

KIERTH2ON 2.0

Selvitys biometaanin
jatkojalostusmahdollisuuksien
edellytyksistä

Wega Group Oy



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

WEGA

28.10.2022

Sisällysluettelo

- Selvityksen lähtötilanne ja tavoitteet 3
- Vedyn ja hiilen tuotantopotentiaali biometaanista 4–19
- Alueellinen vedyn kulutuspotentiaali 20–47
 - Teollisuus
 - Tieliikenne
 - Meriliikenne
 - Energiantuotanto
- Teknistaloudellinen selvitys vedyntuotannosta 48–67
- Vedyn käytön kustannukset loppukäyttäjän näkökulmasta 68–76
- Yhteenveto 77–85

Johdanto

- Selvityksen tavoitteena oli arvioida biometaanin perustuvan vedyn tuotantopotentiaalia, kulutuspotentiaalia sekä kehitysnäkymiä 2020- ja 2030-luvuilla Kaustisen seutukunnan alueella
- Tuotantopotentiaalin arvioimiseksi käytettiin aikaisemmin selvitettyjä arvioita alueellisesta biometaanin tuotantomäärästä
- Kulutuspotentiaalin selvityksessä vertailtiin teollisuuden, energiantuotannon, tieliikenteen ja meriliikenteen nykyistä kulutusta ja arvioitiin kehitysnäkymiä huomioiden olemassa olevat ja kehitteillä olevat ohjauskeinot
- Lopuksi arvioitiin vedyn kilpailukykyä tieliikenteessä ja teollisuudessa arvioimalla loppukäyttäjän kustannuksia vedyn käytössä
- Tämä selvitys on tehty asiantuntijapalveluhankintana Kaustisen seutukunnan hallinnoimalle Kierth2on 2.0 -hankkeelle. Kierth2on 2.0 -hanke on saanut EAKR-rahoituksen Keski-Pohjanmaan liitolta.

The image shows an industrial facility with several large, cylindrical storage tanks. The scene is captured during sunset, with a warm orange and red glow. A chain-link fence is visible in the foreground. A blue text box is overlaid on the left side of the image.

Vedyn ja hiilen tuotantopotentiaali biometaanista

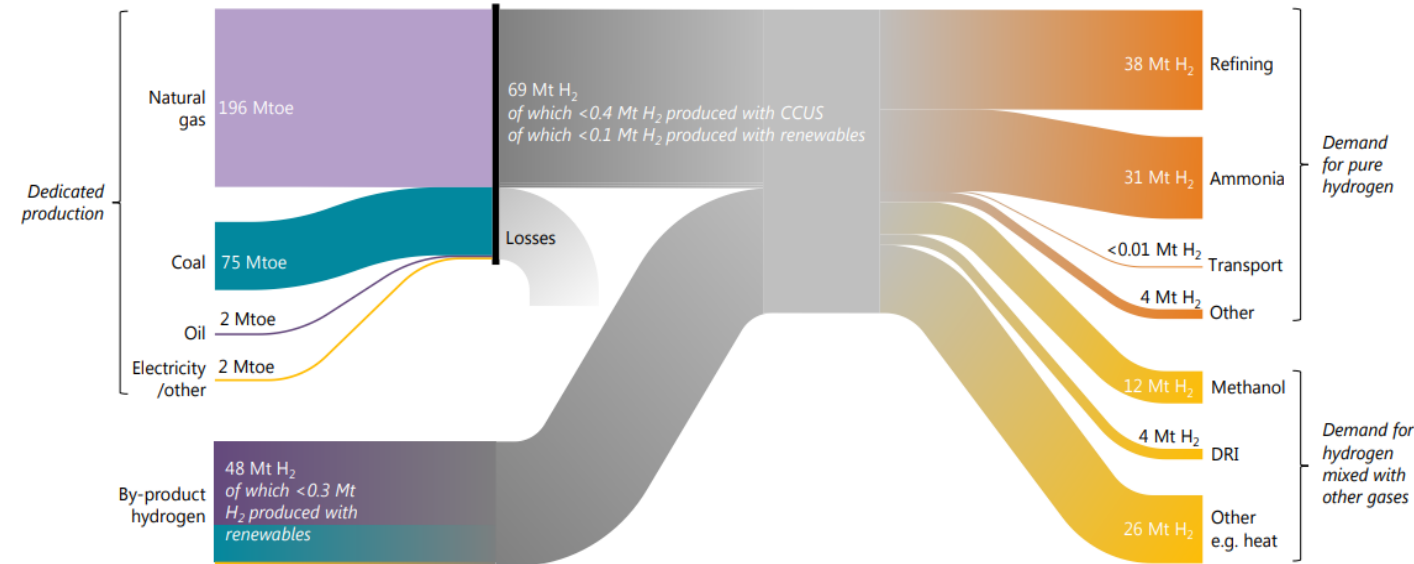
WEGA

Tuotantopotentiaali, metodit

- Osiossa tarkasteltiin kirjallisuutta ja tutkimuksia vedyn tuotantotekniikoista, sekä vertailtiin näitä tekniikoita keskenään
- Parhaiten selvityksen tavoitteisiin sopivat tekniikat otettiin tarkasteluun massa- ja energiataseita varten. Massa- ja energiataseet ovat teoreettisia, eivätkä ota huomioon häviöitä. Biometaanin potentiaalin lähtöarvo saatiin asiakkaalle aikaisemmin tehdyistä selvityksistä.
- Tarkempaa prosessin energiankulutustarkastelua tehdään kannattavuustarkastelussa

Vedyn tuotantoteknologiat metaanista

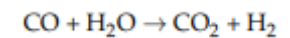
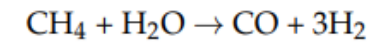
- 95 % vedystä tuotetaan vielä metaanista höyryreformointimenetelmällä tai muista fossiilisista lähteistä
- Vetyä voidaan tuottaa myös vedellä erilaisissa elektrolyysireaktioissa, kaasuttamalla suoraan biomassasta ja metaanin lämpökäsittelyssä
 - Metaanin lämpöreformointi TDM (thermal decomposition of methane) tuottaa myös kiinteää hiiltä



Lähde: IEA: Vedyn arvoketjut nykypäivänä (The Future of Hydrogen, 2019)

Höyryreformointi (SMR)

- Steam methane reforming eli höyryreformointi on käytetyin vedyn tuotantotekniikka tällä hetkellä
- Raaka-aineena sekä polttoaineena on perinteisesti käytetty maakaasua, mutta tulevaisuudessa uusiutuvan energian ylijäämää voidaan käyttää prosessissa tuottamaan tarvittavaa lämpöä
- Prosessissa syntyy tuotteena hiilidioksidia sekä vetyä ja prosessi on hyvin energiaintensiivinen

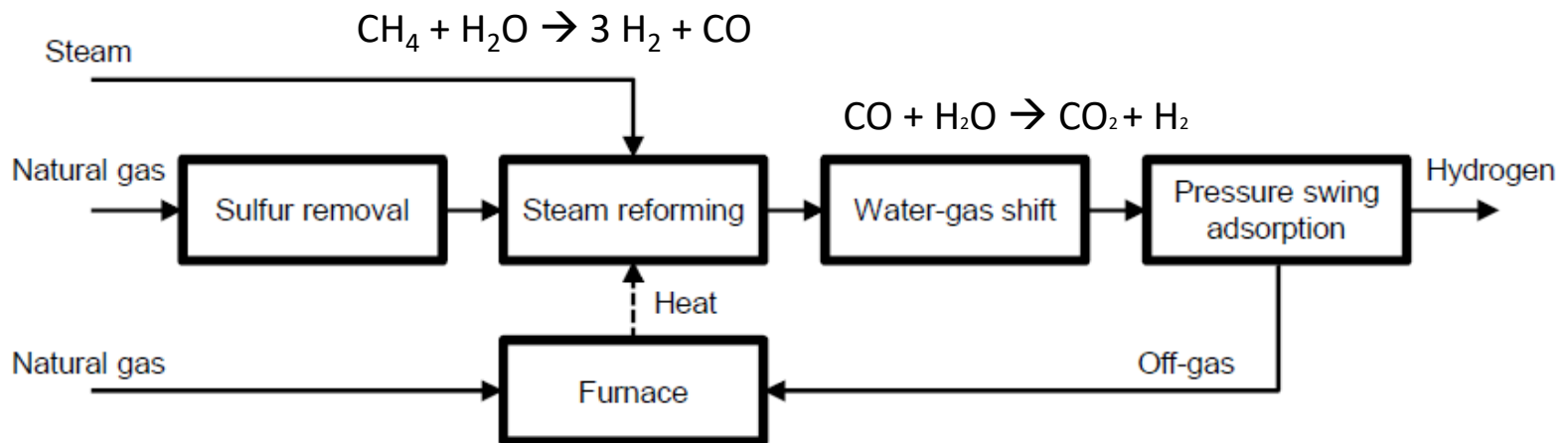


WEGA

Lähde: Keipi, Technology Development and Techno-Economic Analysis of Hydrogen Production by Thermal Decomposition of Methane

SMR-prosessi

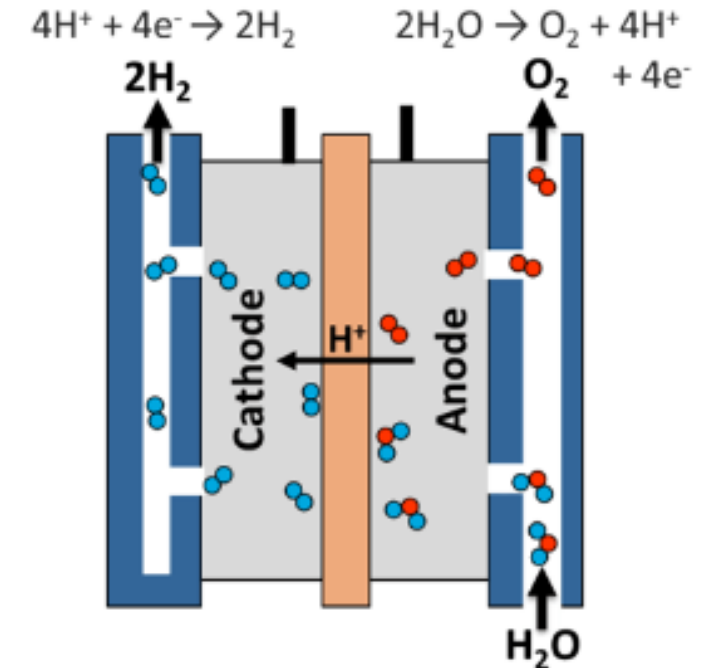
- Prosessissa maakaasu kulkee katalyytin lävitse höyryreformointiin, jossa korkeassa paineessa ja kuuman vesihöyryn avulla tuotetaan vetyä sekä hiilidioksidia
- Varsinaisen höyryreformointiprosessin jälkeen vesi-kaasusiirtoreaktorissa muodostuu hiilidioksidia sekä lisää vetyä
- Kaasu pitää puhdistaa puhdistusvaiheessa 99,8 %:ksi vedyksi



Lähde: Keipi, Technology Development and Techno-Economic Analysis of Hydrogen Production by Thermal Decomposition of Methane

Veden elektrolyysi

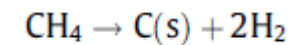
- Elektrolyysissä tuotetaan vedestä sähkön avulla vetyä sekä happea, kuten polttokennossa, mutta prosessi on käänteinen
- Elektrolyysin tuotevety on erittäin puhdasta
- Teknologian hidasteena on vielä korkeat kustannukset, mutta elektrolyysin ennustetaan kasvavan suurimmaksi vedyntuotantoteknologiaksi ennen vuotta 2040



Kuvan lähde: U.S. Department of Energy, Hydrogen Production: Electrolysis

Metaanin lämpöhajoaminen (TDM)

- Metaanin lämpöhajottaminen TDM-prosessissa (thermal decomposition of methane) on vanha teknologia, jota käytettiin teollisissa mittakaavoissa ensimmäistä kertaa 1950-luvulla tuottamaan hiilimustaa eli kimröökkiä (carbon black)
- Nykyisin hiilimustaa tuotetaan muilla tavoin, mutta TDM-reaktiota on tutkittu 1990-luvun jälkeen useissa pilottilaitoksissa
- Prosessi kiinnostaa muun muassa vähäpäästöisimpien energiaratkaisuiden mahdollistamisessa ja TDM:aa voidaan pitää välivaiheena kohti vetytaloutta edetessä ennen kuin elektrolyysi on taloudellisesti kannattavaa



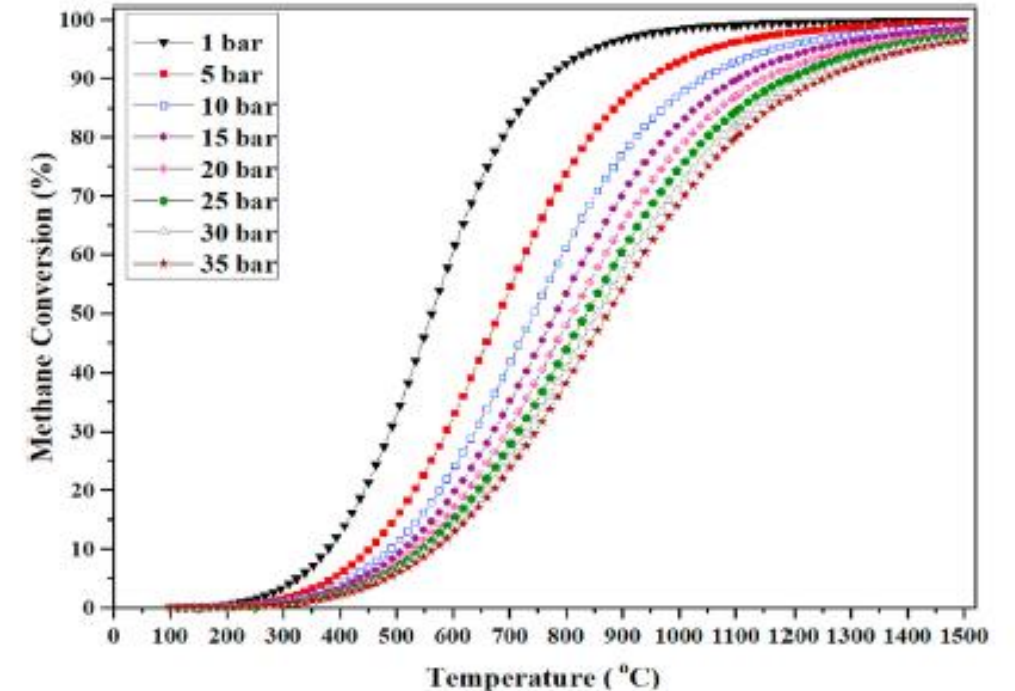
WEGA

Lähde: Keipi, Technology
Development and Techno-
Economic
Analysis of Hydrogen
Production by Thermal
Decomposition of Methane

Metaanin lämpöhajoaminen (TDM)

- Prosessissa metaani hajoaa suurissa lämpötiloissa kiinteäksi hiileksi sekä vedyksi ja konversio on lämpötila- sekä paineriippuvainen
 - Lämpötilat 500–1500 °K
- Prosessissa voidaan käyttää katalyyttiä, joka vähentää lämmöntarvetta huomattavasti, mutta tuo haasteita mm. katalyytin regeneroinnin tai katalyytin nopean inaktivaation kanssa, joka johtuu hiilen kertymisestä pinnoille

WEGA



Metaanin lämpöhajoamisen tasapainokonversio, lämpötilan ja paineen suhteen.

Lähde: Leal Pérez et al., Methane pyrolysis in a molten gallium bubble column reactor for sustainable hydrogen production: Proof of concept & techno-economic assessment

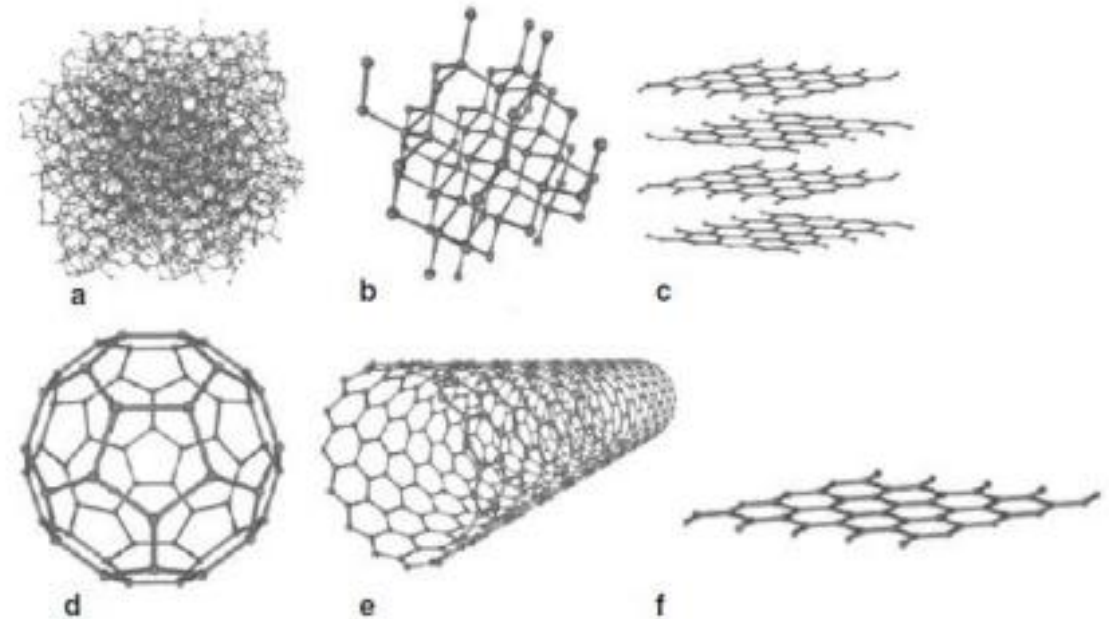
Sivutuotehiilen kysyntä Suomessa

- Kysyntää ja suuntaa antavia hintoja Suomessa tutkittiin tutkimalla kirjallisuutta tuotehiilen käyttökohteista sekä tekemällä kyselyitä yrityksiin, jotka voisivat käyttää tuotehiiltä prosesseissaan
- Tuotehiilen ominaisuudet riippuvat paljon prosessin parametreista ja ominaisuudet määrittelevät pitkälti hintaa ja käyttökohteita.
 - Tarkkaa sivutuotehiilen jakaumaa mahdotonta sanoa, kun prosessia tarkastellaan teoriatasolla



Tuotehiilen käyttökohteet

- TDM-prosessissa tuotetun hiilen arvo riippuu paljolti sen morfologiasta eli rakenteesta (Keipi, 2017), jonka lisäksi mahdollisten katalyyttien käyttö voi lisätä epäpuhtauksia ja vaikuttaa käyttökohteisiin.
- TDM-prosessia tutkitaan myös hiilinanoputkien tuottamiseen
- Tuotehiilen käyttö riippuu hiilen ominaisuuksista, ja hiilen ominaisuuksiin vaikuttaa reaktorin parametrit (lämpötila, reaktioaika, katalyytti)

