

Vety käyttövoimana työkoneissa ja osana energiajärjestelmää

Johannes Hyrynen

**Research Manager – Transport Technologies – Lead Partnerships
VTT Technical Research Center of Finland**

Sisältö



VTT – Vetytutkimus – VTT työkonetutkimus



Vedyn arvoketju ja työkoneet – erilaiset vetyratkaisut



Keino –statuskatsaus - otoksia tuloksista



Työkoneiden ja raskaan liikenteen sovelluksia

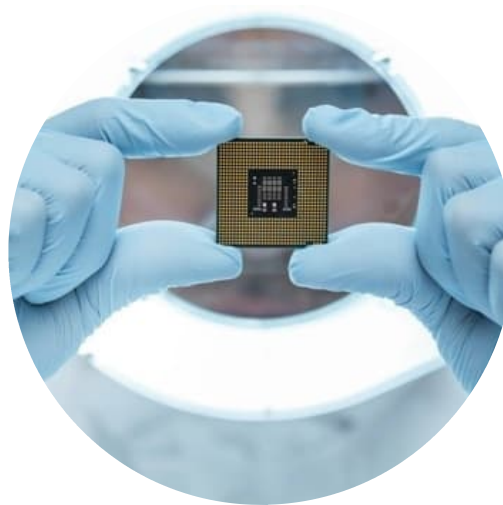


Yhteenveto

VTT – Technical Research centre of Finland



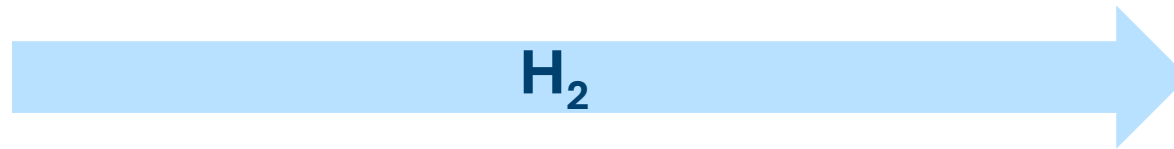
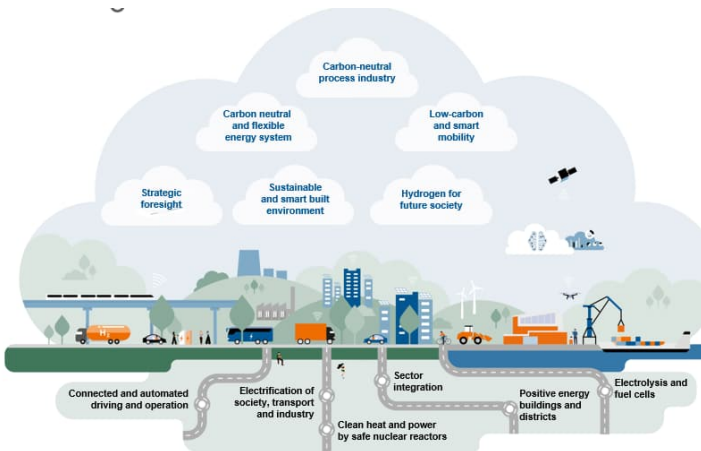
Carbon neutral solutions



Digital technologies



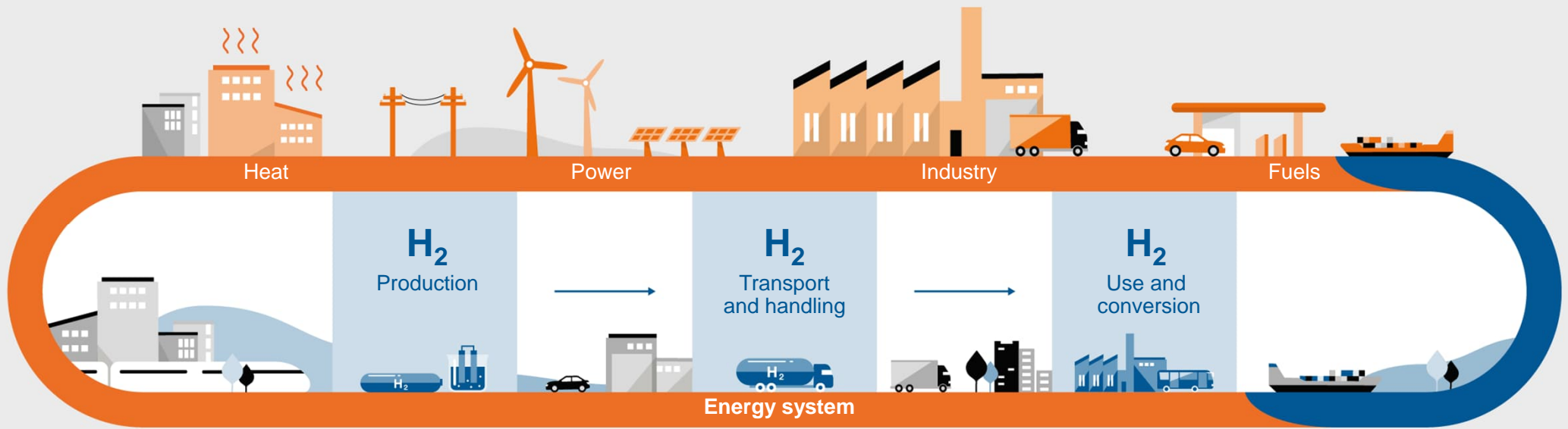
Sustainable products and materials



296 M€ operating income	2,390 employees	457 patent families
49 % of the net turnover from abroad	1,100 customers	598 scientific articles

VTT brings together companies, public sector and top international research –cooperation creates scientific and technological breakthroughs.

Hydrogen for society



VTT Key offering

Electrolyser and fuel cell systems development, design, manufacturing and operation

