	2.4	0.5	0.7	0.7	4.3
700 (2023)	3.4	0.8	0.8	1.9	6.9
700 (2030)	2.5	0.5	0.7	1.0	4.7

<https://www.nordicinnovation.org/programs/next-wave-next-nordic-green-transport-wave-large-vehicles>

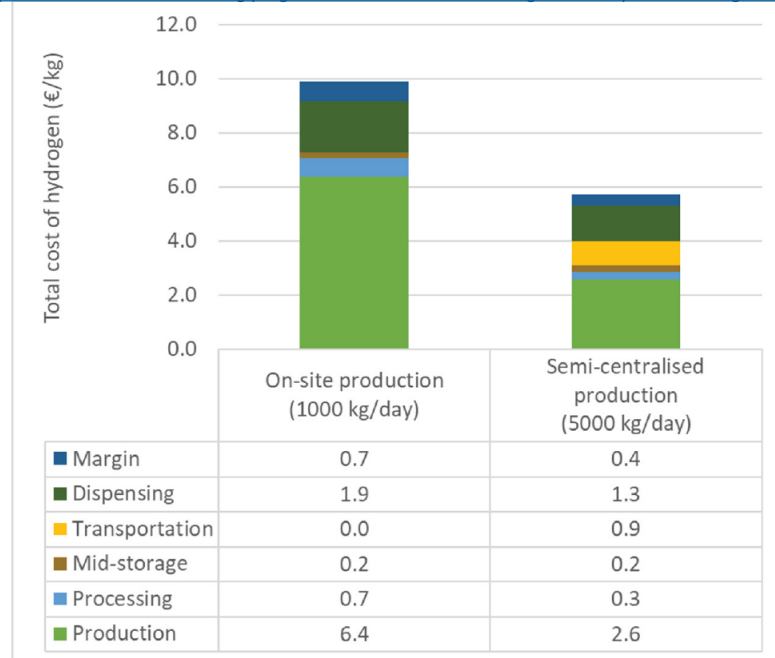


Figure 8. Total cost of hydrogen for heavy-duty trucks (350 bar) considering on-site production (1,000 kg/day at 50 €/MWh) and semi-centralised production (5,000 kg/day at 30 €/MWh) of hydrogen. If the price of electricity increases by 10 €/MWh, the cost of hydrogen increases by 0.5 €/kg.



# Next Wave –projektin ja AFIR-asetusluonnoksen pohjalta tulevia ajatuksia lainsäädännön kehittämiseksi ja T&K -hankkeille

- Vedyn kontti- tai trailerikuljetuksen painetason nostaminen tasolle 500 bar mahdollistaa todennäköisesti kustannustehokkaimman ratkaisun lisätä asteittain vedyn jakelun määrää asemilla, joilla on AFIR-asetusluonnoksen vaatimus 2000 kg/päivä –jakelukapasiteetille. Tutkimus tämän kuljetuspainetason edistämiseksi voisi olla perusteltua.
- Kontti- tai trailerikuljetuksien riskit ovat kuljetuksen lisäksi operoinnissa tankkausasemilla (varastojen vaihtotilanteet). Riskiarviot ja niiden perusteella tehdyt suositukset parhaille käytännöille tankkausasemien vetyvarastojen sijoittamisen suunnittelulle sujuvoittaisi asemien luvitusta.
- ADR-kuljetusrajan (68 tonnia) nostaminen painevedyn kuljetuksen osalta 76 tonniin mahdollistaisi kahden 40 jalan (500 bar) kontin kuljettamisen yhdellä kuljetuksella, millä olisi merkittävä kustannusvaikutus. Rajan nosto mahdollistaisi paremmin edullisempien lasikuitukomposiittisäiliöiden käytön vetykonteissa.