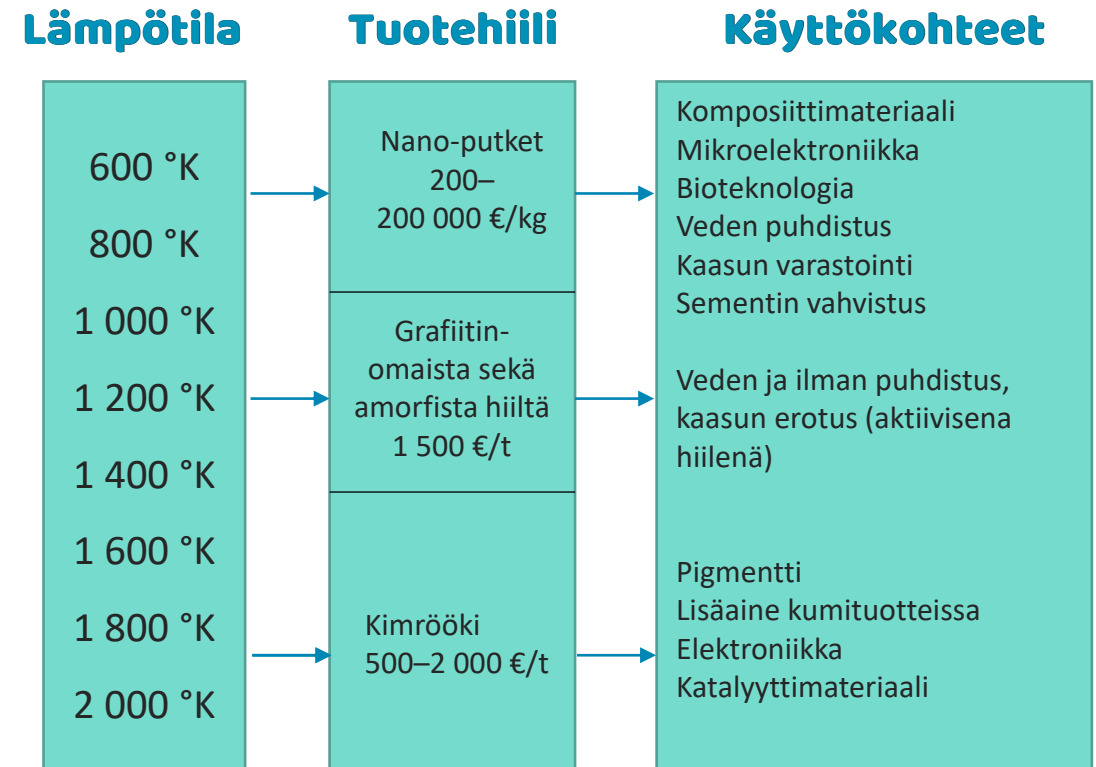


a. amorfinen hiili b. timantti c. grafiitti
d. fullereeni e. hiilinanoputki f. grafeeni

WEGA







Tuotehiilen mahdollisia käyttökohteita

- TDM-prosessissa syntyy vuodessa noin 1 500 tonnia tuotehiiltä
- Korkeissa lämpötiloissa syntyy usein kimröökä (carbon black), jonka partikkelikoko on erittäin hieno, mutta tuotteen kysyntä rajallista
- Metallikatalyyttien kanssa prosessista saadaan usein ulos hiilifilamenttejä kuten hiilinanoputkia
 - Yksi- ja kaksiseinämaisillä nanoputkilla on korkein arvo mahdollisten TDM-tuotehiilityyppien joukossa.
- Hiilikatalyytit tuottavat amorfista (kiteetön) sekä kiteistä hiiltä
- Ympäristöarvot: hiilen sidonta esimerkiksi maaperään tai rakenteisiin pois hiilikierrosta voi lisätä hiilen ympäristöarvoa



Lähdettä Keipi, 2017 mukailten

Sivutuotehiilen kysyntä Suomessa

Hiilityyppi	Arvioitu hinta	Arvioidut tulot vuodessa	Käyttökohteet, esimerkkejä	Huomioitavaa
Amorfinen hiili	500 €/t	700 000 € 	Hiilensidonnan kauppapaikat (esimerkiksi Puro.earth)	Täytettävä Puron tai muun hiilensidontastandardin metodologia
Aktivoitu hiili	1 500 €/t	2 100 000 € 	Hengitysilman puhdistus (laitteiden rakentajat), vedenpuhdistus (kuntayhtiöt), puhdistuspanosten myyjät	Hinta vaihtelee partikkelikoon ja ominaisuuksien suhteen paljonkin, tuotteen tasalaatuisuus?
Hiilimusta	2 000 €/t	2 800 000 € 	Kumiteollisuutta ympäri Suomea (Teknikum, Nokian Renkaat, Ravelast, Hydnum, Reka Rubber)	Kumiteollisuuden lisäaineena; laatuvaatimuksena partikkelikoko ja sktruktuuri, maailmanmarkkina pieni.
Hiilikatalyytit	50 €/g – 4 €/kg	5 600 000 @ 4 €/kg 	Kemialliset prosessit	Tärkeää puhtaus/tasalaatuisuus, menekki todella pientä. Ei välttämättä realistinen.
Hiilinanoputket	Kaupallisesti kannattava käyttäjälle < 100 USD/kg	50 USD/kg: 70 000 000 € 	Litiumakut, aurinkopaneelit, komposiittimateriaalit	Laatu olennaista, mutta heikkolaatuiselle ns. bulkkituotteelle tulossa omat sovelluksensa? Ei välttämättä realistinen.
Hiilikuidut	15 000 €/t	21 000 000 € 	Komposiittimateriaalit	Kierrätyskuidut nousussa, joihin sivutuotehiili voisivat vertautua. Laatutekijät kuitenkin estämässä?

Tuotehiilen markkinanäkemys 2030 asti

- **Hiilipohjaisten tuotteiden kysynnän yleisesti nähdään kasvavan tulevaisuudessa**
 - Maailman biohiilen markkinoiden koko oli 160,9 miljoonaa dollaria vuonna 2021, ja sen odotetaan saavuttavan 454,3 miljoonaa dollaria vuonna 2030, joka tarkoittaa 12,1 %:n vuotuista kasvua (Emergen Research)
- **Hiilimusta**
 - Globaalien hiilimustamarkkinoiden ennustetaan kasvavan 13,22 miljardista dollarista vuonna 2022 18,09 miljardiin dollariin vuoteen 2029 mennessä, joka tarkoittaa 4,6 % vuotuista kasvua (Fortune Business Insights)
 - Uunituotantotekniikka (furnace black) pysynee suurempana ja käytetyimpänä tuotantotekniikkana kuin terminen tuotantotapa
 - Terminen hiilimusta isompi partikkelikoko (uunihiilimusta noin 3–20 kertaa pienempi), sekä alempi pinta-ala, sekä vähemmän järjestäytynyt rakenne
- **Grafeeni**
 - Maailmanlaajuisten grafeenimarkkinoiden arvioidaan olevan noin 556 miljoonaa dollaria vuonna 2022. Markkinoiden CAGR:n ennustetaan rekisteröivän yli 38 % ennustejaksolla (2022-2027).
- **Hiilinanoputket**
 - Hiilinanoputkimarkkinoiden arvon odotetaan olevan 894 miljoonaa USD vuonna 2022. Kasvavan tuotekysynnän teollisuudessa kuten elektroniikka, muovit ja energian varastointi odotetaan ohjaavan alaa ennustejaksolla.
- **Uusia mahdollisuuksia:**
 - [IPCC:n raportin](#) mukaan hiilidioksidin sidontaa tarvitaan, mikäli halutaan päästä Pariisin ilmastopimuksen tavoitteisiin. Hiilen kierron lopettaminen/sitominen tulee olemaan isomassa roolissa tulevaisuudessa.
 - Lisäisyyden kriteerit ja standardien metodologiat ovat tässä avainasemassa.

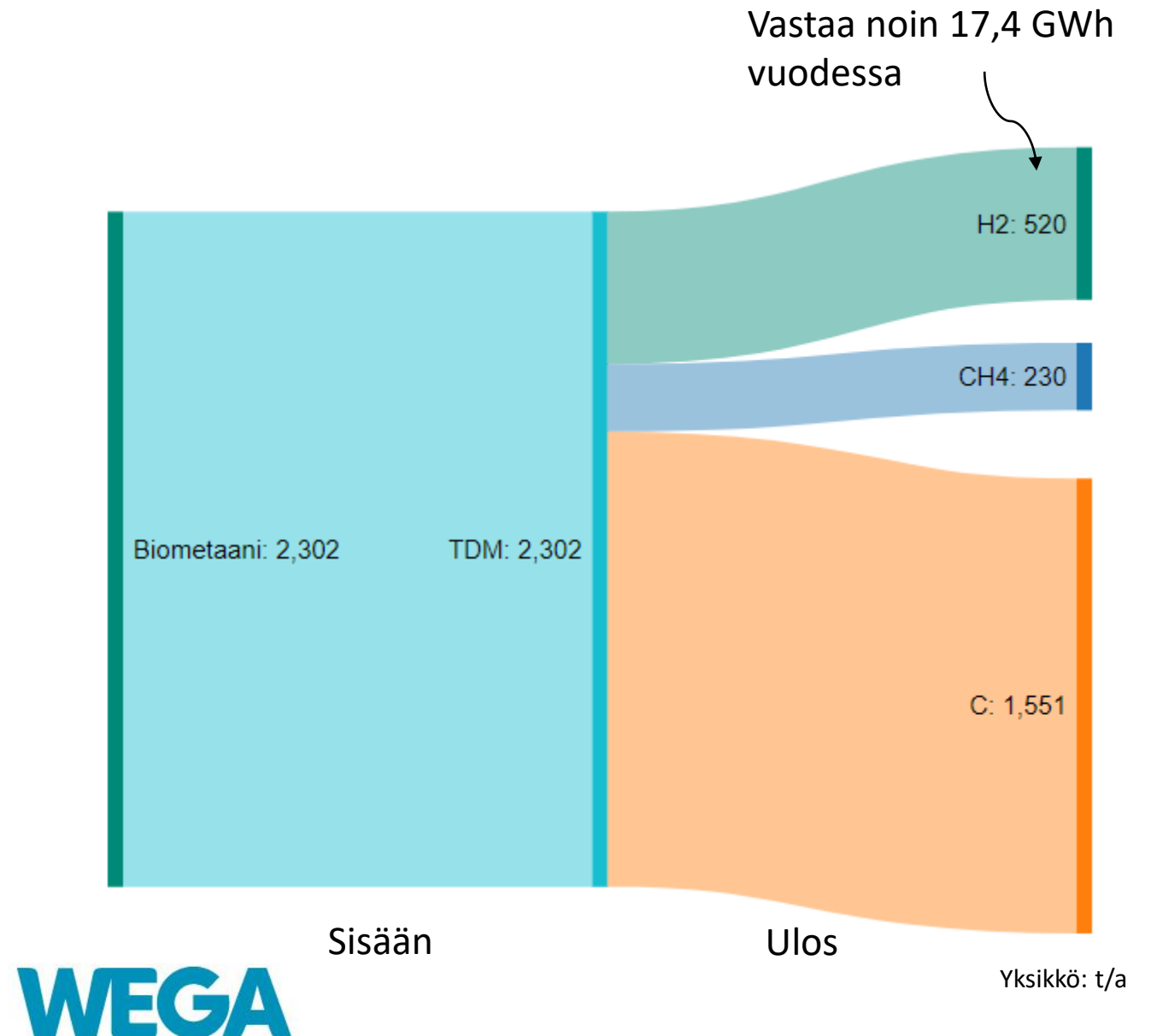


Yhteenveto tuotantotekniikoista

	TDM	TDM (katalyytti)	TDM (sulatettu metalli-reaktori)	SMR	Elektrolyysi
Raaka-aine	CH ₄	CH ₄	CH ₄	CH ₄	H ₂ O
Tuote	H ₂ , C	H ₂ , C	H ₂ , C	H ₂ , CO ₂	H ₂ , O ₂
Tuotantometodi	lämpö	lämpö, katalyytti (metalli, hiili)	lämpö, tina + aktiivinen metallikatalyytti	Lämmitys paineessa vesihöyryllä, yleensä katalyytin kanssa	Sähkön avulla (vihreän sähkön ylijäämällä) vedestä
Reaktiolämpötila	> ~ 1 200 °C	alempi kuin ilman katalyyttiä (~1 000 °C)	alempi kuin ilman katalyyttiä	700–1 000 °C	alkalinen elektrolyyseri: 35–400 °C
Huomioitavaa	Tuottaa hiilidioksidin sijaan kiinteää hiiltä, prosessilämpö biokaasu/ päästötön sähkö = päästötön prosessi.	katalyytti heikkenee hiilen kerääntymisen takia, regenerointi tuottaa CO ₂	katalyytti parantaa reaktion kinetiikkaa, eikä tapahdu katalyytin deaktivaatiota, mutta metalliepäpuhtauksia hiilessä	Lämmönsiirron haasteet, hiilen kertyminen, tuotteena CO ₂	Kustannukset; Uusiutuvan energian ylijäämä vielä haaste, systeemin mittasuhteet
Prosessin toteutettavuus	ei laajasti käytössä tässä tarkoituksessa, mutta vanha teknologia	tutkimusasteella	tutkimusasteella	laajasti käytössä	alkalinen elektrolyyseri käytössä, tulevaisuudessa odotetaan olevan laajemmin käytössä

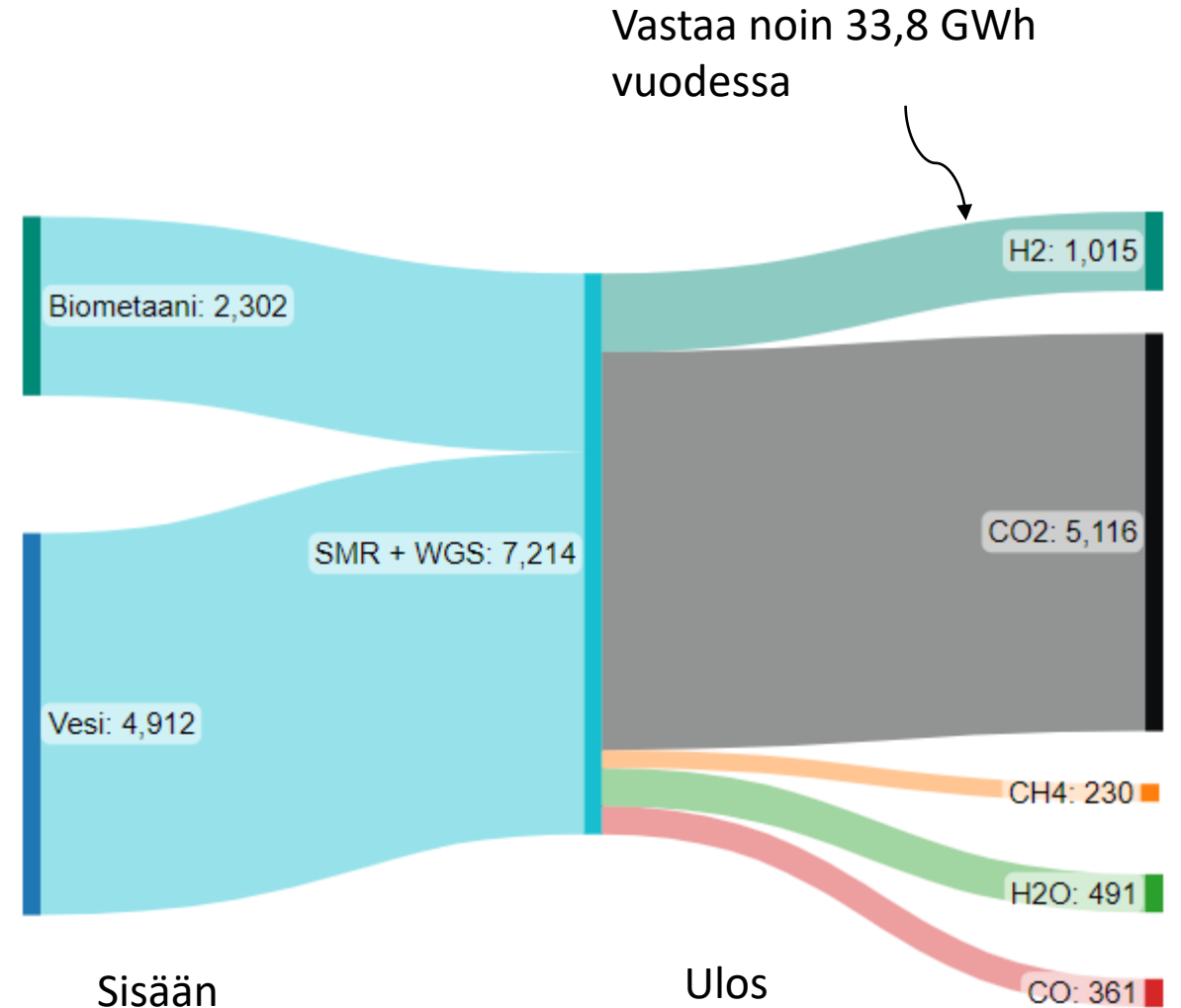
Massatase: TDM

- Laskennallista, teoriatason tarkastelua: prosessissa biometaani reagoi ja ulostulotuotteina on vetyä ja kiinteää hiiltä sekä reagoimattomia alkutuotteita
- Kuvassa: alkuaineiden ja yhdisteiden massavirtaus tonneissa vuoden aikana prosessissa, kun biometaanin biokaasun potentiaali on 32 000 MWh
- Jokaista tuotettua vetytonnia kohden tarvitaan 4,4 tonnia biometaania ja sivutuotteena muodostuu kiinteää hiiltä 3 tonnia:
 - Oletukset: konversio 0,9, ei häviöitä, lähtötuote puhdas biometaani
- 85 GWh biokaasupotentiaali-skenaario: H₂ tuotanto noin 1 300 t/a eli 46,1 GWh



Massatase: SMR + WGS

- Laskennallista, teoriatason tarkastelua: Prosessissa vesi ja biometaani reagoivat ja ulostulotuotteina on hiilidioksidia, hiilimonoksidia sekä vetyä, sekä reagoimattomia alkutuotteita
- Kuvassa: alkuaineiden ja yhdisteiden massavirtaus tonneissa vuoden aikana prosessissa, kun biokaasun potentiaali on 32 000 MWh
- Jokaista tuotettua vetytonnia kohden tarvitaan 2,3 tonnia biometaania ja sivutuotteena muodostuu hiilidioksidia 5,4 tonnia
 - Oletukset: konversio 0,9, ei häviöitä, lähtötuote puhdas biometaani
- 85 GWh biokaasupotentiaali-skenaario: H₂ tuotanto 2 700 t/a tai 89,8 GWh