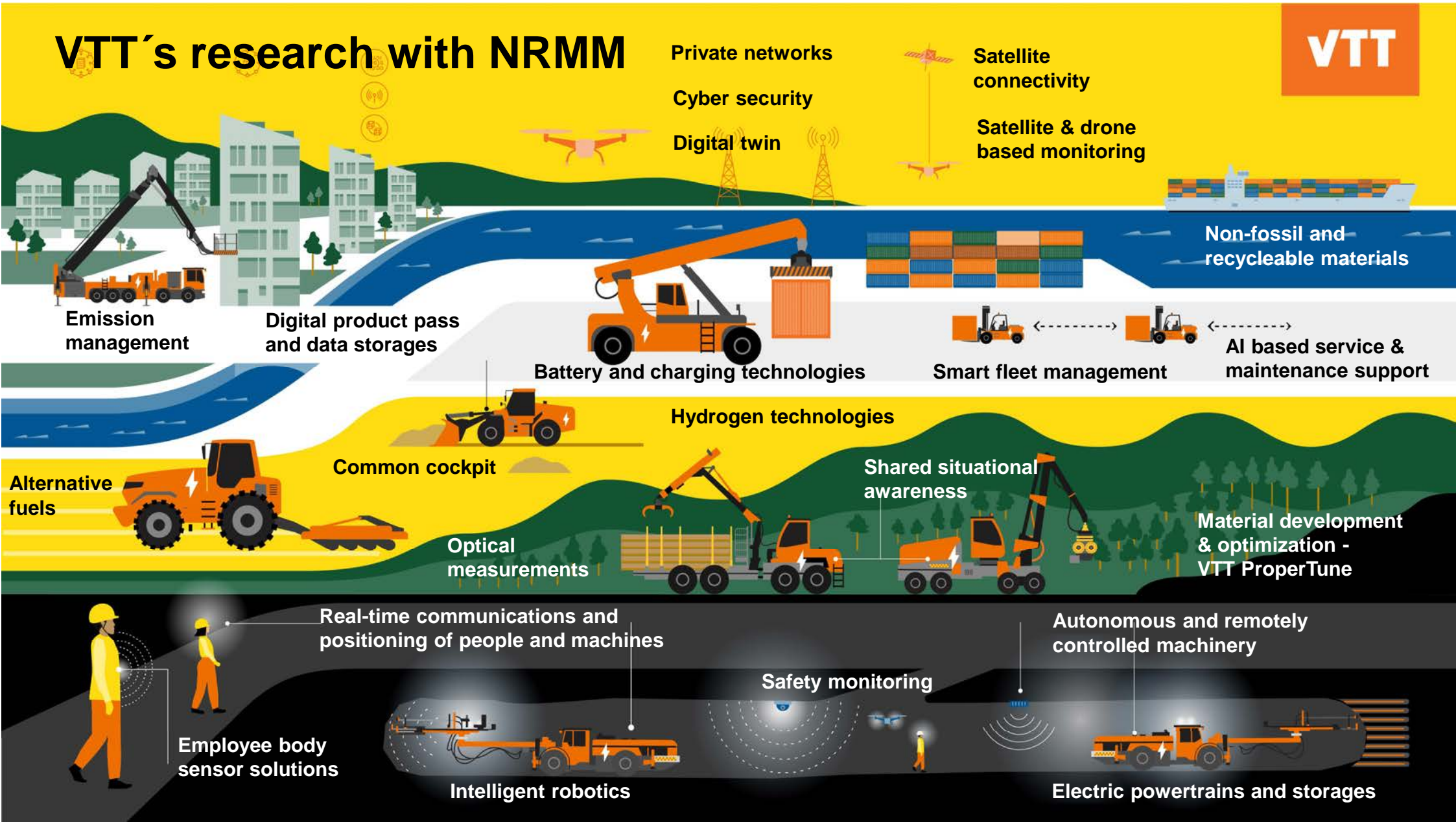
Hydrogen quality, storage regulations and safety

Hydrogen and power to x systems

Hydrogen fuelling stations, working machines and heavy-duty vehicles

VTT's research with NRMM

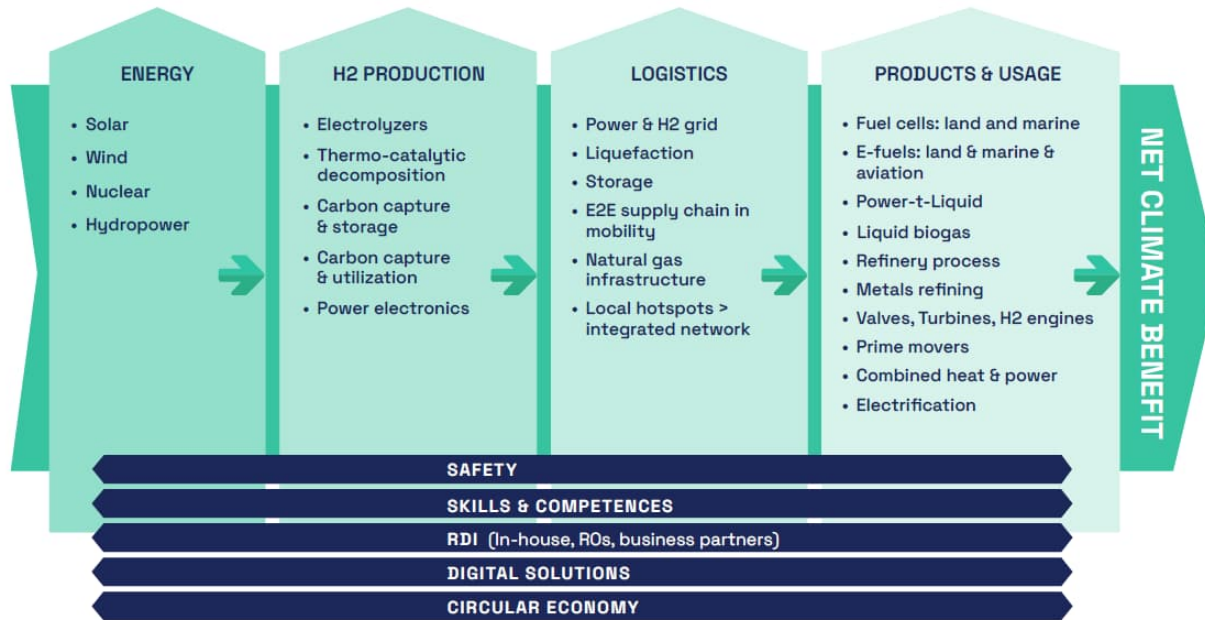
VTT



Vedyn arvoketju ja työkoneet – erilaiset vetyratkaisut

Vedyn arvoketju

FINNISH HYDROGEN VALUE CHAINS



<https://h2cluster.fi/>

Paljon yrityksiä jäsenenä ja käynnissä paljon hankkeita joista osa toteutusta – paljon myös kehityshankkeita

White paper - A systemic view to the Finnish Hydrogen economy today and in 2030 - Common playbook for the way forward

NRMM¹

- Wide range of application power small (<18/19 kW) to large (>560 kW)

¹Non-road mobile machinery' means any mobile machines, transportable equipment or vehicle with or without bodywork or wheels, not intended for the transport of passengers or goods on roads and includes machinery installed on the chassis of vehicles intended for the transport of passengers or goods on roads

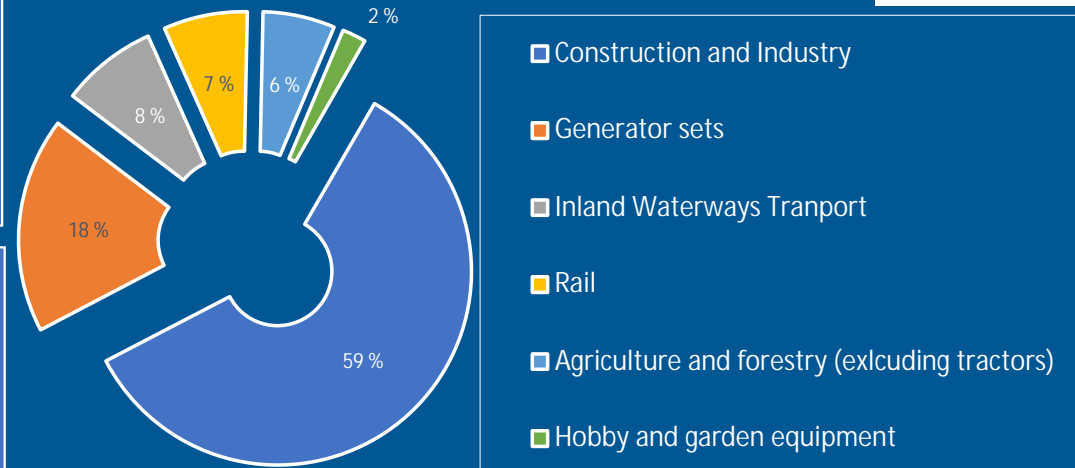
NRMM

2% of EU27's total GHG emissions²

⁴EU production value
76 €billion per year (2020)

Agriculture, forestry machinery, machinery for mining, quarrying and construction

Contribution to GHG emission by NRMM sector



²Source: Study in view of the revision of directive 97/68/EC on non-road mobile machinery (NRMM) - an emissions inventory and impact assessment - Publications Office of the EU (europa.eu) (2010)

Agriculture and Forestry

- Harvesters
- Cultivators
- Tractors³

Construction

- Excavators
- Loaders
- Bulldozers
- Forklifts
- Cranes

Railway

- Locomotives
- Railcars

Inland Waterway

- Inland waterway vessels³

Mines and Quarrying

- Underground trucks
- Mining loaders
- Excavators

Gardening/ Handheld Equipment

- Chainsaws
- Lawnmowers

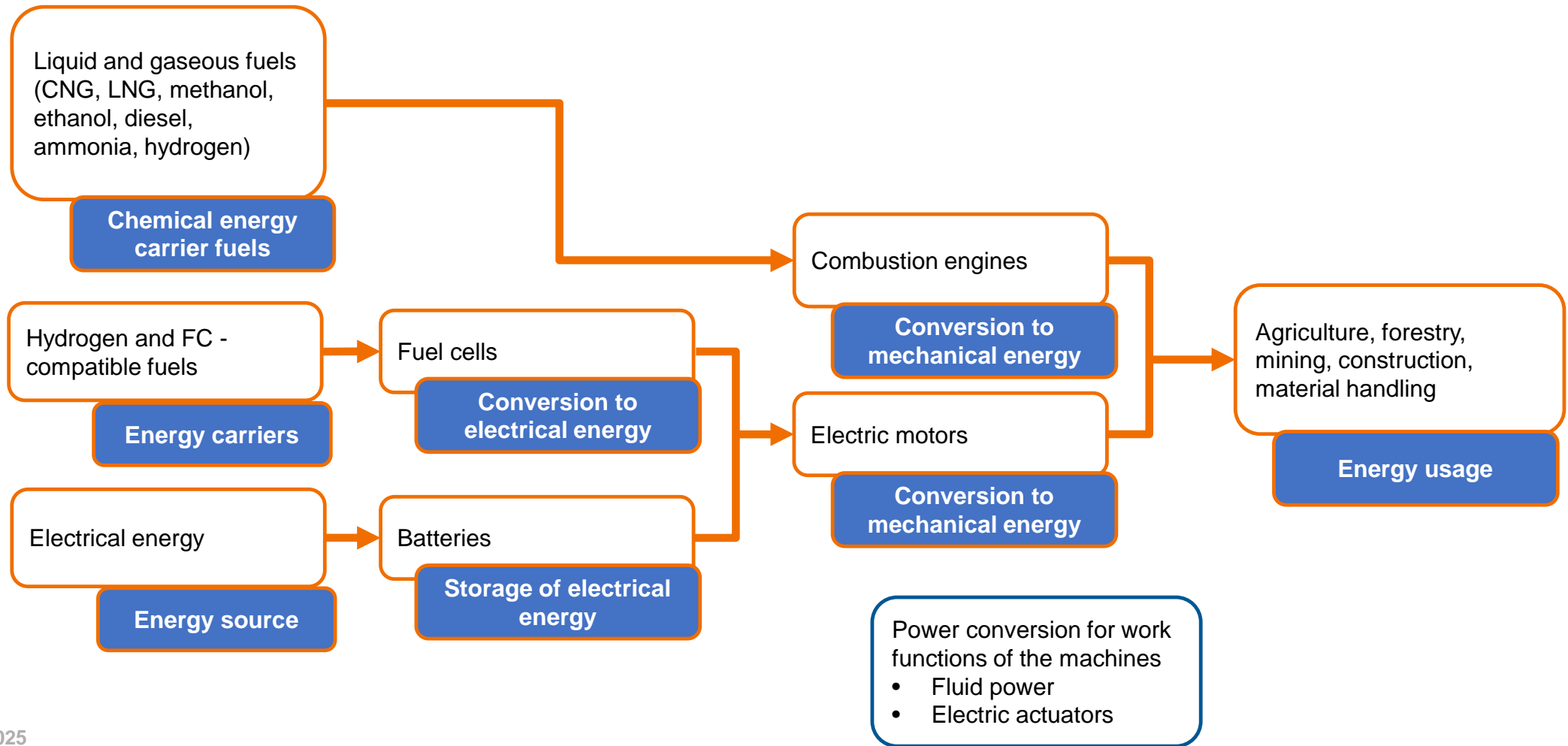
Misc.