WEGA

Yksikkö: t/a



Alueellinen vedyn kulutuspotentialiaali - teollisuus

WEGA

Johdanto - teollisuus

- Selvitetty vedyn nykyistä käyttöä Suomen teollisuudessa
 - Tutkittu minkälainen teollisuus voisi siten käyttää vihreää vetyä tulevaisuudessa
- Kartoitettu mahdollisia vihreän vedyn teollisia käyttäjiä Keski-Pohjanmaalla ja lähiympäristössä
 - Yrityksiä kartoitettu Fonectan yrityshaun kautta ja Wegan aikaisempien selvitysten pohjalta
- Muodostettu vedyn kulutuspotentiaali lähiympäristön teollisuuden alan yrityksissä ja vertailtu sitä TDM-teknologian vedyn tuotantopotentiaaliin (17 GWh/v)

Vedyn tuotanto ja kulutus Suomessa

- Suomessa tuotetaan noin 100 000 t vetyä (3,3 TWh)
 - Tällä hetkellä suurin osa tästä tuotannosta on harmaata vetyä
- Vetyä voidaan käyttää teollisuudessa joko suoraan kemiallisissa prosesseissa tai energiantuotantoon (tulevaisuudessa)
- Kilpilahden jalostamo selvästi suurin tuottaja ja kuluttaja
- Vedyn suurimmat käyttökohteet teollisuudessa Suomessa ovat tällä hetkellä Nesteen jalostamo Porvoossa ja UPM:n biojalostamo Lappeenrannassa
 - Tulevaisuudessa myös SSAB:n terästehdas Raahessa voi olla merkittävä vedyn käyttäjä
- Vetyä paljon käyttävät teollisuuden alat Suomessa: terästeollisuus (tulevaisuudessa), öljyteollisuus, muu kemian teollisuus

Laitos	Vuosittainen vedyn tuotanto	
	t/a	GWh/v
Neste Oyj, Kilpilahti	90 000	3 000
Terrafame Oy, Sotkamo	4 500	128
Solvay Chemicals Finland, Voikkaa	6 000	200
UPM, Lappeenranta	7 800	260
Eastam Chemical Company, Oulu	5 200	175
Oy AGA Ab, Harjavalta	1 400	47
Oy AG Ab, Hämeenlinna, SSAB	230	8
Woikoski, Kokkola	1 300	44

Vedyn kulutuspotentiaali Keski-Pohjanmaalla

- Vihreän vedyn odotetaan suuntautuvan teollisuuden aloille, joita on vaikea sähköistää, esim. terästeollisuus tai jotka käyttävät vetyä prosesseissaan esim. öljynjalostus
- 100 km ja sitä pidemmät matkat vety kannattaa kuljettaa junalla tai laivalla
 - Vedyn huono energiatiheys rajoittaa sen varastointia
- Tulevaisuudessa vihreää vetyä voidaan kuljettaa Suomen sisäisesti myös vetyputkiston avulla
 - Kaustisilla tuotettua vihreää vetyä voitaisiin myydä muualle Suomeen

Alueen tunnistetut teolliset alueet:

- **Pietarsaari**
 - Paperiteollisuutta, ei vedyn kulutusta nykyään
- **Alajärvi (Luoma-aho) 58 km**
 - Alumiiniprofiilien valmistus, ei vedyn kulutusta nykyään
- **Kokkolan teollisuusalue, KIP 47 km**
 - Kemianteollisuutta, olemassa olevaa vedyn tuotantoa ja käyttöä teollisuuden raaka-aineen. Käyttövolyymit suuremmat kuin tuotantopotentiaali Kaustisen alueella
 - Woikoskella on alueella olemassa oleva elektrolyysilaitos. Hycamitella on alueella koetehdas hanke, jossa tuotettaisiin vetyä ja hiiltä TDM-teknologialla
- Muut kohteet esim. Raahе (170 km), Vaasa (140 km) ovat kaukana ja vedyn kuljetuskustannukset voivat nousta liian korkeiksi rekkakuljetuksille



Teollisuuden potentiaali vedylle – yhteenveto

- Suomessa vetyä käytetään teollisuudessa erityisesti raaka-aineena öljy- ja kemianteollisuudessa. Vedyn energiakäyttöä teollisuudessa ei juuri ole
- Keski-Pohjanmaalla merkittävin potentiaali vedyn käytölle teollisuudessa on Kokkolassa
- Kokkolan suurteollisuusalueella käytetään merkittäväsi fossiilisia polttoaineita
 - Suurteollisuusalueen energiakäytön potentiaali on moninkertainen vedyn tuotantopotentiaaliin verrattuna (17 GWh)
 - Energiakäytössä vety kilpailee fossiilisia polttoaineita ja uusiutuvia polttoaineita (esim. HVO, biometaani) vastaan – joten todellisen potentiaalin määrittää vedyn kilpailukyky
- KIP-alueella käytetään vetyä raaka-aineena, jolloin vertailukohtana ei ole muut polttoaineet. Alueen vuotuinen vedyn raaka-ainekäyttö on suurempi kuin tunnistettu potentiaalinen tuotanto biometaanista

An aerial photograph of a vast, calm lake with numerous forested islands and peninsulas. The sky is a mix of soft pinks, oranges, and blues, suggesting a sunset or sunrise. The water reflects the light from the sky.

Alueellinen vedyn kulutuspotentialiaali - tieliikenne

WEGA

Vedyn kulutuspotentiaali tieliikenteessä

- Osana selvitystä tarkasteltu vedyn kulutuspotentiaalia tieliikenteessä Keski-Pohjanmaalla
- Vedyn yleistymistä tieliikenteessä on tarkasteltu Autoalan tiedotuskeskuksen (17.2.2022) ja European Hydrogen Backbonen (heinäkuu 2021) raporttien perusteella
- Ennusteet ajoneuvojen liikennepolttoaineiden osuuksien kehittymisestä ovat muuttuneet voimakkaasti viime vuosina
 - Eryteisesti sähkön osuus on kasvanut huomattavasti
- Tarkasteltu liikennemääriä Keski-Pohjanmaalla Väyläviraston datan avulla
 - Etsitty suurimpia liikennemääriä tankkausasemalle
- Arvioitu vedyn tankkausaseman läpimenopotentiaalia ensirekisteröinti- ja liikennedatan avulla
 - Vedyn kulutusta eri ajoneuvotyypeissä arvioitu joko valmistajien antamien tietojen perusteella tai vertailtu maakaasuajoneuvojen kulutuksiin
 - Vertailtu vedyn tankkausaseman läpimenopotentiaalia TDM-tekniikan vedyntuotantopotentiaaliin (17 GWh/v)



WEGA

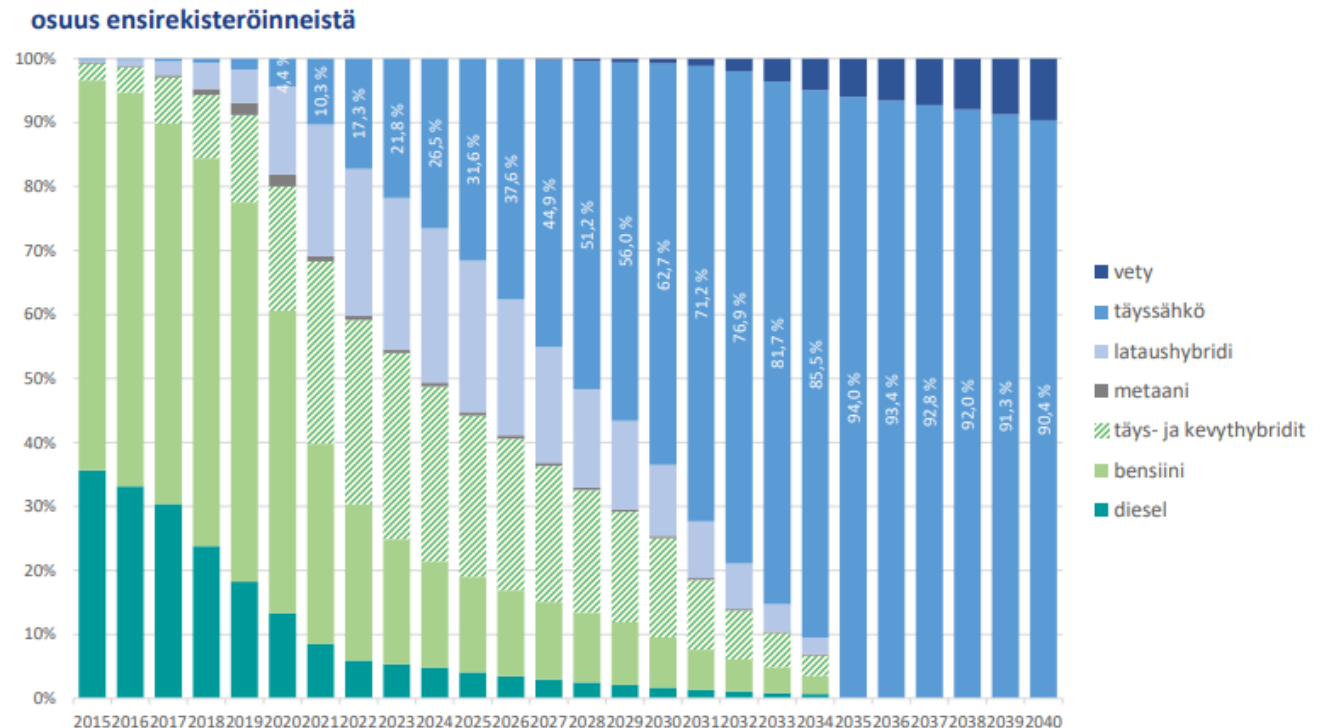
Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivien henkilöautojen ensirekisteröinnit ja oletettu kehittyminen Suomessa

Henkilöautot

- ennuste eri käyttövoimien osuudesta ensirekisteröinneissä

- Henkilöautoissa sähkö on nopeasti yleistymässä
- Vety on ennusteiden mukaan jäämässä marginaaliin

Vuosi	Vetyautojen arvioitu osuus
2030	1 %
2040	10 %

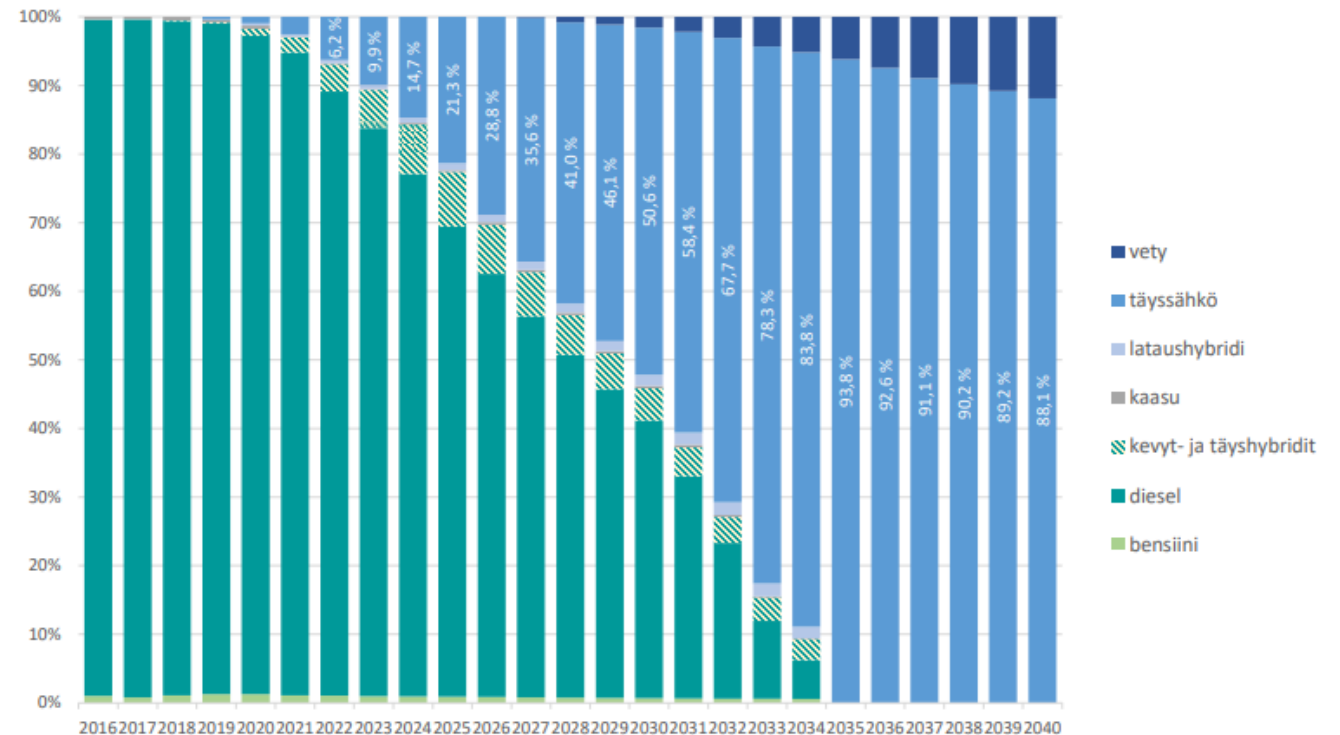


Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivien pakettiautojen ensirekisteröinnit ja oletettu kehittyminen Suomessa

- Myös pakettiautoissa ja keveissä kuorma-autoissa sähköstä on tulossa nopeasti yleisin polttoaine

Vuosi	Vetyautojen arvioitu osuus
2030	2 %
2040	12 %

Pakettiautot ja kevyet kuorma-autot (3,5-6 t) sekä M₁-luokan tila-autot
- eri käyttövoimien osuus ensirekisteröinneistä



Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivien linja-autojen ensirekisteröinnit ja oletettu kehittyminen Suomessa

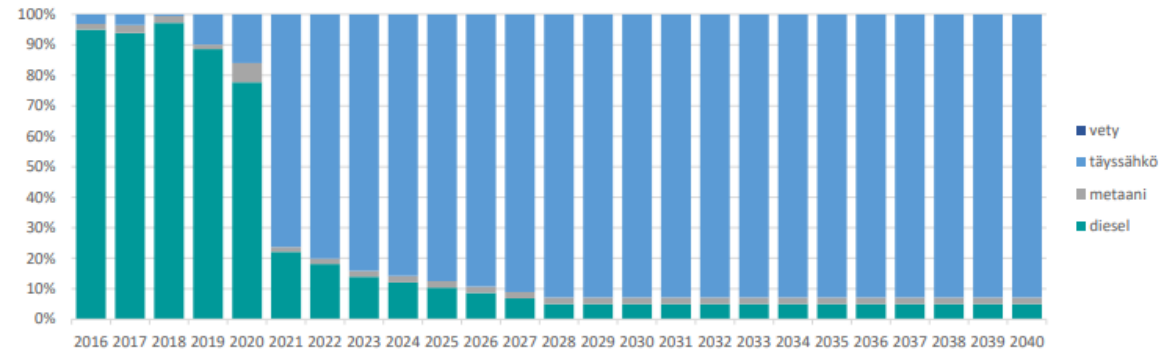
- Linja-autoissa erityisesti kaupunkiliikenteen bussit siirtyvät jo voimakkaasti sähköön
- Kaukoliikenteen linja-autoissa diesel säilyy vielä pitkään ja vasta 2030-luvulla sähkö alkaa yleistymään tässä segmentissä

Vuosi	Vetyautojen arvioitu osuus
2030	Kaupunki 0 % Kauko 2 %
2040	Kaupunki 0 % Kauko 10 %

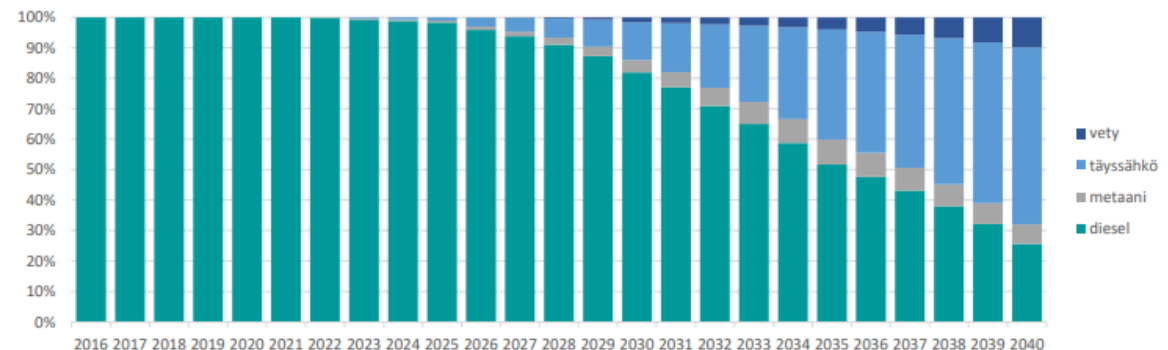
Raskaat linja-autot (yli 8 t)

- ennuste eri käyttövoimien osuudesta ensirekisteröinneissä

Kaupunkiliikenteen linja-autot



Kaukoliikenteen linja-autot

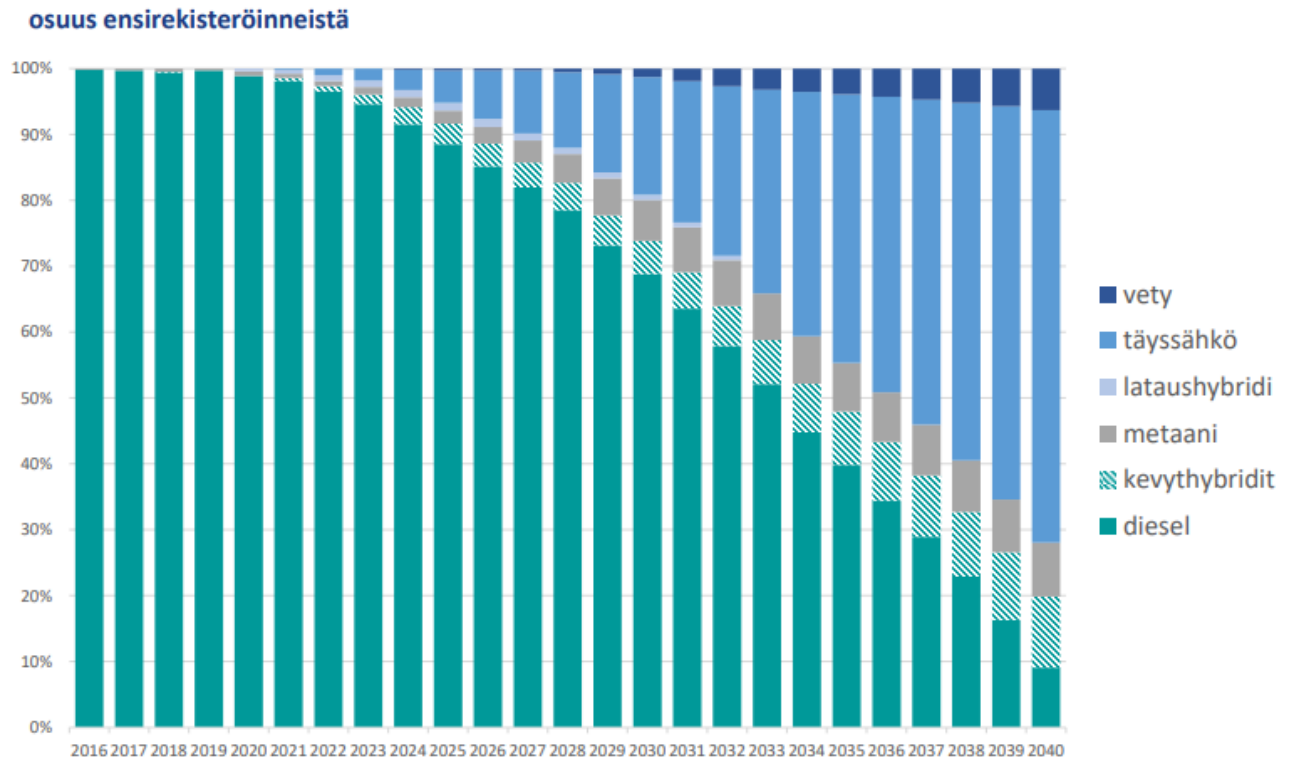


Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivien kuorma-autojen ensirekisteröinnit ja oletettu kehittyminen Suomessa