- Generators (non-stationary)

³not covered by EU gaseous and particulated emission limits

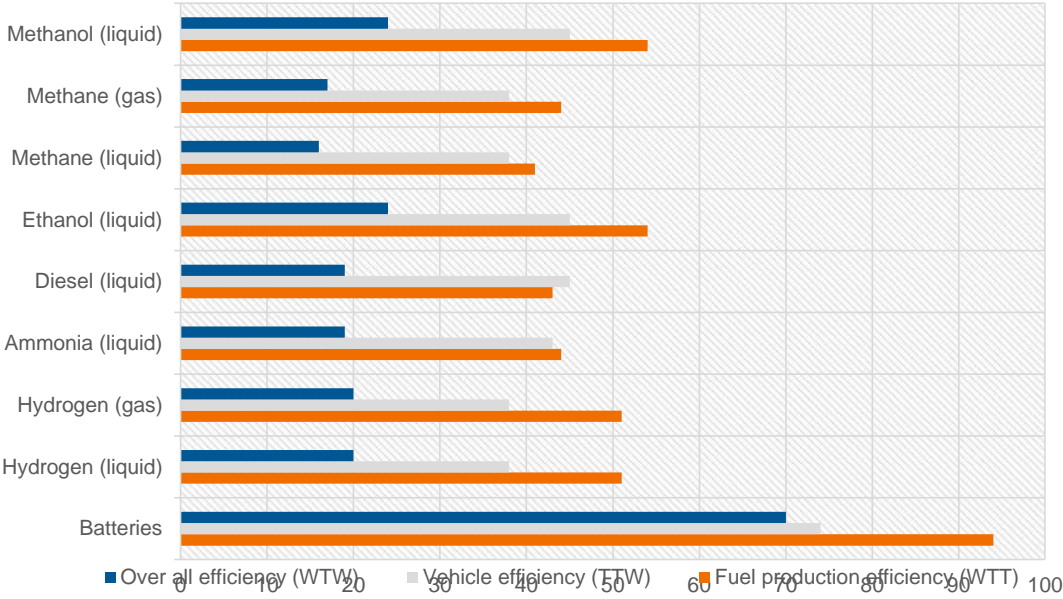
⁴Statistics | Eurostat (europa.eu)

Energian kantajat ja käyttövoimaratkaisut



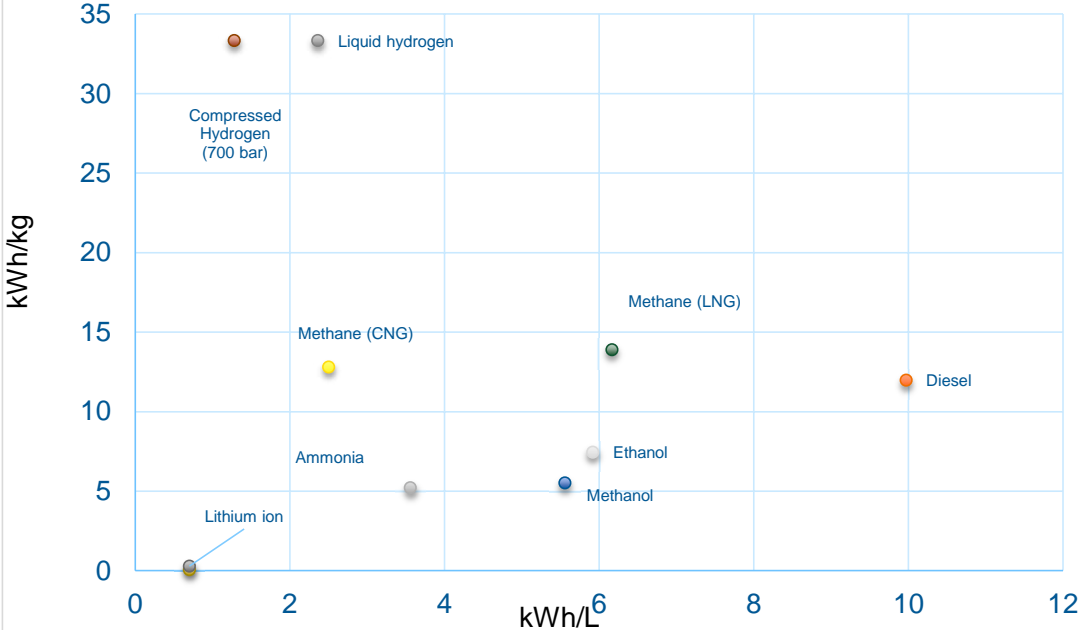
Energian kantajat ja käyttövoima: hyötysuhde ja energiatiheys

Well to Wheel energy efficiencies

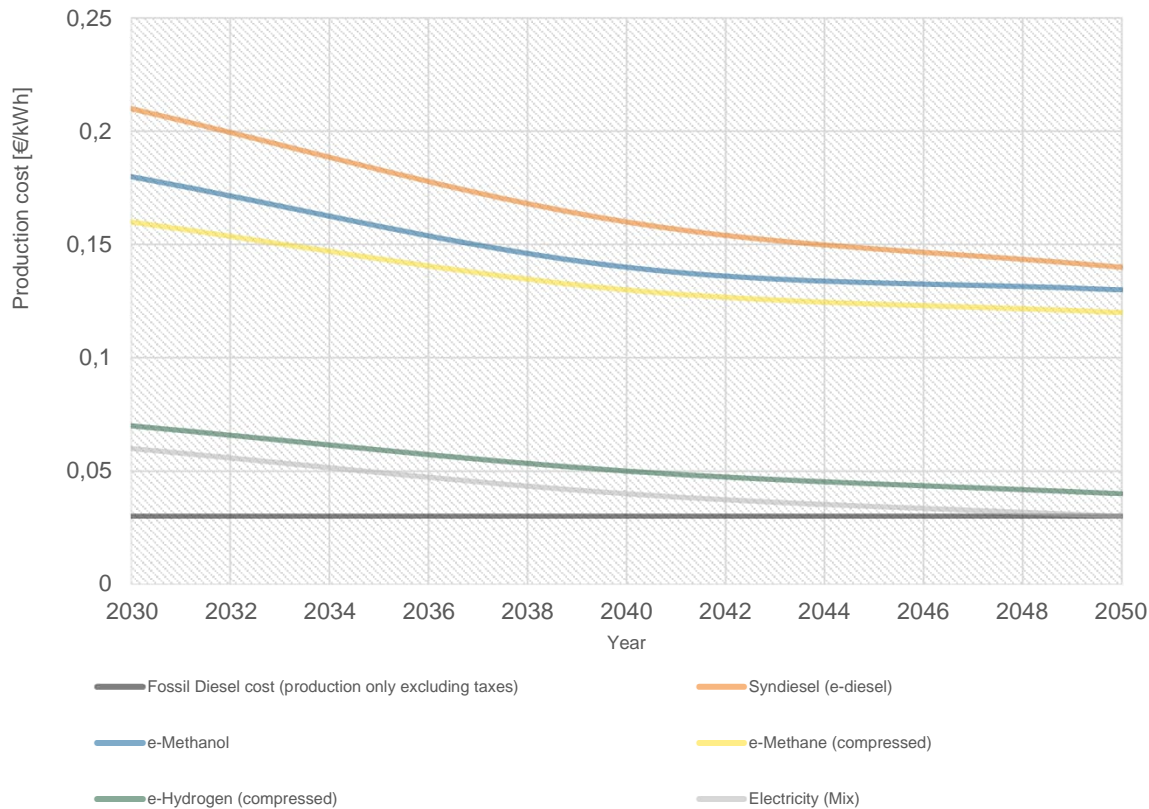


*ICE efficiency may vary depending on the engine type and load point. Also, drivetrain losses influence TTW efficiency

Volumetric and gravimetric energy density



Energian kantajat ja käyttövoima: kustannukset



Estimated production cost in Finland, sources: [1](#), [2](#), [3](#), [4](#)

Production costs for fossil diesel estimated from production costs in countries that supply oil to Finland (UK, Norway, United states). Due to the sensitivity to petroleum product volumes, production costs remain constant.