- Keskiraskaissa kuorma-autoissa sähköstä on tulossa yleisin polttoaine
- Sähköistymisen on arvioitu tapahtuvan aikaisempia arvioita nopeammin

Vuosi	Vetyautojen arvioitu osuus
2030	2%
2040	6%

Keskiraskaat kuorma-autot (6-16 t) - ennuste eri käyttövoimien osuudesta ensirekisteröinneissä



Lähde: Autoalan tiedoituskeskus 2022

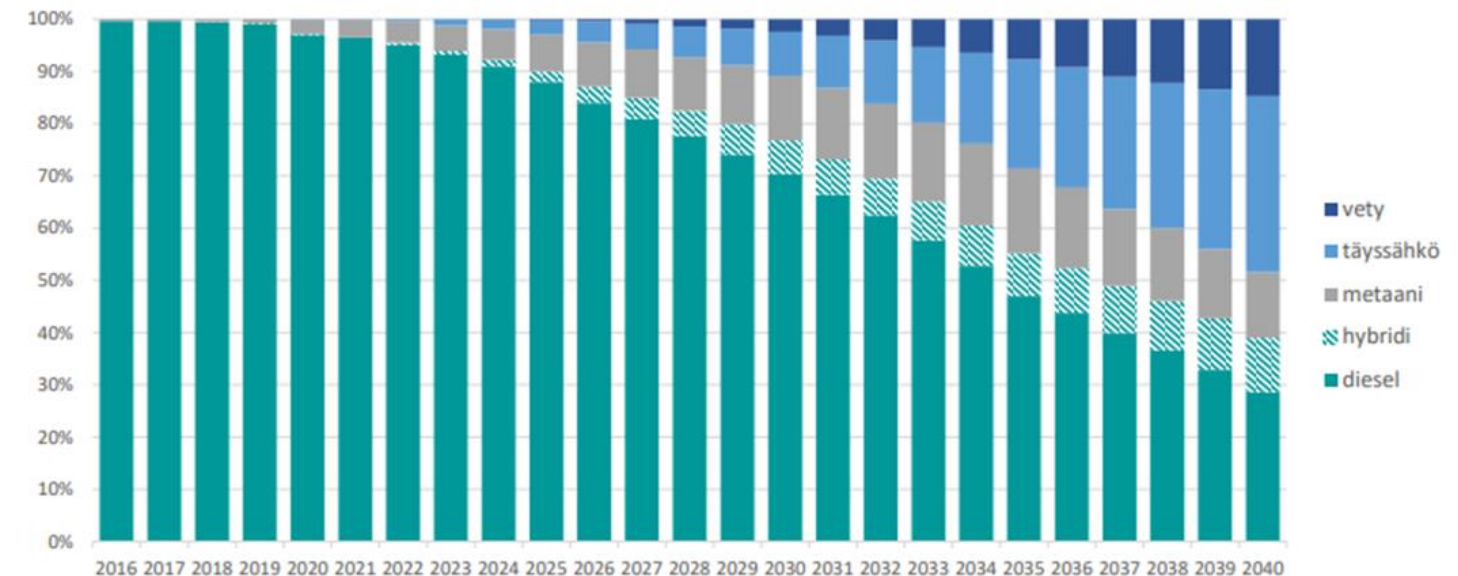
Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivien kuorma-autojen ensirekisteröinnit ja oletettu kehittyminen Suomessa

- Raskaissa kuorma-autoissa diesel pysyy vielä pitkään yleisimpänä polttoaineena ensirekisteröinneissä
- Aluksi maa- ja biokaasu tulevat olemaan suurimmat vaihtoehtoiset polttoaineet ensirekisteröinneissä
- Sähkö ja vety yleistyivät vasta vuodesta 2030 eteenpäin

Vuosi	Vetyautojen arvioitu osuus
2030	3%
2040	14%

Raskaat kuorma-autot (16 t-) - ennuste eri käyttövoimien osuudesta ensirekisteröinneissä ja autokannan kehityksestä

osuus ensirekisteröinneistä



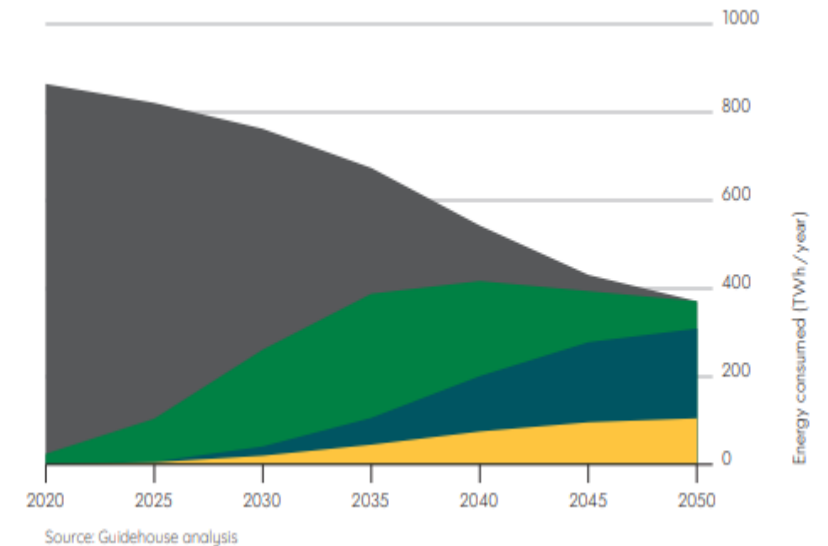
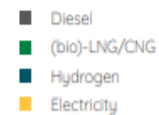
Lähde: Autoalan tiedoituskeskus 2022

Vedyn tieliikennekäytön ennusteita –European Hydrogen Backbone (raportti heinäkuu 2021)

- European Hydrogen Backbone on 31:n eurooppalaisen energiayhtiön yhteisö (mm. Gasgrid Finland)
- Heinäkuun 2021 raportin mukaan suurin osa henkilöautoista ja kevyistä hyötyajoneuvoista tulee siirtymään sähköön
- Vetyä käytettäisiin ajoneuvoissa erityisesti raskaassa liikenteessä, ennustetut osuudet energiankulutuksesta:
 - 2030: 3 %
 - 2040: 25 %
 - 2050: 60 %

FIGURE 11

Pathway of European energy demand in heavy road transport from 2020-2050



Johtopäätökset ja havainnot eri polttoaineiden osuuksien kehitysarvioista

- Sähköstä on tullut yleisin käyttövoima henkilöautojen ensirekisteröinneissä viime vuosina
 - Myös pakettiautoissa sähköstä on tulossa 2030-luvulla yleisin polttoaine ensirekisteröinneissä
 - Linja-autoissa erityisesti kaupunkiliikenteen bussit siirtyvät jo nyt voimakkaasti sähköön
 - Keskiraskaissa kuorma-autoissa sähköstä on tulossa yleisin polttoaine
 - Raskaissa kuorma-autoissa diesel pysyy vielä pitkään yleisimpänä polttoaineena
 - Aluksi maa- ja biokaasu tulevat olemaan suurimmat vaihtoehtoiset polttoaineet ensirekisteröinneissä
 - Suomessa ei toistaiseksi ole yhtään yleistä vetyautojen tankkausasemaa
 - Tämä saattaa muuttua lähivuosina, kun vetytankkausasemalla on jatkossa saatavilla Energiaviraston myöntämää investointitukea
- Vety jäämässä arvion mukaan varsin marginaaliseksi liikennepolttoaineeksi kaikissa tieliikenteen segmenteissä Suomessa
- Suurin osuus olisi raskaassa liikenteessä

WEGA

Esimerkkilaskelma tankkausaseman kulutuspotentiaalista ja yhteenveto

- Vetyajoneuvojen vuosittaisia kulutuksia on arvioitu valmistajien ilmoittamien tietojen ja ajomäärä-arvioiden perusteella
- Vetyajoneuvojen määrät 2030–2040 eri ajoneuvoluokissa perustuvat Autoalan tiedotuskeskuksen käyttövoimaennusteeseen
- Vedyn alueellista tuotantopotentiaalia (17 GWh) vastaavaa ajoneuvomäärää on arvioitu ja verrattu käyttövoimaennusteeseen. 17 GWh läpimeno voi mahdollistaa kannattavan tankkausasemainvestoinnin.

Esimerkki tankkausasemapotentiaalin muodostumisesta

	Tankkausasemalla tankkaavat ajoneuvot	Kulutus per ajoneuvo per vuosi [MWh/a]	Kulutus per ajoneuvoluokka [MWh/a]	Osuus Suomen vetyajoneuvokannasta	Osuus Suomen vetyajoneuvokannasta	Osuus Suomen vetyautokannasta	Arvio koko Suomen vetyautokannasta	Arvio koko Suomen vetyautokannasta	Arvio koko Suomen vetyautokannasta
				2030	2035	2040	2030	2035	2040
Henkilöauto	200	4	857	8,7 %	0,8 %	0,3 %	2 300	24 700	76 100
Pakettiauto	30	12	360	6,0 %	0,8 %	0,3 %	500	3 700	11 200
Linja-auto kaukoliikenne	5	333	1 667	-	-	-	Ei vertailuarvoa	Ei vertailuarvoa	Ei vertailuarvoa
Kuorma auto alle 16t	13	117	1 517	-	-	-	Ei vertailuarvoa	Ei vertailuarvoa	Ei vertailuarvoa
Rekka-auto yli 16t	20	625	12 499	200,0 %	1,8 %	0,7 %	10	1 100	2 900
	Yhteensä		17 GWh/a						

- Kulutuspotentiaali ja siten tankkausaseman kannattavuus perustuu raskaaseen liikenteeseen – tämä ohjaa myös sijoitusta satamien, isojen kaupunkien ja pääteiden varrelle. Keskipohjanmaalla luonnollinen sijoituspaikka olisi Kokkolan lähellä Valtatien 8 varrella
- Vuonna 2030 esimerkkitanikkausasemalla tankkaavien yli 16 tonnisten rekkojen määrä on suurempi kuin ennusteen kokonaismäärä Suomessa. Käyttövoimaennusteen perusteella riittävä autokanta muodostuisi 2030 luvun alkupuolella. Todellisuudessa autokantaa syntyy sinne, minne investoidaan myös jakeluinfraa.

An aerial photograph of a vast body of water, likely a lake or bay, with numerous forested islands and peninsulas. The sky is a mix of soft pinks, oranges, and blues, suggesting a sunset or sunrise. The water is a deep blue, and the islands are dark green. A large teal rectangle is overlaid on the left side of the image, containing white text.

Alueellinen vedyn kulutuspotentialiaali - meriliikenne

WEGA

Vety meriliikenteessä

- Selvitettiin vedyn tulevaisuuden näkymiä meriliikenteessä yleisesti sekä käyttöpotentiaali Keski-Pohjanmaalla Raahen ja Kokkolan satamissa
- Tutkittiin vedyn soveltuvuutta ja potentiaalia meriliikenteeseen
- Selvitettiin Kokkolan ja Raahen satamien alusmääriä ja -tyyppejä Tilastokeskuksen ja MarineTrafficin tietojen avulla
 - Datan avulla arvioitiin vedyn kulutuspotentiaalia kyseisissä satamissa
 - Vertailtu myös Vaasan sataman liikennettä

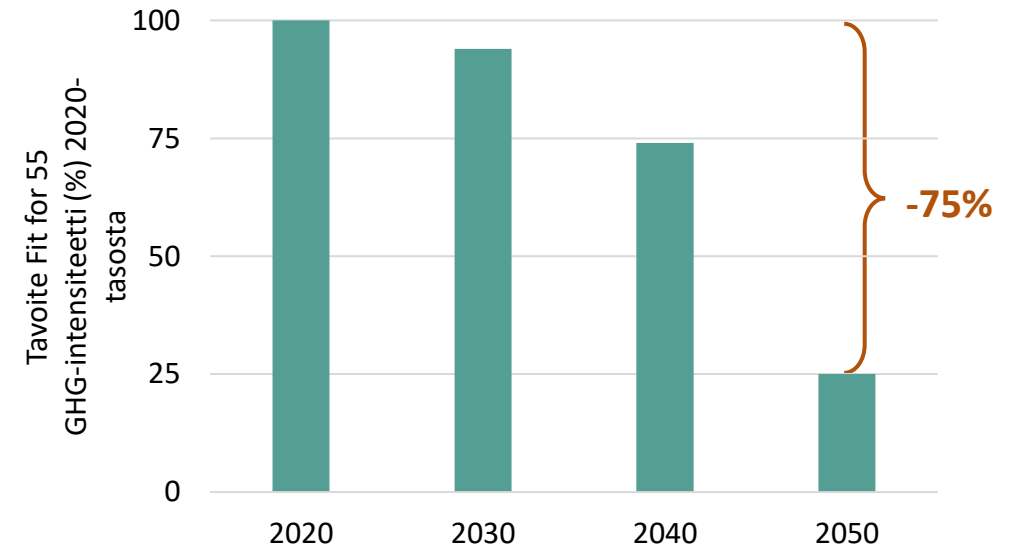


WEGA

MF Hydra, vetytoiminen lautta Norjassa. Lähde: FuelCellsWorks 2022

Vedyn kulutuspotentiaali meriliikenteessä

- EU Fit for 55: Tavoitteena vähentää laivaliikenteen polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjä 75 %:ia vuoteen 2050 mennessä (2020 päästöistä)
- Meriliikenteessä vedyn käytön kehitys painottuu pienempiin aluksiin, lauttoihin ja matkustajalaivoihin
 - Vedyn käyttöä testataan rahtilaivoissa, mutta vetyjärjestelmät vaativat paljon tilaa, jolloin se ei näytä tällä hetkellä kannattavalta
 - Vedyllä on sen ominaisuuksiensa takia korkeita teknisiä vaatimuksia
 - Nestemäinen vety vaatii huomattavan alhaisen varastointilämpötilan, -253 °C
 - Kaasumaisella sekä nestemäisellä vedyllä on myös hyvin pieni energiatiheys $1,3\text{--}2,4\text{ MWh/m}^3$, MGO:lla (vähärikkinen polttoneste) $10,2\text{ MWh/m}^3$
 - Alhaisen tiheyden takia vedyn varastointi vaatii huomattavasti enemmän tilavuutta verrattuna muihin polttoaineisiin
 - Vedyn käyttö vaatii uusia polttoaine- ja moottorijärjestelmiä laivoissa sekä polttoaineen lastaus- ja varastointijärjestelmiä satamissa
 - Rahtilaivoissa uusina vihreinä polttoaineina nähdään ensisijaisesti ammoniakki, metanoli ja synteettiset kaasut ja nesteytetty biokaasu



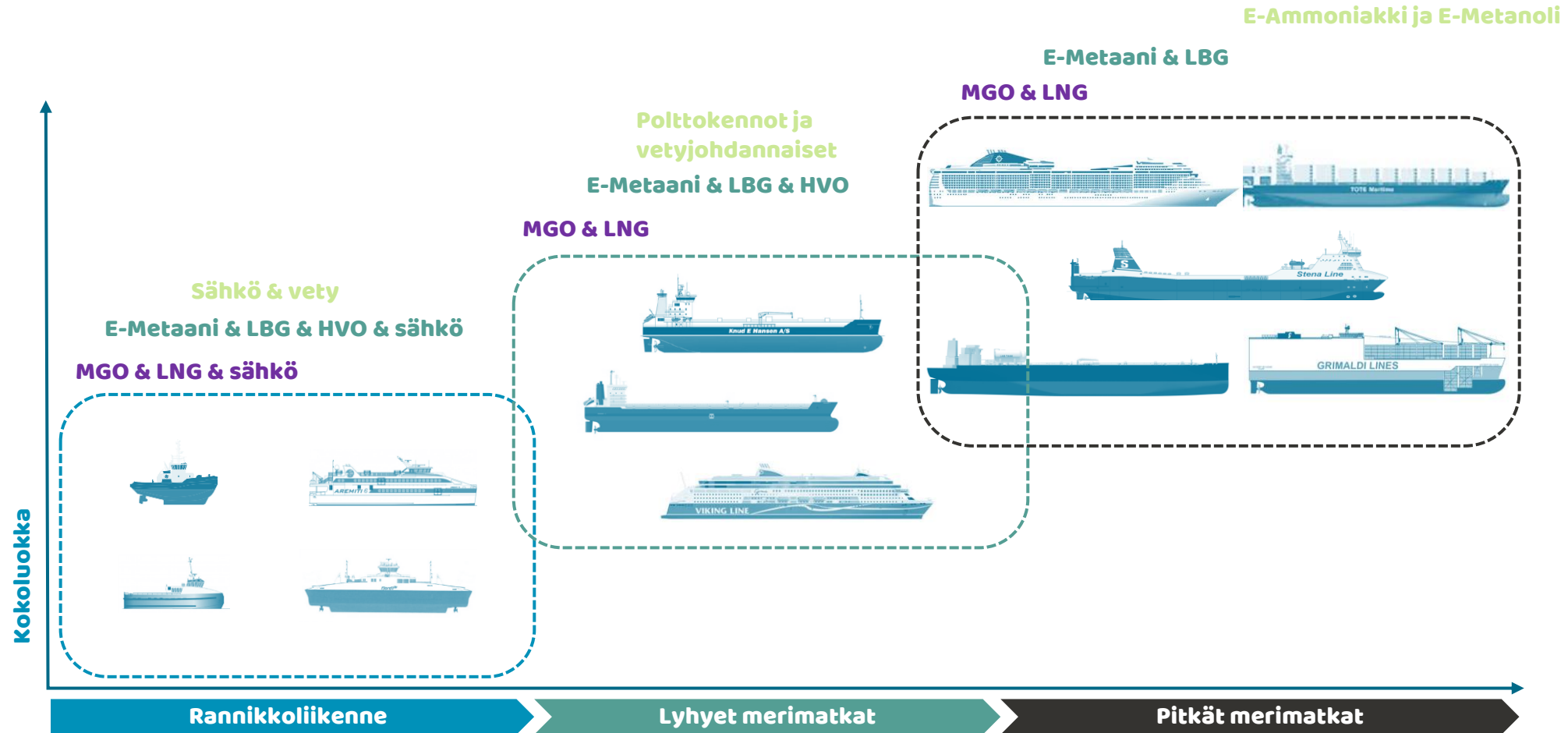
The fleet average GHG-intensity of the energy used on-board by ships will be reduced by -75% in 2050 compared to GHG-intensity in 2020.