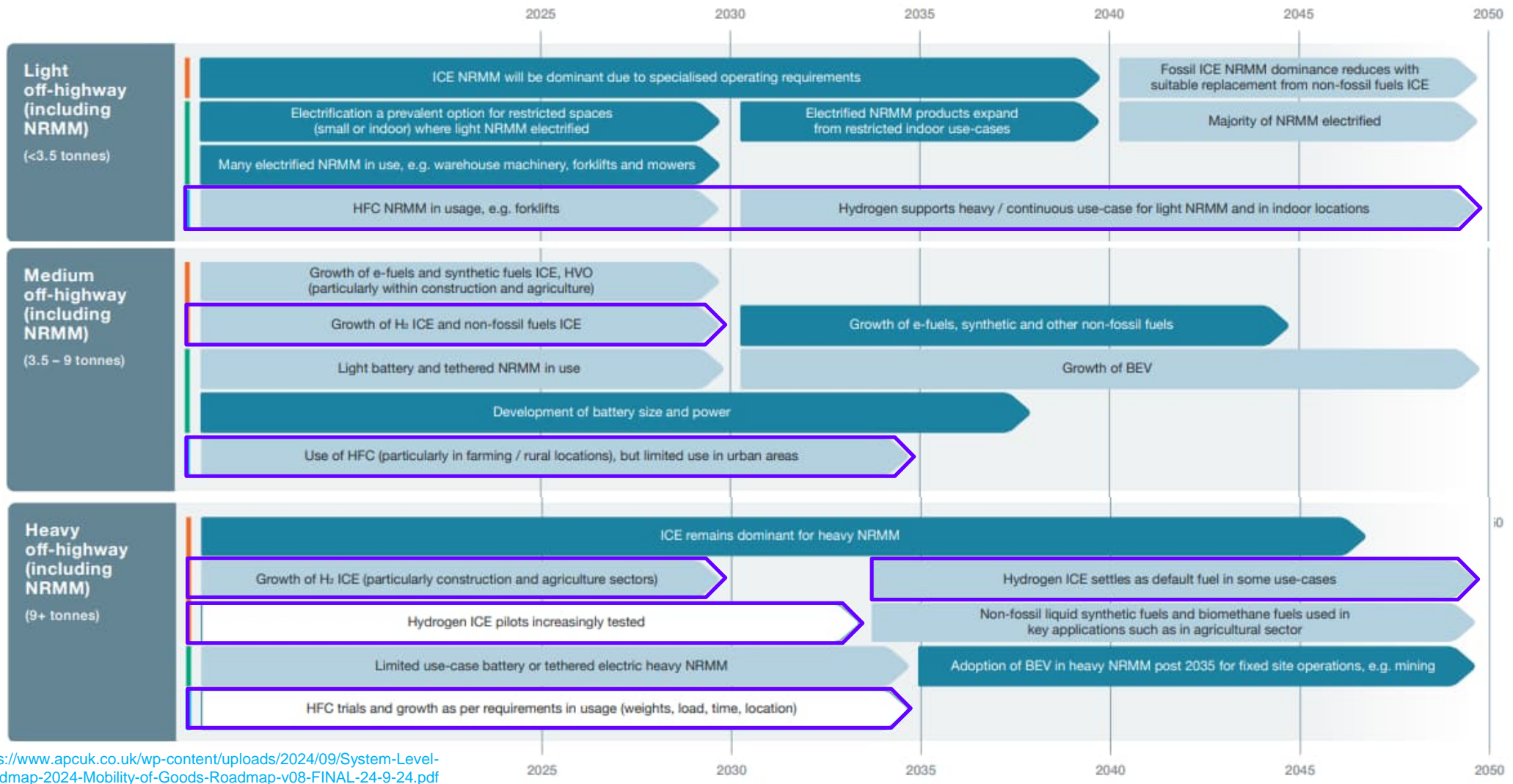
Laskelmia työkonesovelluksiin liittyen:

- E-metanoli voisi korvata fossiilisen dieselin käyttökohteissa, joissa on kohtuullinen energiantarve.
- E-metaani on vähiten lupaava e-pohjainen polttoaine tulevaisuuden NRMM:lle, tarjoten vähiten hyötyjä annetuista vaihtoehdoista.
- Vety on houkutteleva TTW- ja kustannusnäkökulmasta, mutta sillä on alhainen energian tilavuustiheys, mikä rajoittaa sen käyttöä sovelluksiin, jotka voidaan tankata usein.
- Suurin hidaste e-pohjaisten polttoaineiden käyttöönotolle on niiden korkeat kustannukset. Esimerkiksi synteettisen dieselin energiakustannukset voivat olla 2-4 kertaa korkeammat kuin fossiilisen dieselin vielä vuonna 2050.
- Akkusähkösovellukset tarjoavat ylivoimaisen suorituskyvyn voimansiirron tehokkuudessa ja käyttökustannuksissa, mutta niillä on rajoituksia energian kantokyvyssä, mikä aiheuttaa haasteita energiantensiivisille ja off-grid-sovelluksille.

Publication: R. Pettinen, S. B. Shah, T. Galimova, C. Breyer, S. Norouzi and S. Repo, "A Case Study of Mechanisms for Decarbonizing Four Different Non Road Mobile Machines Segments" *Fuels*. (submitted, review under progress)

www.decarbotool.com

Tiekartta eri käyttövoimien kehittämisestä työkoneissa



TCO vertailu: raskas tavaraliikenne

Akkusähkökäyttöiset ajoneuvot ovat kustannustehokkain vaihtoehto, kun niitä sovelletaan pieniin kuorma-autoihin (18 t) lyhyillä matkoilla (< 200 km/päivä).

Matkojen pituuden kasvaessa (> 200 km/päivä) ja erityisesti pidemmillä ajomatkoilla polttokennoratkaisut tulevat myös kilpailukykyisiksi, koska vedyn varastoinnin ja ylläpidon kustannukset ovat alhaisemmat.