Bunkkeri-infrastruktuuri

	Metanoli			Ammoniakki			E-Metaani/LBG			Nesteytetty vety		
Varastointivaatimukset	Normaali lämpötila	Normaali paine	Myrkyllinen ja syövyttävä	Jäähdytetty (-33°C)	Paineistettu (2-3 barg)	Myrkyllinen ja syövyttävä	Kryogeeninen (-165°C)	Paineistettu	Vakaa	Kryogeeninen (-253°C)	Kova paine	Helposti räjähtävä
Bunkerointi testattu	Rekka	Lautta	Säiliö/putkilinja	Rekka	Lautta	Säiliö/putkilinja	Rekka	Lautta	Säiliö/putkilinja	Rekka	Lautta	Säiliö/putkilinja
	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓
Täyttönopeus	2 x hitaampi kuin polttoöljy			3 x hitaampi kuin polttoöljy			2 x hitaampi kuin polttoöljy			4-6 x hitaampi kuin polttoöljy		
Turvallisuusvaatimukset	Minimaalinen – Nestemäisten polttoaineiden standardit – myrkyllinen & syövyttävä			Merkittävä – Myrkyllinen jäähdytetty kaasu ja syövyttävä			LNG:n vaatimukset			Merkittävä – Helposti räjähtävä kryogeeninen aine		
Bunkerointi-infrastruktuurin hinta	\$			\$\$			\$\$			\$\$\$		

Meriliikenteen polttoaineet

Nyt, 2030-luku, 2040-2050 ja eteenpäin



Johtopäätökset

- Vety on teknisten ominaisuuksiensa takia hankalasti varastoitava polttoaine laivaliikenteessä
- Vety on todennäköisesti tulevaisuudessa marginaalissa valtamerilaivoissa, mutta sillä on käyttömahdollisuuksia lyhyemmillä laivareiteillä
 - Tällä hetkellä vety on käytössä matkustajalautoissa ja muissa pienemmissä aluksissa
 - Rahtilaivoihin ja muihin isompiin aluksiin soveltuu paremmin muut vaihtoehtoiset polttoaineet, kuten ammoniakki ja metanoli
- Kokkolan, Vaasan ja Raahen satamissa voisi olla rajoitettua potentiaalia käyttää vetyä laivapolttoaineena
 - Erityisesti Kokkolan satamassa käy pienempiä rahtilaivoja, joihin vety voisi soveltua
 - Kokkola ja Raaha ovat kuitenkin pääsääntöisesti rahtisatamia ja vety soveltuisi paremmin kevyempään liikennöintiin, lisäksi vety vaatisi omat polttoaineenkäsittelyjärjestelmät
 - Vaasan satamassa on matkustajaliikennettä, johon vety soveltuisi laivaliikenteessä parhaiten
- Alueellinen tuotantopotentiaali (noin 17 GWh) ei luultavasti yksin riitä isompien laivojen tarpeisiin, mutta yksittäisen pienen laivan energiankulutus voisi olla mahdollista täyttää

An aerial photograph of a vast, calm lake with several forested islands. The sky is a mix of soft pinks, oranges, and blues, suggesting a sunset or sunrise. The water reflects the colors of the sky.

Alueellinen vedyn kulutuspotentialiaali - Energiantuotanto

WEGA

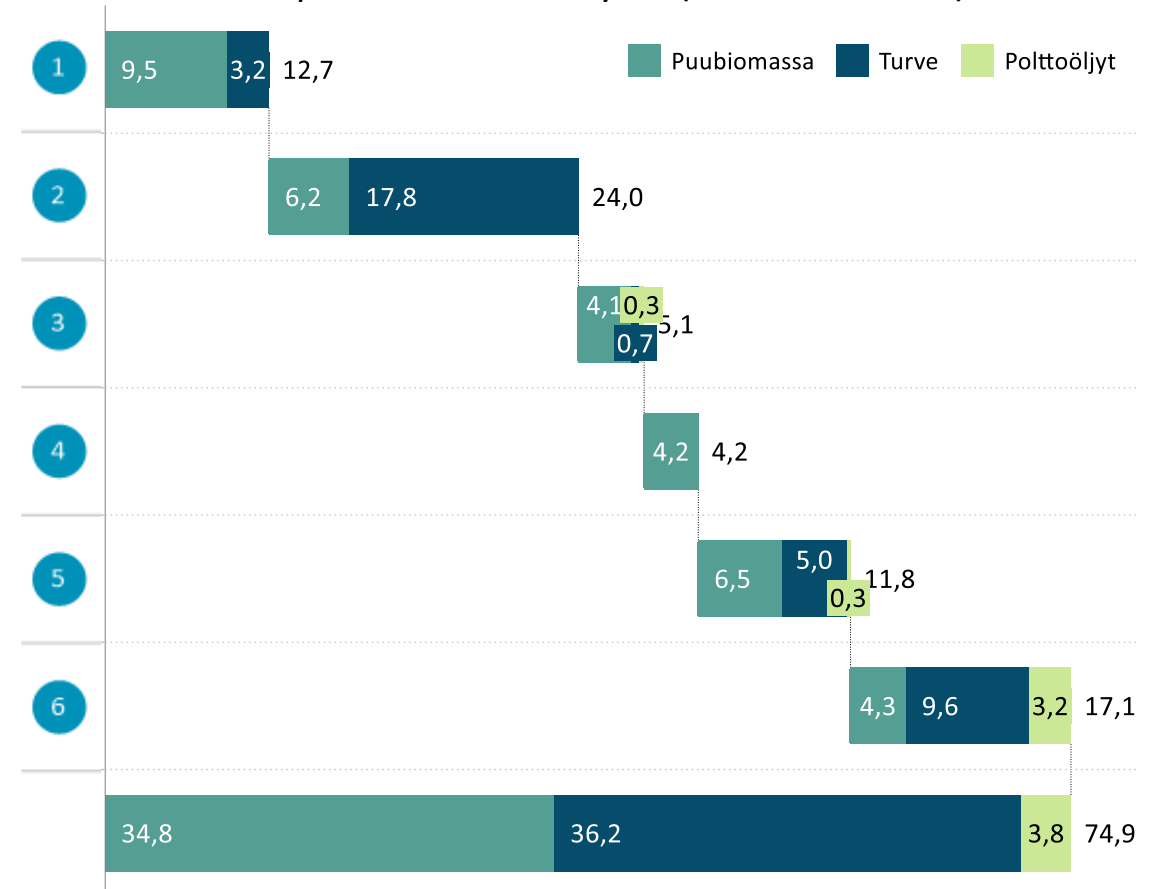
Taustaa ja lähtökohta

- Osana selvitystä on selvitetty uusiutuvan vedyn ja hiilen energiakäytön alueellista kulutuspotentiaalia
- Kaustisen seutukunnan alueella toimii useita energiayhtiöitä, jotka tuottavat sekä sähköä että kaukolämpöä pääasiassa metsäbiomassasta sekä turpeesta
- Energiayhtiöiden käyttämät polttoaineet on selvitetty pääasiassa julkisista lähteistä. Puuttuvat tiedot on kysytty suoraan energiayhtiöiltä.
- Selvityksessä on keskitytty ainoastaan kaukolämmön tuotantoon, sillä sen tuotanto on luonteeltaan paikallista, ja alueen nykyiset kaukolämmön tuotantoon käytetyt voimalaitokset tuottavat pääasiassa lämpöä
 - Osiossa on tarkasteltu ainoastaan uusiutuvasti tuotettua vetyä
 - Vertailtu alueen fossiilisten polttoaineiden kulutusta kaukolämmöntuotannossa vedyntuotantopotentiaaliin TDM-tekniologialla (17 GWh/v)

Kaukolämmön tuotantoon käytetyt polttoaineet seutukunnan alueella

- Viime vuonna seutukunnan alueella on käytetty kaukolämmön tuotantoon noin 75 GWh polttoaineita vuodessa
 - Turpeen osuus on ollut noin 48 %, puubiomassojen 46 % ja loppu on tuotettu polttoöljyllä
 - Vedyn tuotantopotentiaali (17 GWh) on suurempi kuin alueen öljyn käyttö, mutta pienempi kuin turpeen käyttö
- Hallitusohjelman tavoitteen mukaisesti energiaturpeen käytön tulisi puolittua vuoteen 2030 mennessä
- Valtaosa seutukunnan energiayhtiöiden tuottamasta kaukolämmöstä tehdään kiinteän polttoaineen kattiloissa, jotka käyttävät nykyisellään sekaisin turvetta ja puubiomassa
 - Turpeen käyttö voidaan korvata suoraan uusiutuvalla puubiomassalla
- Turpeen korvaaminen vedyllä puubiomassan sijaan vaatisi investointeja uusiin kattiloihin
 - Vetykattilat ja –polttimot ovat vielä kehitteillä
- Alueen kaukolämmön tuotanto on jakautunut useille paikkakunnille ja voimalaitoksille, jonka johdosta korvausinvestointeja jouduttaisiin tekemään monen energiayhtiön toimesta

Kuuden Kaustisen seutukunnan alueen energiayhtiön polttoaineiden käyttö (GWh/vuodessa)



Vedyn potentiaali turpeen korvaamisessa

- Viime vuonna seutukunnan alueella on käytetty kaukolämmön tuotantoon noin 75 GWh polttoaineita vuodessa
 - Turpeen osuus on ollut noin 48 %, puubiomassojen 46 % ja loppu on tuotettu polttoöljyllä
 - Vedyn tuotantopotentiaali (17 GWh) on suurempi kuin alueen öljyn käyttö, mutta pienempi kuin turpeen käyttö
- Hallitusohjelman tavoitteen mukaisesti energiaturpeen käytön tulisi puolittua vuoteen 2030 mennessä
- Valtaosa seutukunnan energiayhtiöiden tuottamasta kaukolämmöstä tehdään kiinteän polttoaineen kattiloissa, jotka käyttävät nykyisellään sekaisin turvetta ja puubiomassa
 - Turpeen käyttö voidaan korvata suoraan uusiutuvalla puubiomassalla
- Turpeen korvaaminen vedyllä puubiomassan sijaan vaatisi investointeja uusiin kattiloihin
 - Vetykattilat ja –polttimot ovat vielä kehitteillä
- Alueen kaukolämmön tuotanto on jakautunut useille paikkakunnille ja voimalaitoksille, jonka johdosta korvausinvestointeja jouduttaisiin tekemään monen energiayhtiön toimesta

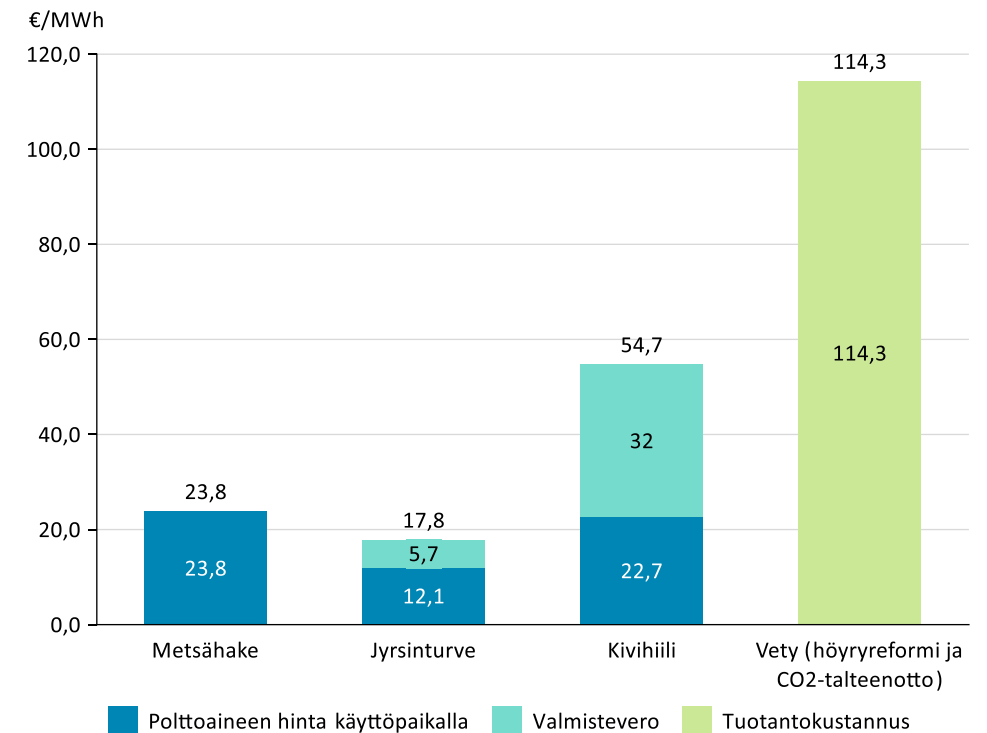
Turvetta ja haketta käyttävät KL-tuotantolaitokset alueella



Vedyn kilpailukyky muihin polttoaineisiin

- Tällä hetkellä seutukunnan kaukolämmön tuotannossa käytetään pääasiassa kotimaista puubiomassaa ja turvetta sekä jonkin verran polttoöljyä huippukulutustilanteissa
- Vetyä ei tällä hetkellä käytetä kaukolämmön tuotannossa, joten sen tarkkaa hintatasoa ei voida varmuudella arvioida
- Tämänhetkinen DNV:n tuottama arvio vihreän vedyn tuotantokustannuksesta on kuitenkin merkittävästi kotimaisia polttoaineita korkeampi
 - Arvio ei pidä sisällään toimituskustannuksia, tuottajan tai toimitusketjun katteita, eikä mahdollisia veroluonteisia maksuja
- Vihreän vedyn tuotantokustannusten suuruudesta johtuen on hyvin epätodennäköisesti, että vety olisi realistinen vaihtoehto Suomen energia-yhtiöiden lämmöntuotannossa

Lämmöntuotannossa käytettyjen polttoaineiden hinnat
Q1/2022 vs. vedyn tuotantokustannus








WEGA

Osion johtopäätökset ja yhteenveto

- Seutukunnan energiayhtiöiden kaukolämmön tuotannossa käytetään pääasiassa puubiomassaa sekä turvetta
- Fossiilisia polttoaineita käytetään vain vähän kaukolämmön tuotannossa
 - Tuotetulla vedyn määrällä (17 GWh/v) voitaisiin korvata öljyn käyttö ja osittain turpeen käyttöä
- Vedyn käyttö energiantuotannossa ei ole realistinen vaihtoehto, sillä:
 - siirtymä vedyn käyttöön vaatisi lisäinvestointeja vetykattiloihin ja –polttimoihin, jotka ovat vielä kehitysvaiheessa;
 - seutukunnan kaukolämmön tuotanto on jakautunut usean eri energiayhtiön ja voimalayksikön välille, jolloin investointeja on pakko tehdä useampaan yksikköön;
 - puubiomassaa ja turvetta käytetään samoissa voimalaitosyksiköissä, joten puun osuus voi kasvaa kun turpeen käytöstä luovutaan; ja
 - arvio vedyn tuotantokustannuksesta on huomattavasti korkeampi kuin kotimaisten polttoaineiden markkinahinta.

Vedyn potentiaali eri käyttösektoreissa Suomessa

	Teknologian valmius	Kulutuspotentiaali	Yleisarvio
Tieliikenne	Muutamia automalleja markkinoilla, tankkausasemaverkosto vielä puutteellinen	Tällä hetkellä näyttää pieneltä, suurin potentiaali raskaassa liikenteessä	
Laivaliikenne	Vedylle sopivia laivamoottoreita kehitetään, satamien infra vielä puutteellista	Vety suuntautumassa pienempiin laivoihin, vety ei sellaisenaan sovellu rahtilaivoihin	
Teollisuus	Vetyä käytetään jo laajalti teollisuudessa raaka-aineena, polttinratkaisut vielä kehitteillä	Vetyä kulutetaan runsaasti teollisuudessa, vihreällä vedyllä suurta potentiaalia vähähiilistämässä	
Kaukolämmön tuotanto	Vetykattilat ja -polttimet ovat vielä kehitteillä	Vety olisi kallis polttoaine verrattuna muihin vihreisiin vaihtoehtoihin	

An aerial photograph of a vast, calm lake with numerous forested islands and peninsulas. The sky is a mix of soft pinks, oranges, and blues, suggesting a sunset or sunrise. The water reflects the colors of the sky.