Suuremmille kuorma-autoille (42 tai 76 t) vetykäyttöinen polttomoottori nousee parhaaksi voimansiirtovaihtoehdoksi sen alhaisempien hankintakustannusten vuoksi, vaikka sen hyötysuhde onkin alhaisempi.

Infrastruktuurin nopea kehitys on olennaista kestävien vaihtoehtoisten teknologioiden, kuten akku- ja polttokennosähköajoneuvojen, laajan käyttöönoton maksimoimiseksi.

[Total cost of ownership analysis for hydrogen and battery powertrains: A comparative study in Finnish heavy-duty transport](#) Alessandro Magnino, Paolo Marocco, Aleksandra Saarikoski, Jari Ihonen, Markus Rautanen, Marta Gandiglio

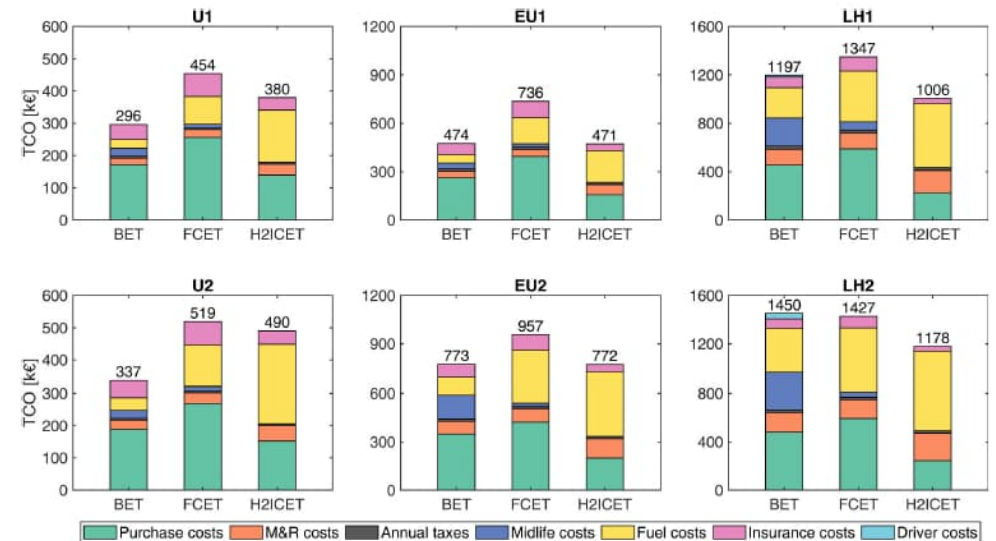
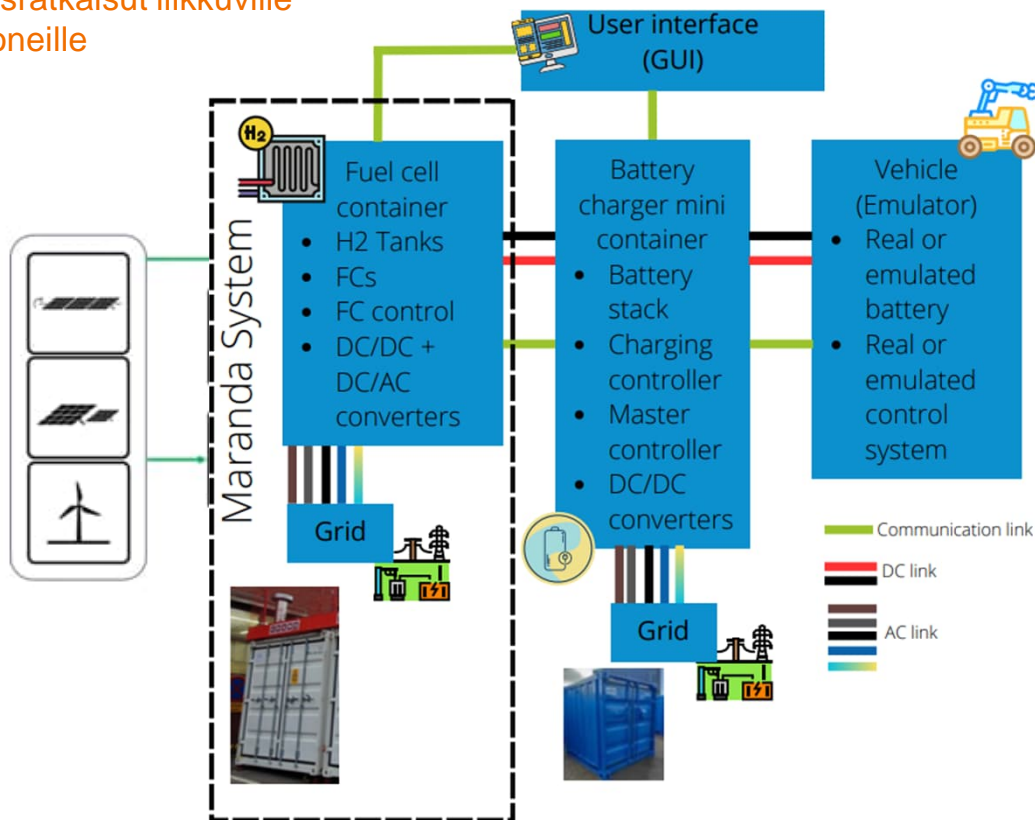


Fig. 4. Total cost of ownership (TCO) for the six investigated case studies. M&R refers to "Maintenance and repair" costs. Grid electricity price is assumed equal to 0.10 €/kWh (0.35 €/kWh in fast recharging spots) and hydrogen price equal to 5 €/kg.

Mobiiligeneraattorit /sähkövarastot / lataus

Uusiutuvalla energialla
toimivat mobiilit
latausratkaisut liikkuville
työkoneille



- Tutkimusprojekteissa on kehitetty polttokennojärjestelmä, joka lataa kiinteää akkua puskurina hybridille tai sähköistetylle työkoneelle off-grid-skenaarioissa. Järjestelmä on suunniteltu simulointimalleja hyödyntämällä ja järjestelmän toimivuutta on validoitu kokeellisesti.
- Puskuriakku varastoi ja siirtää energiaa suoraan työkoneen akulle, mikä taas mahdollistaa polttokennon toiminnan tasaisella teholla silloin, kun työkoneita ei ladata
- Konttiratkaisu soveltuu polttokennon lisäksi myös muihin vaihtoehtoisiin energian kantajaratkaisuihin, jotka ovat mahdollisia off-grid-sovelluksissa.