**Teknitaloudellinen
selvitys vedyn
tuotannosta Kaustisen
alueella**

WEGA

Investointi- ja ylläpitokustannukset vedyn tuotantoon

- Kirjallisuuskatsaus: tutkittiin menetelmien asemaa ja tulevaisuuden skenaarioita
 - Selvitetty tarvittavat investointikustannukset höyryreformoinnista (SMR), lämpöhajottamisesta (TDM) ja elektrolyysistä
 - SMR:n ja elektrolyysin hintatiedot kysely valmistajilta, TDM-tekniologian kustannuksia selvitetty tutkimuslähteiden avulla, skaalattu ja inflaatiokorjattu
 - Selvitetty ja arvioitu seuraavia lähtötietoja:
 - Investointikustannukset
 - Vuosittaiset ylläpito- ja käyttökulut
 - Käyttöhyödykkeiden kulutus (sähkö, vesi, biokaasu)
- Lähtötietojen avulla muodostettiin vuosittaiset yksikkö- ja kokonaiskustannukset eri teknologioille
- Lisäksi pohdittu myös kokonais- ja yksikkökustannuksiin eniten vaikuttavimpia tekijöitä

Kirjallisuuskatsaus - kannattavuus

TDM (Metaanin lämpöhajotus)

- Teknologiaa verrattu muihin vedyn tuotantoteknologioihin
- Kannattavuuteen vaikuttaa paljon tuotteen markkina-arvo, joka riippuu laadusta ja ominaisuuksista
- TDM-teknologia on ollut pääasiassa tutkimusasteella, joten käyttökustannus- ja investointireferenssejä on otettu kirjallisuudesta

SMR (Höyryreformointi)

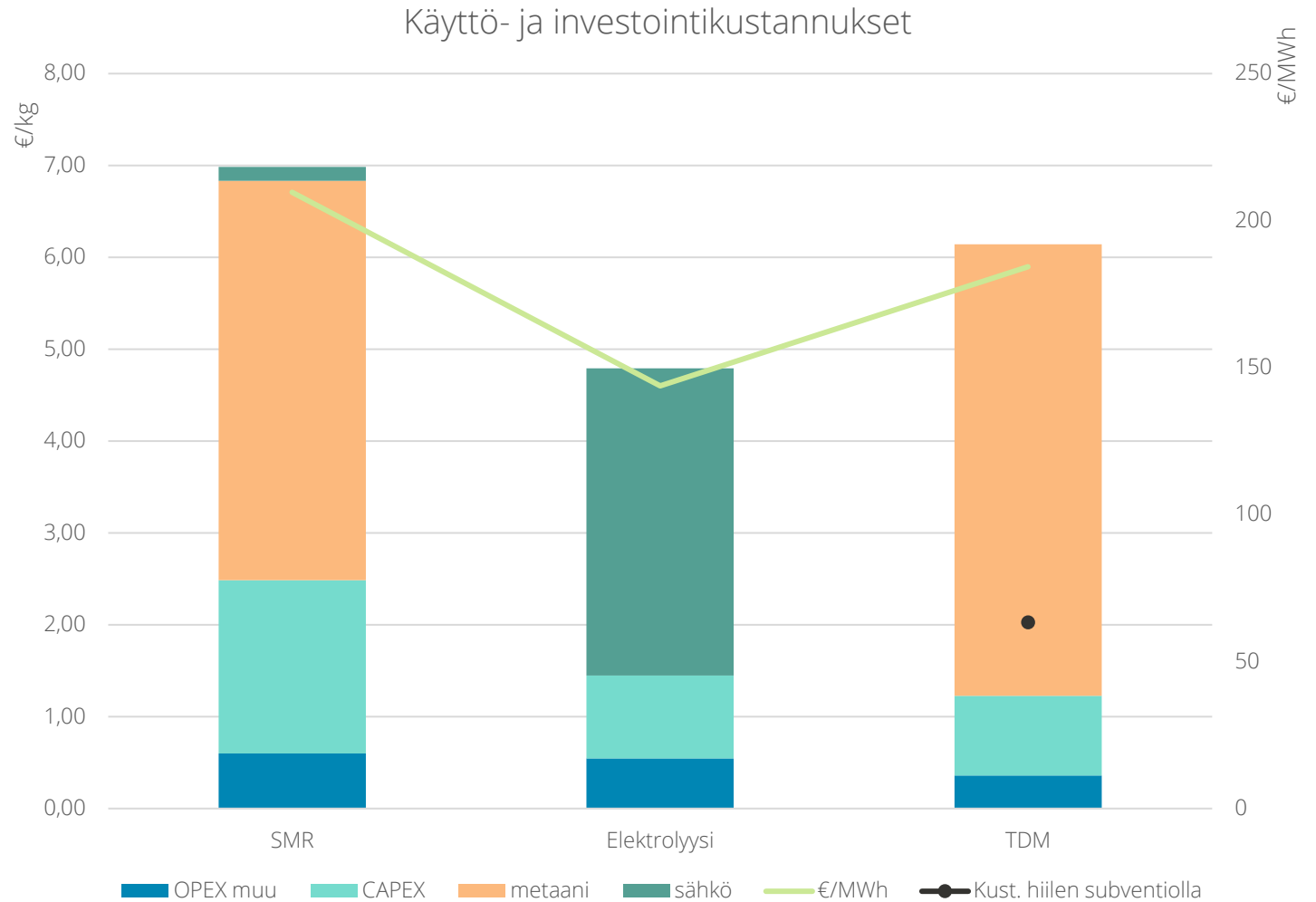
- Tällä hetkellä pidetään benchmark-teknologiana edullisuuden ja käytettävyyden vuoksi
- Nousseet raaka-ainekustannukset (maakaasun ja sähkön hinnat) nostaneet viime aikoina kustannuksia huomattavasti
- Tulevaisuudessa haasteeksi voi nousta hiilidioksidin talteenoton kustannukset ja päästöjen hinnoittelu

Elektrolyysi

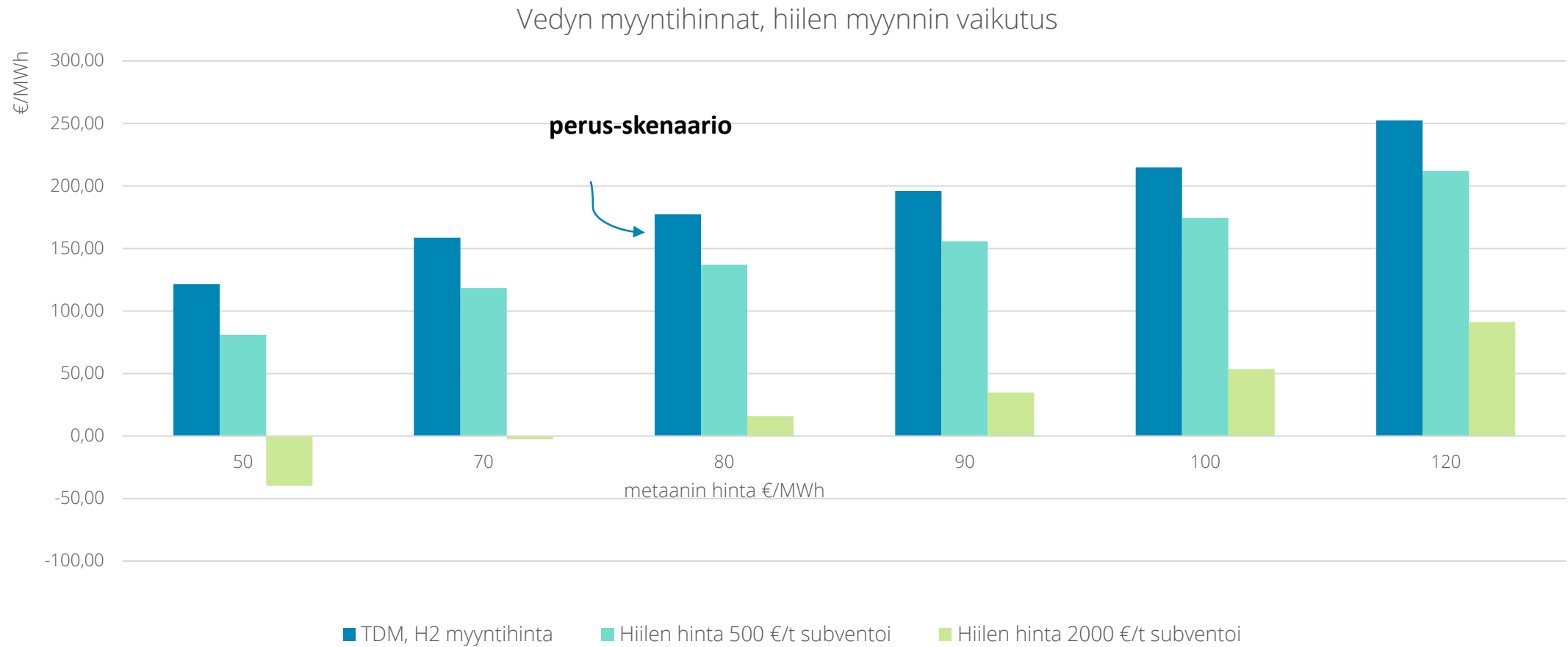
- Tällä hetkellä elektrolyysin kannattavuutta rajoittaa korkeat kustannukset sekä arvoketjujen puuttuminen
- Tulevaisuudessa uusiutuvan energian ylijäämä alentaa kustannuksia. Teknologian skaalautuvuus ja suorituskyvyn parantaminen edellytyksenä kannattavuudelle.

Kustannusten vertailu: johtopäätökset

- Biometaanilla on suuri vaikutus SMR:n ja TDM:n kokonaiskustannuksiin
- SMR:ssä on suuret investointikustannukset, kontaktoidun valmistajan laitteistot ovat liian pieniä tähän kohteeseen
- Sähkön hinnalla on suuri vaikutus elektrolyysin kokonaiskustannuksiin
- Hiilestä saatavalla hinnalla voidaan subventoida korkeaa TDM-prosessin kustannusta



TDM: myyntihinta, hiilen vaikutus



Vedyn siirto käyttökohteille

- Jos vetyä ei tuoteta käyttökohteella, se on siirrettävä käyttökohteelle
- SMR- ja elektrolyysiteknologioilla on mahdollista tuottaa vety myös käyttökohteella, mutta TDM-tekniologialla keskitetty tuotanto on oletettavasti todennäköisempi hiilen tuotannon vuoksi
- Siirtovaihtoehtoja on käytännössä putkisiirto tai siirto paineistetun vedyn siirtokonteissa
 - Siirtokontit on paineistetun biometaanin siirrossa yleisesti käytetty menetelmä, ja se valittiin siirron kustannusten arvioimiseksi

WEGA

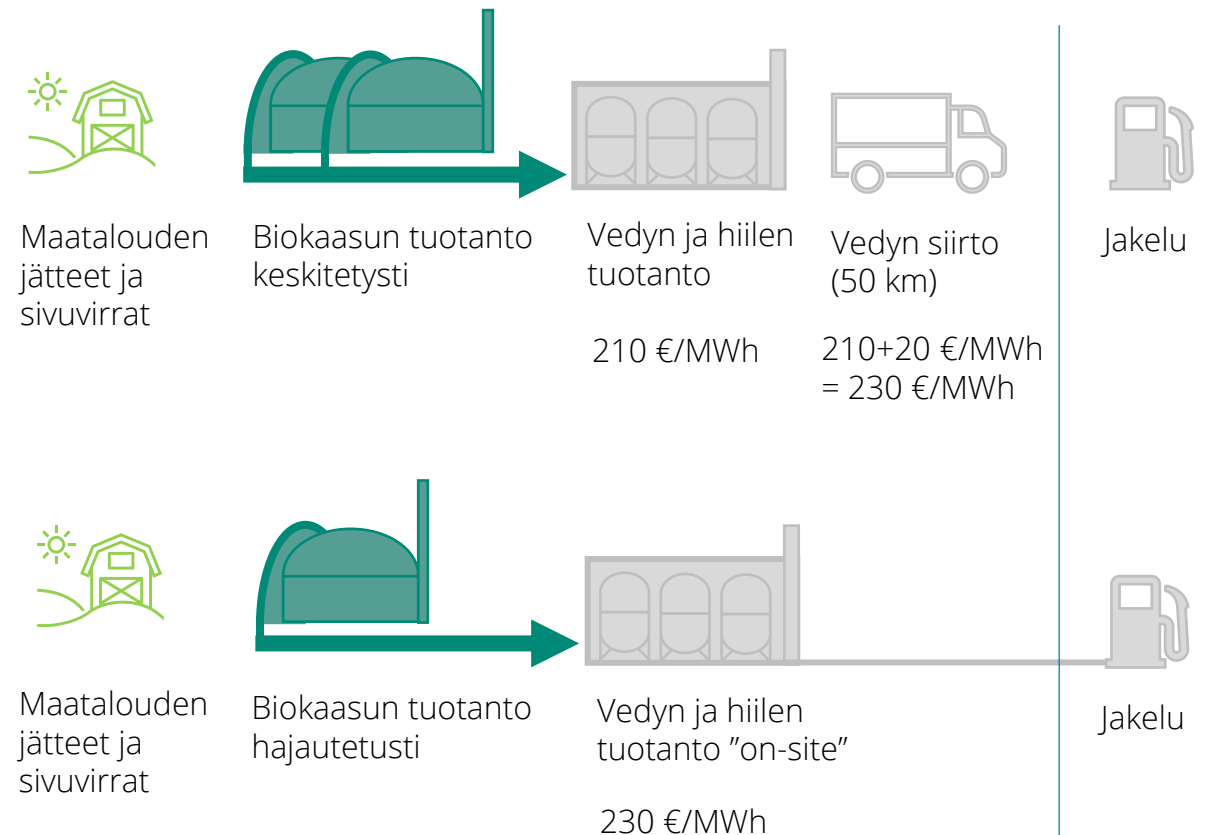
Ominaisuus	CH ₄	H ₂	Yksikkö
Kiehumispiste	-161,5	-253	°C
Tiheys @ 250 bar(g)	220	18,1	kg/m ³
Energiatiheys @ 250 bar(g), LHV	3,0	0,6	MWh/m ³
Tiheys (liq)	442	70,8	kg/m ³
Energiasisältö (liq), LHV	13,7	33,3	MWh/t
Energiatiheys (liq), LHV	6,17	2,36	MWh/m ³



Lähde: UMOE Advanced Composites

Vedyn siirto ja jakelu

- Vedyn siirron ja varastoinnin kustannukset voivat vaikuttaa loppuhintaan esim. liikenteessä suuresti – ilman kunnollista jakeluinfrastruktuuria vedyn tuotanto ”on-site” voi olla järkevää
- Jos logistiikkaketju toimii hyvällä käyttöasteella, pienemmän tuotanto yksikön suuremmat yksikkökustannukset olivat kuitenkin samaa luokkaa kuin keskitetyn vedyn tuotannon lisäkustannukset logistiikkaan
- Hajautettu tuotanto SMR- ja TDM-teknologioilla tarvitsevat biometaania, joka olisi siirrettävä yhdeltä biokaasulaitokselta putkistoa pitkin käyttökohteille – tai useammalta pieneltä tuotantolaitokselta
- Toisin kuin SMR ja elektrolyysilaitteistot, TDM-teknologia ei välttämättä ole hajautettavasti helposti, koska sivutuotteena syntyy kiinteää hiiltä





Uusiutuvan vedyn ja hiilen tuotantoa tukevat keskeiset ohjauskeinot

WEGA

Ohjauskeinojen tavoitteet

EU:n laajuiset tavoitteet

- EU tavoittelee:
 - Hiilineutraaliutta **2050 mennessä**
 - 55 % päästövähennystä **2030 mennessä**¹⁾
 - Tavoite on kirjattu **EU:n ilmastolakiin** joka hyväksyttiin kesäkuussa 2021
- **EU:n vihreän siirtymän suunnitelma** on tiekartta ja kasvustrategia ilmastoneutraaliuden saavuttamiseksi vuoteen 2050 mennessä ja kestävän talouden luomiseksi
- **Fit for 55** on joukko poliittisia ehdotuksia, joilla pyritään toteuttamaan EU:n ilmastotavoitteet ja EU:n vihreän siirtymän suunnitelma

Suomen kansalliset tavoitteet

- Suomella on tällä hetkellä seuraavat kansalliset tavoitteet
 - Hiilineutraaliuden saavuttaminen **2035 mennessä** ja hiilinegatiivisuus pian sen jälkeen
 - 60 % päästövähennys 2030, 80 % vähennys 2040 ja 90 % vähennys **2050 mennessä**¹⁾
 - Sähkön ja lämmön tuotanto tulee tehdä lähes päästöttömäksi **2030-luvun loppuun** mennessä
 - Hiilen käytöstä poistaminen energian ja lämmön tuotannossa vuoteen **2029 mennessä**
 - Puolittaa liikenteeseen liittyvät kasvihuonekaasupäästöt²⁾ **vuoteen 2030 mennessä** ja saavuttaa nollopäästöt vuoteen 2045 mennessä
- Suomen päivitetty maakohtainen päästövähennystavoite taakanjakosektorille on 50 % vuoteen 2030 mennessä²⁾

1) 1990 tasoon verrattuna

2) 2005 tasoon verrattuna

Pääasialliset ohjauskeinot

1. Lainsäädännölliset päästövähennystavoitteet ja -määräykset
 - EU:n Fit for 55 –ilmastopaketti
 - Kansallinen lainsäädäntö
2. Päästökauppajärjestelmä
 - Järjestelmän laajentaminen uusille toimialoille
 - Päästöoikeuksien vähentäminen markkinoilta
3. Verotus
 - Energian ja sähkön verotuksen yhdenmukaistaminen ilmasto- ja ympäristöpolitiikan kanssa EU:n alueella
 - Suomessa energiaveroilla tarkoitetaan nestemäisten polttoaineiden sekä sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteveroja. Polttoaineen valmistevero koostuu kolmesta osasta, jotka ovat energiasisältövero, hiilidioksidivero ja huoltovarmuusmaksu.
4. Tuet
 - Energia- ja investointituet suuren kokoluokan laitoksille

Fit for 55 –paketin keskeinen sisältö

Nykyisen lainsäädännön uudistaminen

1. EU:n päästökauppajärjestelmän uudistaminen
2. Taakanjakoasetuksen uudistaminen
 - Uusi 40 % kasvihuonepäästöjen vähentämistavoite päästökauppaan kuulumattomille aloille, Suomen tavoite 50 %
 - Sektoriin kuuluu rakentaminen, rakennusten lämmitys, asuminen, maatalous, liikenne ja jätehuolto ja teollisuuden F-kaasut
3. Energiaverodirektiivin uudistus
 - Energiatuotteiden ja sähkön verotuksen yhdenmukaistaminen EU:n energia-, ympäristö- ja ilmastopolitiikkojen kanssa
 - Lento- ja meriliikenteen polttoaineita aletaan verottaa, saastuttavampia polttoaineita verotetaan eniten, käyttötarkoituksenneutraali
4. LULUCF-asetuksen tarkastaminen (maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous)
 - Korkeampi tavoite hiilipoistumille ja kansallisten tavoitteiden asettaminen
5. Henkilö- ja pakettiautojen CO₂-päästönormien tarkastaminen
 - 2035 vuoden jälkeen uusien henkilö- ja pakettiautojen tulee olla päästöttömiä
6. Uusiutuvan energian direktiivin (RED II) tarkastaminen
 - 40 % EU:n käyttämästä energiasta on peräisin uusiutuvista lähteistä vuoteen 2030 mennessä
7. Vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuria koskeva asetus
 - Sähköautojen latausasemia 60 km ja vedyn tankkausasemia 200 km välein 2030

Fit for 55 –paketin keskeinen sisältö

Uusi lainsäädäntö

1. Hiilirajamekanismi (CBAM)
 - Tavoitteena välttää hiilivuoto EU:n ulkopuolelle. EU:ssa olevan tuojan on katettava todistuksia päästökaupasta johtuvan hintaeron verran.
2. ReFuelEU Aviation- ja FuelEU Maritime –asetukset
 - Tarkoituksena lisätä ilma-alusten ja laivojen kestävien polttoaineiden käyttöä ja vähentää kasvihuonepäästöjä

WEGA

Uusiutuvan energian direktiivi (RED II)

Uusiutuvan energian direktiivi (RED II)

- Sisältää joukon toimenpiteitä EU:n yhteisen 32 % uusiutuvan energian osuuden (RED III:ssa 40 %) saavuttamiseksi energian loppukulutuksesta vuoteen 2030 mennessä
- Liikenteessä tavoitteena on saavuttaa 14 % uusiutuvan energian osuus
- Valtakunnallisen toimeenpanon määräaika oli 30.6.2021
- Fit For 55 -paketti ehdottaa uusiutuvan energian direktiivin ("RED III") tarkistamista
- Suomen kansalliset tavoitteet ylittävät monissa tapauksissa RED II -direktiivin asettamat vähimmäisvaatimukset

Keskeiset muutokset RED III:ssa:

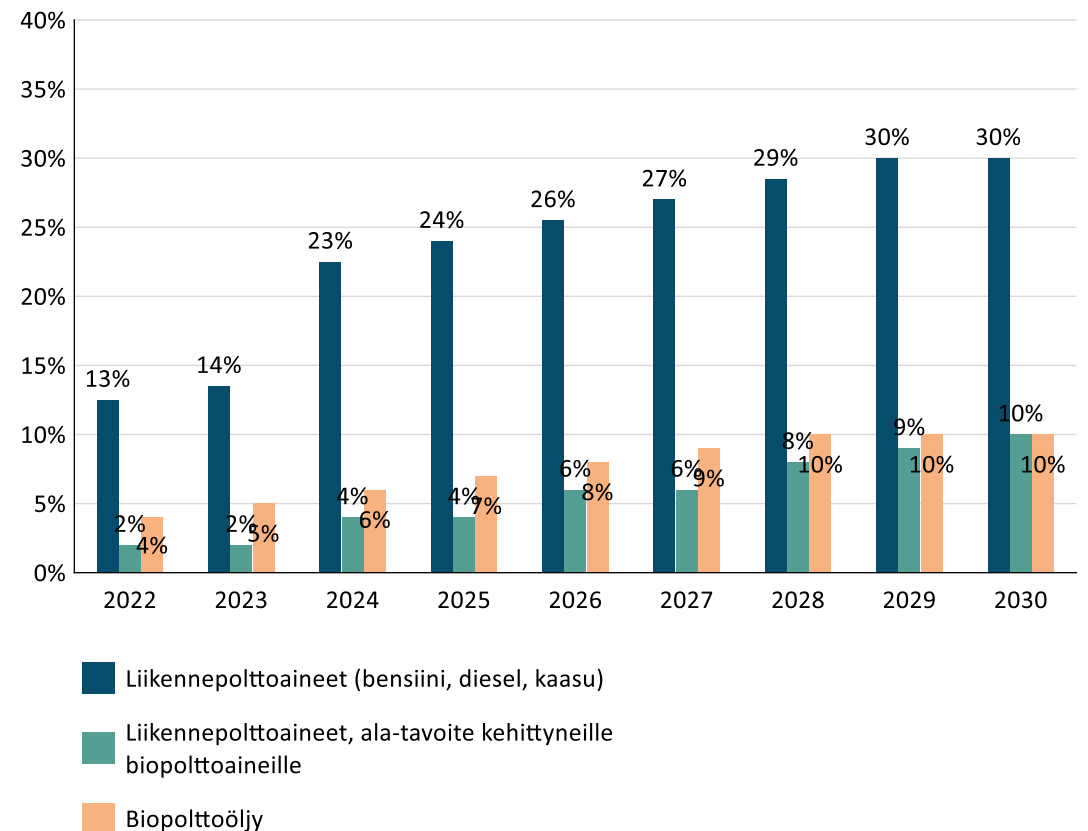
- EU:n uusiutuvien energialähteiden (RES) vähimmäisosuus energian loppukulutuksesta nostetaan 40 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä
- Liikenne:
 - Tavoitteena on vähentää liikenteen polttoaineiden kasviuonekaasuintensiteettiä 13 % ja saavuttaa vähintään 2,2 %:n osuus kehittyneistä biopolttoaineista ja biokaasusta liikenteessä
 - Uusi tavoite ei-biologisesta alkuperästä (eli pääasiassa vedystä) peräisin oleville uusiutuville polttoaineille liikenteessä 2,6 %
- Teollisuus:
 - Uusiutuvan energian osuus teollisuudessa kasvaa vuosittain 1,1 prosenttiyksikköä

Kansallinen jakeluelvoite

Jakeluelvoitelainsäädäntö

- Kansallinen jakeluelvoite määrää uusiutuvien polttoaineiden vähimmäisosuuden, joka polttoaineen jakelijan on jaettava
- Biokaasu ja lämmitysöljy lisättiin jakeluelvoitteen piiriin 1.1.2022
- Ei-biologista alkuperää olevat uusiutuvat nestemäiset ja kaasumaiset liikennepolttoaineet (RFNBO-polttoaineet, mukaan lukien sähköpolttoaineet) lisätään 1.1.2023
- Laki määrää myös elintarvike- ja rehukasveista tuotettujen uusiutuvien polttoaineiden enimmäismäärän ("crop cap")
- Laki ja sen muutokset panevat täytäntöön EU:n uudistetun uusiutuvan energian direktiivin (RED II)
- Hallitus ehdotti liikenteen polttoaineiden väliaikaista 7,5 prosenttiyksikön vähennystä vuosina 2022 ja 2023 energiamarkkinatilanteen vuoksi

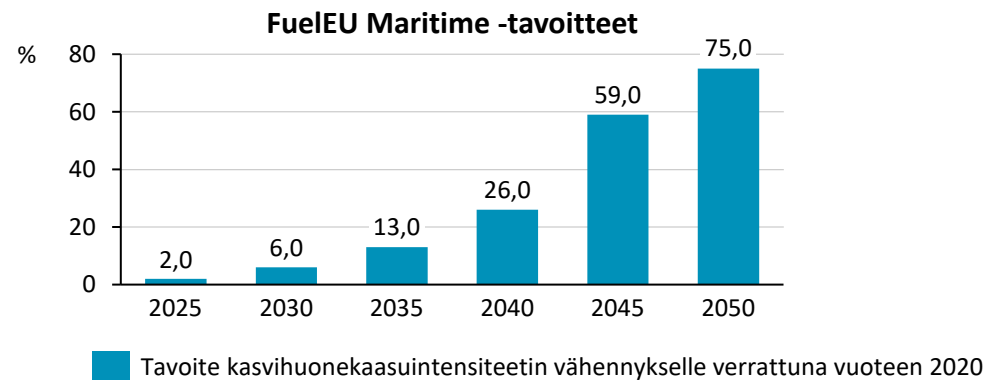
Jakeluelvoite polttoaineittain



Meriliikenteen ja lentoliikenteen jakeluvuorot

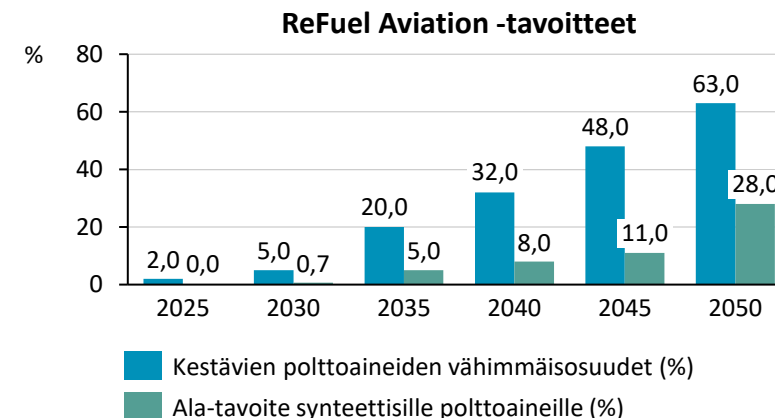
FuelEU Maritime

- Tavoite on vähentää aluksella käytettävän energian kasvihuonekaasuintensiteettiä
- Kattaa aluksella käytetyn energian kun alus on EU:n satamassa, EU-satamien välisillä matkoilla käytetyn energian ja 50 % EU:n satamasta lähtevillä tai sinne saapuvilla matkoilla käytetystä energiasta
- Tavoite on polttoaineneutraali ja voi koostua mm. kehittyneistä biopolttoaineista, ei-biologista alkuperää olevista uusiutuvista polttoaineista (RFNBO) tai kierrätetyistä hiilipolttoaineista (RCF)



ReFuel Aviation

- Tavoitteena lisätä kestävien lentopolttoaineiden tarjontaa ja kysyntää EU:ssa
- Kaikki EU:n lentoasemilta lähtevät lennot on katettuina
- Asetuksen mukaisia polttoaineita ovat kehittyneet biopolttoaineet ja e-polttoaineet; rehu- ja elintarvikekasveihin perustuvat biopolttoaineet eivät ole mukana

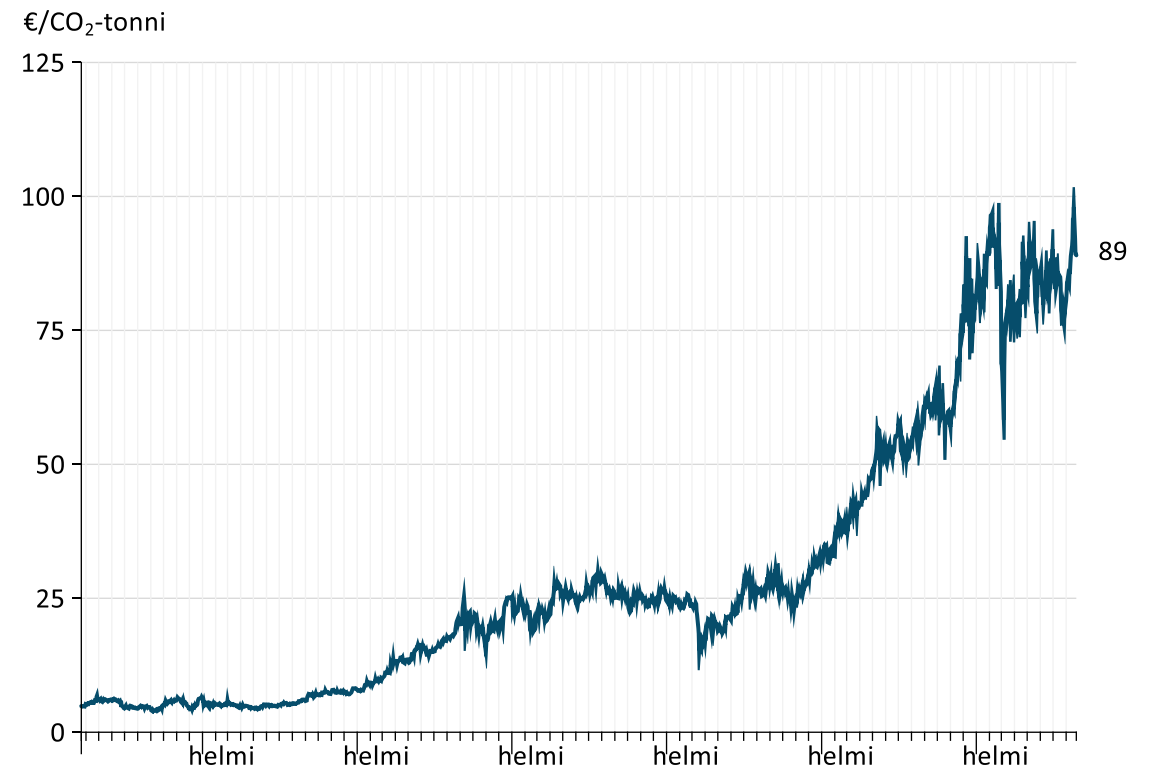


EU:n päästökauppajärjestelmä

Kasvava merkitys

- Järjestelmä kattaa CO₂-päästöt energian- ja lämmöntuotannosta, energiaintensiivisestä teollisuudesta ja kaupallisesta lentoliikenteestä EU:n sisällä, sekä typpidioksidipäästöt (N₂O) ja PFC-fluoriyhdisteet tietyissä tapauksissa
- Järjestelmä kattaa hieman alle puolet Suomen kasvihuonepäästöistä
- Päästöoikeuden hinta on yli 10-kertaistunut vuoden 2018 alusta, ja se on alkanut ohjaamaan teollista toimintaa
- Fit for 55 sisältää lukuisia uudistuksia, mm:
 - Nopeampi päästökaton aleneminen
 - Laajentaminen meri- ja tieliikenteeseen sekä rakennuksiin
 - Maksuttomien päästöoikeuksien asteittainen poisto

Päästöoikeuden hintakehitys



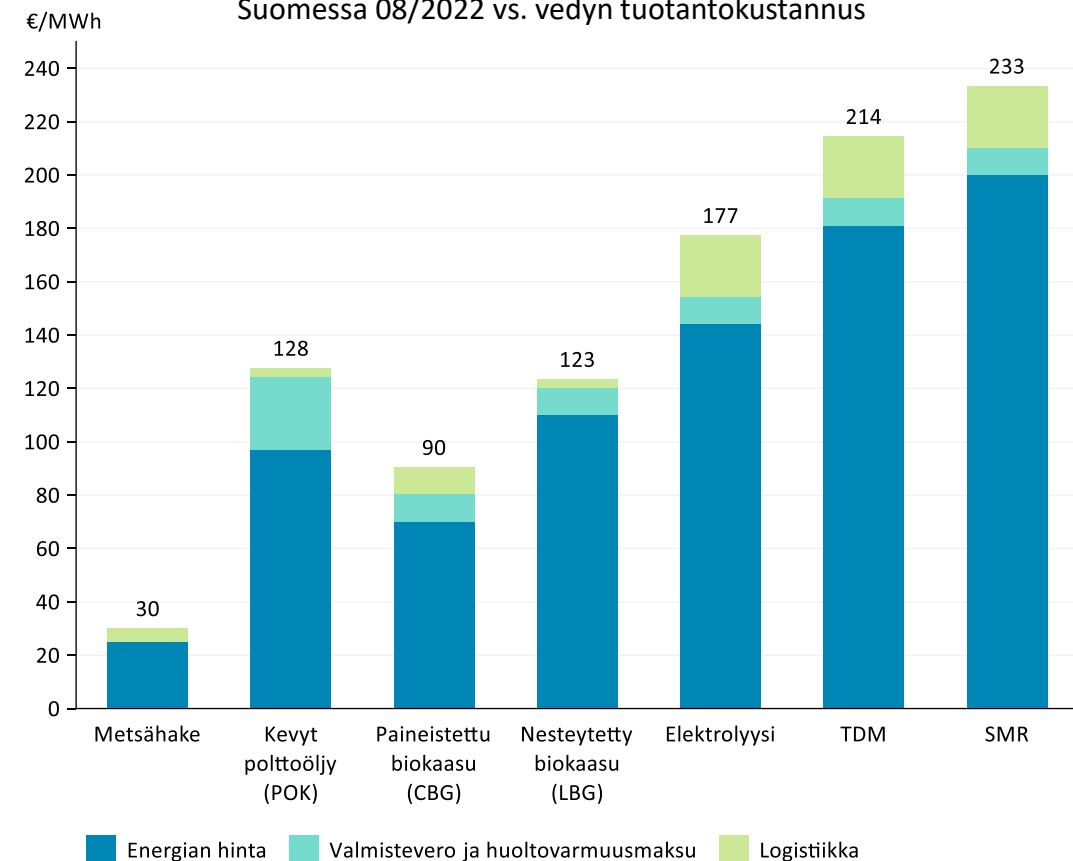
Vedyn kestävydestä

- Vedyn kestävydestä säädetään EU-tasolla, RED II direktiivin (90) asettaa epätarkat puitteet RFNBO-polttoaineiden, käytännössä siis vedyn kestävyydelle
 - Tällä hetkellä (10.10.2022) kaksi lainsäädännöllistä prosessia liittyen vedyn kestävyteen on kesken, eli ei vielä tarkkaa lainvoimaista säätelyä
 - [Delegoitu asetus](#) RFNBO-polttoaineiden tuotannon säännöistä, jossa on säädetty uusiutuvan *elektrolyysillä tuotetun* vedyn kriteereistä on annettu keväällä 2022
 - RED II-lakiin äänestettiin lisäyksiä syyskuussa, jotka ovat ristiriidassa delegoidun asetuksen kanssa. Käytännössä siis läpi mennessään muutokset estäisivät delegoidun asetuksen läpimenon, prosessi voi kuitenkin kestää vielä pari vuotta ja olisi vielä implementoitava kansallisella tasolla
- Muun kuin elektrolyysillä tuotetun vedyn uusiutuvuudesta ei ole tehty lainsäädäntöä EU-tasolla, joten biokaasusta tuotettu vety ei olisi *nykyisellään* kestävä EU:n lainsäädännön mukaan.

Vedyn hintakilpailukyky verrattuna eri polttoaineisiin

- Kaaviossa on vertailtu vedyn tuotantokustannusta kaukolämmöntuotannossa (metsähake), teollisuuden lämmöntuotannossa (POK) sekä liikenteessä käytettyjen polttoaineiden hintoihin (CBG ja LBG)
- Analyysissä ei ole mukana liikenteen jakeluaseman kustannuksia eikä jakeluvelvoitteen piiriin kuuluvien polttoaineiden tikettikauppaa
- Arvio vedyn tuotantokustannuksesta on vaihtoehtoisia polttoaineita merkittävästi korkeampi, eikä se ole tällä hetkellä kilpailukykyinen vaihtoehto
- **Vedyn kysynnän kasvu pohjautuu tällä hetkellä erilaisiin ohjauskeinoihin sekä tukiin**

Eri toimialojen polttoaineiden hinnat käyttöpaikalle toimitettuna Suomessa 08/2022 vs. vedyn tuotantokustannus



Vedyn käyttökohteet eri toimialoilla

Sektori	Nykyinen polttoaine	Teknologinen valmius käyttöönottoon	Yhteenveto
Liikenne	HVO	★★★★★	Vedyn kysyntää maaliikenteessä tulevaisuudessa kasvattaa polttokennolla varustettujen rekkojen ja bussien myynti, joissa vety on kilpailukykyinen vaihtoehto polttomoottoriin perustumattomiin vaihtoehtoihin kuten sähköakkuihin nähden.
	Biokaasu (LBG/CBG)	★★★★★	Meri- ja lentoliikenteessä vetyä tullaan käyttämään synteettisen kerosiinin, ammoniakkin tai muiden synteettisten polttoaineiden raaka-aineena. Vedyn kysyntää liikenteessä tukevat jakeluvaihtoehtolainsäädäntö, tuet vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurille sekä tavoite polttomoottoriautoista luopumiselle.
Energiantuotanto	Maa- ja biokaasu	★★★★★	Energiantuotannossa vetyä voidaan sekoittaa maakaasuun maksimissaan noin 20 %, ja käyttää normaalisti energiantuotannossa kaasuturbiinilla.
Teollisuus	Kevyt polttoöljy	★★★★★	Vetyä voidaan käyttää teollisuuden energiantuotannossa joko suoraan polttamalla tai maakaasun mukaan sekoitettuna.
	Biokaasu (LBG)	★★★★★	Teollisuudessa vetyä käytetään raaka-aineena mm. öljynjalostuksessa, kemianteollisuudessa ammoniakkin ja metanolin tuotannossa, sekä tulevaisuudessa terästeollisuudessa käyttämällä vetyä pelkistämiseen koksien sijaan. Teollisuuden tiukentuvat päästövähennystavoitteet luovat kysyntää vihreälle vedylle.