Keino - otoksia tuloksista statuskatsaus

KEINO

Vetykäyttöiset työmaakoneet – näkymiä kehityksen nykytilaan

Helmi­kuu 2024

Johdanto

KEINO



(Generated with AI, Copilot Designer)

- Aihe: Vety- ja polttokennoteknologia työmaakoneissa.
- Tavoite: Ennakoivan tiedon tuottaminen vetykäyttöisten työmaakoneiden kehityksen tilasta, tulevaisuuden näkymistä ja tarjonnan kehittymisestä Päästöttömät työmaat Green Dealin käyttöön ja laajemmin julkisia hankintoja tekeville organisaatioille.
- Painopiste: Raskaat rakennustyömaille soveltuvat työkoneet ja laitteet.
- Aineisto ja lähestymistapa: Lähdemateriaalina käytetty internetin vetyaihealueen uutissivustolta koostettua data-aineistoa, jota on analysoitu ns. suurilla kielimalleilla (LLM) hyödyntäen.

Kehitystyön kohteena

- Vedyn hyödyntäminen liikkuvien työkoneiden käyttövoimana
 - Työkoneiden voimalinjan sähköistäminen vety-polttoaknnoteknologiolla
 - Vetyä polttoaineena käyttävät polttomoottorit
 - Monipolttoainemoottorit (esim. vety ja diesel)
 - Osin kyse olemassa olevien työkoneiden käyttövoimakonversioista.
- Vedyn tankkausratkaisut
 - Siirrettävät vedyn tankkausasemat.
- Vedyn hyödyntäminen sähköntuotantoon työmailla ja muissa kohteissa, joissa verkkovirtaa ei ole saatavissa tai vain rajallisesti
 - Siirrettävät polttokennogeneaattorit eri kokoluokissa.

Nykytila: kenen toimesta uusia ratkaisuja kehitetään?

- Euroopassa useita kone- ja laitevalmistajia, jotka kehittävät vety- ja polttokennokäyttöisiä koneita ja generaattoreita työmaakäyttöön.
 - Esim. JCB, Liebherr, Manitou Group, Volvo CE, EODev, SFC Energy.
- Aasiassa kehitystyötä tekevät japanilaiset, kiinalaiset ja korealaiset yritykset.
 - Esim. Komatsu, Kubota, FAW Jienfang, Sany, Zoomlion, Hyundai Construction Equipment ja Hyundai Mobis, Doosan.
- Infrastruktuuri- ja rakennusalan yritykset ja konevuokraajat tärkeitä kumppaneita vetykäyttöisten työkoneiden kehityksessä ja pilotoinnissa.
 - Euroopassa esim. ACCIONA, Dura Vermeer, Implen Norway, Jos Scholman, Mace Group, Mourik, LEONHARD WEISS, Skanska.
 - Pohjois-Amerikassa esim. United Rentals
- Julkinen sektori kannustanut kehitystä t&k-ohjelmien, rahoitustuen, asiantuntijaorganisaatioiden ja pilotointimahdollisuuksien kautta esim.
 - Britannia, Hollanti, Norja, Ruotsi, EU, Etelä-Korea, Japani.

Kehityshankkeita (Kehitysvaihe perustuu uutisten julkaisuajankohtaan)

Yritys	Mallin nimi	Koneen tyyppi	Järjestelmä	Kehitysvaihe
AFC Energy	H-Power	Sähkögeneraattori	Polttokennojärjestelmä	Käytössä
Aggreko		Sähkögeneraattorit	polttomoottori-/polttokennojärjestelmät	Kehitys, demonstraatio
Bramble Energy		Sähkögeneraattori (perustuu painettuun piirilevyyn, PCBFC™)	Polttokennojärjestelmä	Kehitys, testaus ja kokeilu
EODev	GEH2	Sähkögeneraattorit	Polttokennojärjestelmä	Käytössä
GeoPura		Sähkögeneraattorit	Polttokennojärjestelmä	Pilottikäyttö
H2 Portable		Sähkögeneraattorit	Polttokennojärjestelmä	Testaus
H2SYS		Sähkögeneraattori	Polttokennojärjestelmä	Kehitys
SFC Energy AG	H ₂ Genset	Sähkögeneraattorit	Polttokennojärjestelmä	Käytössä
TECO 2030 ASA	FCM400	Sähkögeneraattori	Polttokennojärjestelmä	Kehitys, pilottikäyttö
ULEMCo, Revolve Technologies		Sähkögeneraattori, 50 kW	Polttomoottorijärjestelmä	Kehitys
Blue World Technologies		Polttokennojärjestelmät koneille ja aggregaateille	Polttokennojärjestelmä (metanoli)	Kehitys
HyMove		Polttokennojärjestelmät koneille ja aggregaateille	Polttokennojärjestelmä	Kehitys
PowerCell Sweden Ab	MS-100	Polttokennojärjestelmä meri- ja maastoaajoneuvoille	Vetypolttokennojärjestelmä	Käytössä
Toshiba ESS		Polttokennomoduuli (200 kW)	Polttokennojärjestelmä	Kehitys
E-Trucks Europe, DAF		Kuorma-autot, 3-akseliset	Polttokenno ja akkupaketti	Käytössä
FAW Jiefang		Kuorma-autot ja dumpperit, vetykäyttöiset	Ei määritelty	Prototyyppi
SANY		Betonisekoitusautot (110 kW polttokennojärjestelmä)	Vetypolttokennomoottori	Käytössä
Terberg Technik	E-PTO ja E-PTO-H2	Kuorma-autojen sähköinen voimanotto	sähkö ja vety käyttövoimajärjestelmä	Käytössä
Volvo CE	Volvo HX04	Kuorma-auto, vetykäyttöinen 6-pyöräinen	Vetypolttokennomoottori	Testaus, prototyyppi
CMB.TECH, Luyckx		Kaivinkone, dual-fuel	Dual-fuel polttomoottori (vety ja diesel)	Kehitys
Hyundai Construction Equipment		Pyöräkaivinkoneet (14 tn)	Vetypolttokennomoottori	Kehitys, prototyyppi
JCB	JCB 220X	Kaivinkone, JCB 220X:n muunnos	Vetypolttokennomoottori	Testaus
JCB		Kaivinkone	Vetypolttomoottori	Prototyyppi
Komatsu		Kaivinkone (keskikokoinen)	Vetypolttokennomoottori	Kehitys
Liebherr	R 9XX H2 (50 tn)	Telakaivinkone, 6 sylinterinen H966 vetypolttomoottori	Vetypolttomoottori, PFI	Prototyyppi
Mourik		Telakaivinkone (30 tn), Liebherr R926 Gen 8:n muunnos	Vetymoottori (ei määritelty)	Kehitys, käytössä
ULEMCo		Paalutuskone, konversio	Kaksoispolttoainejärjestelmä (vety ja diesel)	Testaus, pilottikäyttö
Manitou Group		Teleskooppikuormaaja (14 m)	Vetypolttokennomoottori	Prototyyppi
Cummins		Moottorit, 6,7 l.	Vetypolttomoottori	Kehitys
DEUTZ AG		Moottorit, 6-sylinterinen	Vetypolttomoottorit ja polttokennomootto	Kehitys
Hyundai Doosan Infracore		Moottorit ja vetysäiliöjärjestelmä	Vetypolttomoottori	Kehitys
Liebherr	H964	Moottori, 4-sylinterinen	Suoraruiskutus vetypolttomoottori	Prototyyppi
Robert Bosch GmbH	SMG180 ja SMG220	Moottorit	Vetymoottorit, PFI ja suoraruiskutus sekä n	Prototyyppi
JCB		Siirrettävä vedyn tankkausyksikkö	Vedyn varastointi/tankkaus	Testaus
Wystrach	WyRefueler	Siirrettävä vedyn tankkausjärjestelmä	vedyn varastointi/tankkaus	Prototyyppi
Kubota		Traktori	Vetypolttokennomoottori	Kehitys
Hyundai (Mobis, Motor Group, Construction Equipment)		Trukit ja kaivinkoneet	Vetypolttokennomoottori	Pilottikäyttö, demonstraatio

- Vetykäyttöisiä rakennustyömailla käytettäviä koneita ja laitteita odotettavissa markkinoille 2020-luvun toisella puoliskolla.
 - Tällä hetkellä saatavilla polttokennoilla toimivia sähkögeneraattoreita useammalta valmistajalta.
 - Ensimmäisiä raskaita liikkuvia työkoneita vuosikymmenen puolivälissä.
- Käyttöönoton ja yleistymisen nopeuteen liittyy tyypillisiä uuden teknologian markkinoille tulon ja skaalautumisen haasteita - vrt. akkusähkökäyttöiset työkoneet.
 - Vedyn saatavuus
 - Alkuvaiheen korkeammat kustannukset
 - Infrastruktuurivaatimukset (tankkaus-/latausmahdollisuudet yms.)
 - Markkinoiden hyväksyntä.

Vetyn käyttöön perustuvia ratkaisuja



JCB has already produced more than 130 evaluation engines which are powering backhoe loaders, Loadall telescopic handlers and generator sets. The hydrogen engine will also be suitable for applications across many industry sectors and to highlight this opportunity it will now be shown on the stand.



The HW155H is a 15-tonne wheeled excavator that combines on and off-road capabilities, making it an ideal choice for hydrogen power. The machine uses the fuel cell to power an electric motor, that then drives the hydraulic system. The hydrogen storage on-board has the capacity to allow a full eight hours of operation, with refuelling taking between 10-20 minutes.

The case for hydrogen

While electric-powered machines dominate the Bauma display, one of the excavators, the ZE300 H2, offers a different route by showcasing the potential of hydrogen as an alternative clean fuel. This 30-tonne concept excavator is truly groundbreaking and has been designed for heavy-duty work in environmentally sensitive areas.

The hydrogen engine is supplied by Deutz and hydrogen storage is integrated into the rear of the ZE300, replacing the counterweight. This allows for easy access to the engine compartment for maintenance and rapid refuelling.



Raskaan tieliikenteen sovelluksia



One product dedicated for long-haul heavy-duty applications

The main focus of our fuel cell system is to meet all the criteria for use in heavy-duty trucks, especially in long-haul applications. Long distances, light schedules and heavy weight mean that our system must be reliable and efficient over a long period of time. Internal combustion

engines have been the most reliable and efficient systems – until now. Our BZA150 system has passed its first road tests and customer trials under hardest conditions with flying colours, which makes us very optimistic about the future.

#HydrogenRecordRun with cellcentric fuel cell system BZA150.



We are convinced of the efficiency and reliability of our fuel cell system. That is why, together with Daimler Truck, we organised the #hydrogenRecordRun. A fully loaded 40 ton Mercedes-Benz GenH2 truck drove from Wörth am Rhein to Berlin under real-world driving conditions on public roads, reaching 1,047 kilometres with a single filling of 80 kg liquid hydrogen.

[Watch video](#)

Volvo to launch hydrogen-powered trucks

2024-05-23

Volvo Trucks is developing trucks with combustion engines that run on hydrogen. On-road tests with trucks using hydrogen in combustion engines will begin in 2026, and the commercial launch is planned towards the end of this decade. Trucks that run on green hydrogen provide a significant step for Volvo to achieve its net zero goal and support customers to reach their decarbonization targets.



Volvo will launch trucks with combustion engines that can run on green hydrogen. These trucks provide a significant step to decarbonize heavy transport.

Stuttgart, November 18, 2024

MAHLE awarded contract from MAN Truck & Bus for hydrogen-powered truck



- MAHLE to supply components for hydrogen engine of "MAN hTGK", winner of Truck Innovation Award 2025
- Series order for around 200 vehicles with first deliveries to customers in 2025
- Head of Sales Dr. Roger Busch: "MAHLE solutions deliver performance, efficiency and long service life."
- In addition to electrification, sustainable combustion engines that run on renewable fuels are an important strategic field of the MAHLE Group

These hydrogen-powered ICEs will be tested on the road in 2026, with a planned launch for commercial use by the end of the decade.

Hydrogen Buses to Be Deployed in Jyväskylä – Project Advances to Implementation



SUTINEN / HELIX

Helen ja Vireon yhteistyöhön vetytankkausaseman rakentamiseksi Helsinkiin

Vetykäyttöiset sähkögeneraattorit



Polttokennogensetit tarjoavat useita etuja:

- Parempi hyötysuhde
- alhaisemmat käyttökustannukset.
- Ei kasvihuonekaasupäästöjä
- Hiljainen käyttöäni
- Vähäisempi huoltotarve
- Pitkät käyttöajat

Yhteenveto

Valitun menettelyn polku riippuu useista tekijöistä, kuten akkuteknologian kehityksestä, vihreän vedyn saatavuudesta ja hinnasta - vihreän energian hyödyntäminen erilaisilla toteutusvaihtoehdoilla.

Tärkeä tekijä on myös eri energiavaihtoehtojen kustannuskehitys, kannustimet sekä regulaation kehittyminen.

Ratkaisuja on - jotta ratkaisujen toimivuudesta saataisiin tarkempaa tietoa tarvitaan lisää pilotointia, kokeiluja sekä viestintää niiden toimivuudesta. Toimivien ratkaisujen tulee lopulta olla myös liiketoiminnallisesti kannattavia.

We bring together people,
business, science and technology,
**TO SOLVE THE WORLD'S
BIGGEST CHALLENGES**
creating sustainable growth,
jobs and wellbeing.

Thank you!