Yhteenveto

- EU:n ja kansalliset ilmastotavoitteet asettavat kunnianhimoisen aikataulun kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiselle ja hiilineutraaliuden saavuttamiselle
- Uudet lainsäädäntöpaketit (esim. Fit For 55) ehdottavat korkeampia uusiutuvan energian tavoitteita liikenteelle, teollisuudelle ja laajentavat niitä meriliikenteen ja lentoliikenteen polttoaineisiin
 - Ilmastotavoitteiden toteuttaminen lisää kysyntää ja luo uusia markkinoita synteettisille polttoaineille
 - Nostaa hintatasoa, laskee yksikkökustannuksia ja tekee uusista investoinneista kannattavia
- Suurin osa synteettisten polttoaineiden kasvavasta kysynnästä tulee maa-, meri- ja lentoliikenteestä, sekä teollisuuden raaka-ainekäytöstä
 - Vety ei kuitenkaan ole kilpailukykyinen vaihtoehtoihin uusiutuviin polttoaineisiin nähden
 - Kysynnän kasvu tulee pääasiassa eri ohjauskeinojen kautta
- Vedylle on olemassa olevia ohjauskeinoja, kuten investointitukia tuotantoon ja jakeluinfrastruktuuriin, sekä vedyn sisällyttäminen jakelovelvoitteeseen
 - Oletettavasti vedyn verokohtelu seuraa samaa linjaa kuin biometaanilla

WEGA

An aerial photograph of a dense forest with a dirt road winding through it. The trees are mostly green, with some yellowing, suggesting autumn. The dirt road is a light brown color and runs diagonally across the frame. A blue rectangular box is overlaid on the left side of the image, containing white text.

**Vedyn
kustannustehokkuus
loppukäyttäjän
näkökulmasta**

WEGA

Johdanto

- Tuotetun vedyn kustannustehokkuutta tutkittiin kahdessa erilaisessa käyttökohteessa
- Aluksi käyttökohteiksi pohdittiin paikallisia teollisuuden toimijoita, mutta heillä ei ollut suunnitelmia vedyn käytölle
 - Päätettiin valita muita käyttökohteita, joissa voisi olla tulevaisuudessa potentiaalia siirtyä vihreään vetyyn
- Tutkittaviksi käyttökohteiksi valittiin
 1. Vedyn jakelu tieliikenteeseen Kaustisen seudulla (Halsua)
 2. Vedyn käyttö energianlähteenä Kokkolan teollisuusalueen esimerkin omaisesti
- Molemmissa tapauksissa vetyä vertailtiin tapaukseen, jossa hyödynnettäisiin alueella syntyvä biokaasu suoraan ilman vedyksi jalostamista



Vedyn jakelu tieliikenteeseen Kaustisilla

- Tutkittiin vedyn kuljettamista tankkausasemalle ja jakelua tieliikenteeseen
 - Asema olisi kevyen liikenteen jakeluasema (henkilö-, ja pakettiautot)
 - Kaustisen seudulla on suunnitelmia rakentaa polttoaineen jakeluasema Halsuan taajamaan ja kaasutankkausasema ajateltiin sijoittuvan samalle tontille
- Jakeluaseman kustannuksien arvioinnissa käytettiin valmistajan tietoja sekä Wegan kokemusta kaasutankkausasemien kustannuksista
- Tankkausaseman kustannusten avulla muodostettiin kokonaishinta tankattavalle vedylle
 - Vedyn kokonaiskustannuksia vertailtiin biokaasun jakelun kokonaiskustannuksiin
 - Tarkasteltu ajoneuvojen energiakuluja, ei muita autojen ylläpito- ja hankintakuluja



WEGA

Lähde: Hydrogen-Central, 2021

Tankkausasemien kustannukset

- Vedyn jakeluaseman kustannusten selvittämiseksi kontaktoitiin Eurooppalaisia laitevalmistajia
 - Laitetoimittajien kanssa pidettiin Teams-kokoukset ja pyydettiin kustannusarviot vedyn jakeluasemalle
 - Aseman muita- ja ylläpitokuluja arvioitiin biokaasun jakeluaseman perusteella
- Biokaasutankkausaseman kustannukset arvioitiin Wegan tietoihin perustuen
- Tankkausasemien kustannusten avulla muodostettiin kaasujen jakeluasemien kustannukset

	Vetytankkausasema	Biokaasutankkausasema
Investointi yhteensä	1 744 000 €	752 000 €
Tuki	24 %	20 %
Investointi vuodessa tuen jälkeen	189 000 €	85 000 €
Ylläpitokulut vuodessa	77 000 €	53 000 €
Yhteensä kustannukset vuodessa	265 000 €	138 000 €
Jakeluaseman kustannus (10 GWh/v kulutus)	26,5 €/MWh	13,8 €/MWh

Vuotuinen tankkausmäärä: 10 GWh

Pitoaika: 10 vuotta

Korko: 7 %

Vedyn ja biokaasun loppukustannukset tieliikenteessä

- Jakeluasemien kustannusten avulla muodostettiin vedyn ja biokaasun lopulliset jakelukustannukset tieliikennejakeluun
- Huomioitiin aikaisemmin saadut vedyn tuotanto- ja jakelukustannukset, sekä verot ja jakelupreemio
- Ei huomioitu jakeluelvoitteen tikettejä, jotka tuovat lisää tuloja jakelijalle ja siten voivat laskea jakeluhintoja

	Vety	Biokaasu
Tuotantokustannus	SMR: 209,6 €/MWh Elektrolyysi: 143,8 €/MWh TDM: 184,3 €/MWh	80 €/MWh
Kuljetus (50 km edestakaisin)	20,75 €/MWh	11,4 €/MWh
Jakeluaseman kustannus	26,5 €/MWh	13,8 €/MWh
Vero (*)	10,414 €/MWh	10,414 €/MWh
Jakelupreemio	10 €/MWh	10 €/MWh
Yhteensä	SMR: 277,3 €/MWh Elektrolyysi: 211,5 €/MWh TDM: 252,0 €/MWh	125,6 €/MWh
Yhteensä (sis. alv 24 %) €/MWh	SMR: 343,8 €/MWh Elektrolyysi: 262,2 €/MWh TDM: 312,5 €/MWh	155,8 €/MWh

*) Vedylle oletettu sama vero kuin biokaasulle

Vedyn ja biokaasun energiakustannusten vertailu tieliikenteessä

- Vedyn ja biokaasun lopullisten kustannusten avulla muodostettiin kaasujen energiakustannukset tieliikenteessä
 - Vetyautolla (polttokennoauto) on valitussa tapauksessa selvästi pienempi kulutus kuin biokaasuautolla
 - Pienempi kulutus johtuu vedyn suuremmasta energiasisällöstä (kWh/kg) ja hyötysuhteeltaan paremmasta moottoriteknologiasta (Mirai on esimerkiksi huomattavasti painavampi kuin Leon)

	Vety	Biokaasu
Lopulliset polttoaineiden hinnat (sis. alv 24 %)	SMR: 11,46 €/kg Elektrolyysi: 8,74 €/kg TDM: 10,41 €/kg	2,13 €/kg
Auton tyypillinen hyötysuhde	50–60 %	20–25 %
Kaasun energiasisältö	33,33 kWh/kg	13,7 kWh/kg
Auton kulutus / 100km ^(*)	1,1 kg	4,5 kg
Kaasujen energiakustannukset /100km	SMR: 12,61 € Elektrolyysi: 9,61 € TDM: 11,46 €	9,60 €

Tässä kohteessa vedyn ja biokaasun välinen kustannus-ero tasoittuu huomattavasti

WEGA

*) Vety: Toyota Mirai 2022
Biokaasu: Seat Leon 2022

Johtopäätökset -tieliikenne

- Vedyllä tankkausaseman kustannukset ovat korkeammat kuin biokaasulla johtuen vedyn vaativammasta teknologiasta
- Vedyn lopulliset kustannukset ovat huomattavasti korkeammat kuin biokaasulla
- Vedyn korkeammat kustannukset kuitenkin tasoittuvat tieliikenteessä johtuen vetyautojen paremmasta hyötysuhteesta
- ***Biokaasun jalostaminen vedyksi ei tuo lisäarvoa verrattuna biokaasun suoraan käyttöön***

Energiakulutusten vertailu / 100 km

SMR	12,61 €
Elektrolyysi	9,61 €
TDM	11,46 €
Biokaasu	9,60 €

Suomi*

Sähköauto	4 €
Biokaasuauto	8 €
Dieselauto	14,5 €

Saksa ja EU**

Sähköauto Saksa	11,2 €
Vetyauto Saksa Vety,	10,3 €
tavoite EU 2020-30	11,0 €
Vety, tavoite EU 2030-40	7,0 €



*Motiva 6/2022

** H2 Mobility 6/2022 ja ICCT 2022

Vedyn käyttö energiantuotannossa Kokkolassa

- Esimerkkilaskenta: Teollinen käyttäjä Kokkolassa – muutos maakaasusta vetyyn/biometaaniin
 - Teho 2 MW, 15 GWh/a
 - Kaasun tuotanto Kaustisilla ja kuljetus Kokkolaan paineistetuissa kuljetuskonteissa (50 km suunta)
 - Investointikustannukset olemassa olevaan prosessiin
 - Kompressoidun kaasun konttivarastobunkkerin ja paineenalennuslaitteiston rakentaminen, sekä tarvittavat prosessiputkistojen, varusteiden ja käyttölaitteiden muutokset olemassa olevaan järjestelmään

Vety

- Vaihto vetyyn vaatii huomattavia muutoksia nykyiseen prosessiin
 - Vedyn ominaisuudet verrattuna metaaniin
 - Kaasun virtausnopeus tai paine järjestelmässä kasvaa → prosessiputkistojen ja varusteiden uusiminen
 - Käyttölaitteiden vaatimukset vedylle
 - Poltinpään täydellinen uusiminen, laitteisto + ohjaukset + automaatio
 - Kattilateknologia ei vaadi muutoksia, mutta vetykäyttö voi heikentää kattilan hyötysuhdetta
 - Suurempi kaasunkulutus suhteessa metaaniin (ei huomioitu nyt laskelmissa)
 - Konttibunkkeriaseman ja paineenalennusjärjestelmän rakentaminen
 - Vetykontit fyysisesti huomattavasti suurempia

Biometaani

- Vaihto biometaaniin ei vaadi muutoksia nykyiseen prosessiin
 - Käytettävä kaasu ei vaihdu
 - kaasukattila, poltinpää, prosessiputkistot ja varusteet sopivat myös biometaanille
 - Konttibunkkerinaseman ja paineenalennusjärjestelmän rakentaminen
 - Prosessiputkistojen rakentaminen varastoinnista olemassa olevaan järjestelmään

Johtopäätökset –teollisuus - esimerkkilaskenta

- Keskustelut laitetoimittajan edustajan kanssa vetypolttimien hinnoista
 - Suuntaa antavat arviot
- Keskustelut kattilatoimittajien kanssa tekniikasta
 - Perinteinen maakaasukattila ei vaadi muutoksia vetyyn vaihdettaessa
- Putkiston ja varastobunkkerin investoinnit arvioitiin Wegan aikaisempien tietojen perusteella
- Tarvittavat muutokset prosessiin vedyllä huomattavasti suuremmat verrattuna biometaaniin
 - Polttimen, prosessiputkistojen ja varusteiden uusiminen
 - Tekniikka kalliimpaa ja monimutkaisempaa kuin metaanilla
 - Vedyn varastokontit hinnaltaan sekä fyysiseltä kooltaan suurempia, energiasisällöltään pienempiä
- **Biokaasun jalostaminen vedyksi ei tuo lisäarvoa verrattuna biokaasun suoraan käyttöön**

	Vety	Biometaani (CBG)
Kaasun hankintahinta käyttäjälle	SMR: 209,6 €/MWh Elektrolyysi: 143,8 €/MWh TDM: 184,3 €/MWh	80 €/MWh
Kuljetus (50 km edestakaisin)	25,77 €/MWh	13,84 €/MWh
Investoinnit olemassa olevaan järjestelmään		
Poltinlaitteisto 2 MW	140 000 €	0 € (ei muutoksia)
Prosessiputkistot	32 400 €	9 760 €
Varastointibunkkeri ja paineenalennus	268 000 €	168 000 €
Luvitus	20 400 €	16 800 €
Investointikustannus yhteensä	460 800 € 4,28 €/MWh	194 560 € 1,81 €/MWh
Energian hinta käyttäjälle €/MWh	SMR: 239,6 €/MWh Elektrolyysi: 173,8 €/MWh TDM: 214,3 €/MWh	95,7 €/MWh

Vuotuinen kulutusmäärä: 15 GWh

Pitoaika: 10 vuotta

Korko: 7 %

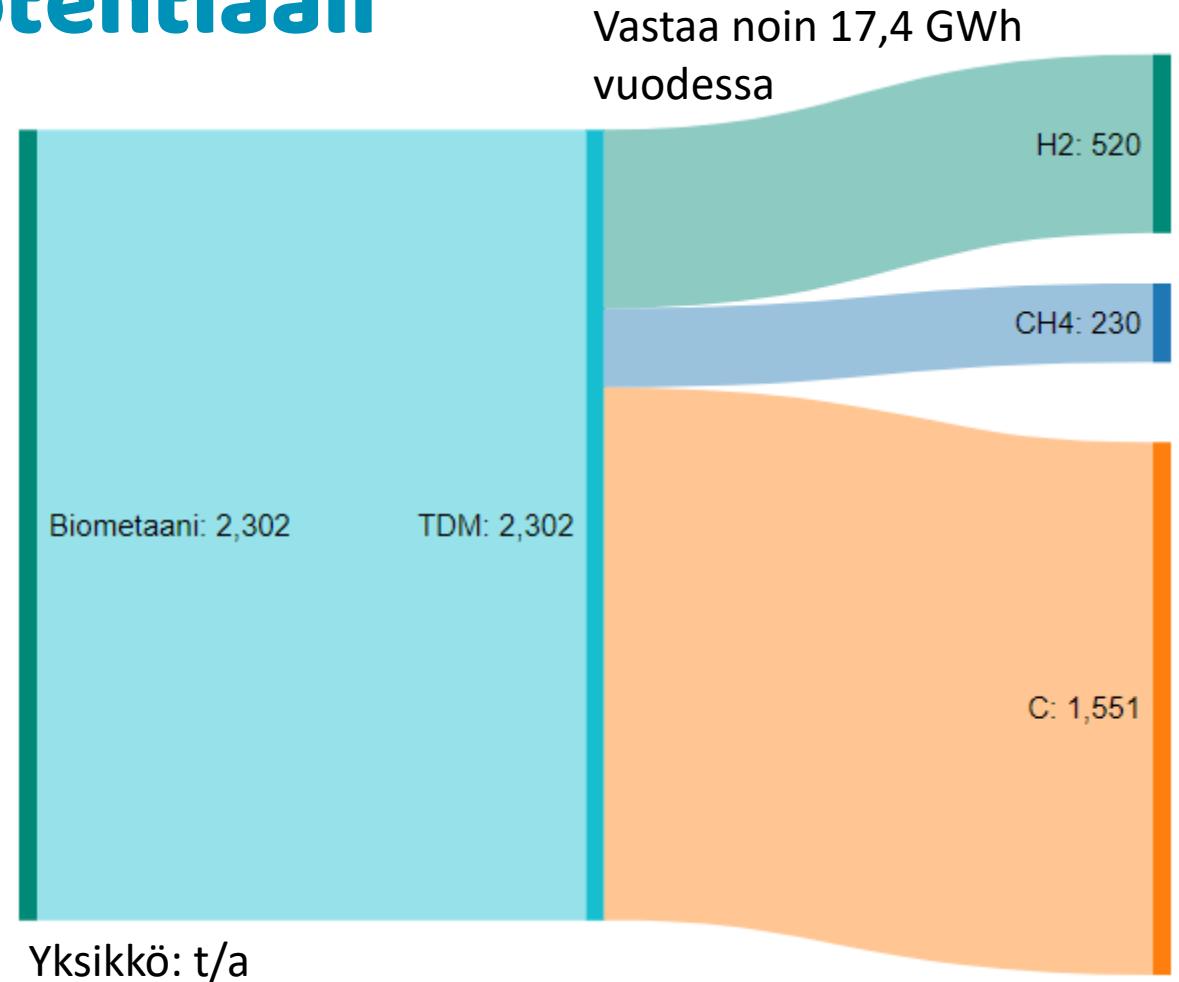
An aerial photograph of a vast body of water, likely a lake or bay, with numerous forested islands and peninsulas. The sky is a mix of soft pinks, oranges, and blues, suggesting a sunset or sunrise. The water is a deep blue with gentle ripples.

Yhteenveto ja johtopäätökset

WEGA

Alueellinen tuotantopotentiaali

- Perusskenaarioksi valittiin biometaanin 32 GWh vuotuinen tuotanto – esim. yksi isohko laitos tai 4–5 pientä laitosta. TDM-tekniologialla tuotetun vedyn energiamäärä on noin 17,4 GWh
- Jokaista tuotettua vetytonnia kohden tarvitaan 4,4 tonnia biometaania ja sivutuotteena muodostuu kiinteää hiiltä 3 tonnia:
 - Oletukset: konversio 0,9, ei häviöitä, lähtötuote puhdas biometaani

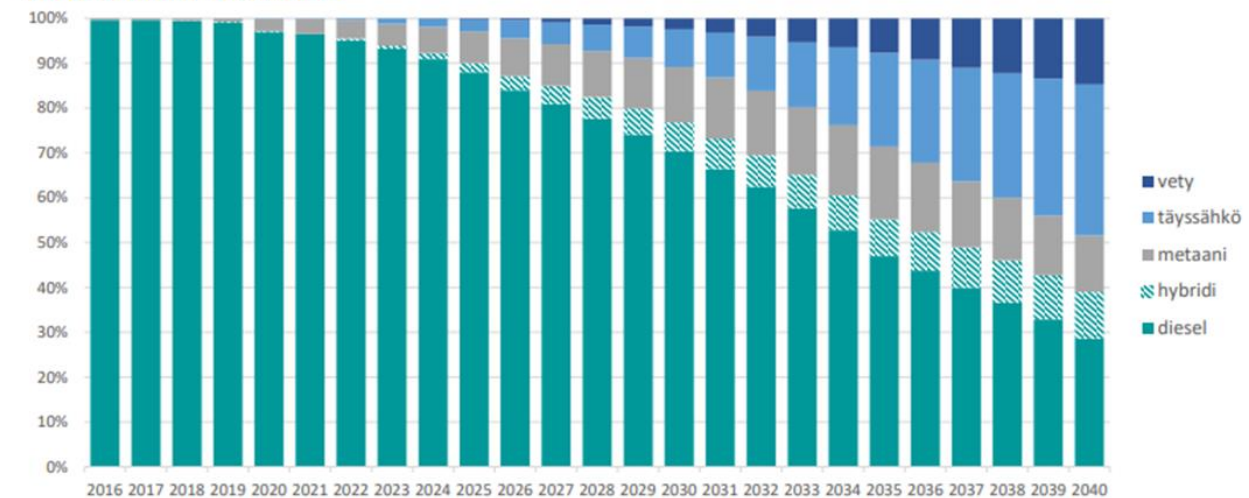


Alueellinen kulutuspotentiaali

- Kaustisen seutukunnan alueella ei tällä hetkellä käytetä vetyä
 - Alueellinen kulutuspotentiaali kehittyisi luultavasti tieliikenteessä – Autoalantiedotuskeskuksen arvion mukaan 2040 luvulla vedyn osuus yli 16 tonnisissa yhdistelmissä olisi noin 14% - mikä on samaa tasoa metaaniin kanssa
 - Fit For 55
 - EV:n tukiohjelmat
 - Raskaan liikenteen haasteet sähköistymisessä
- Lähimmät vedyn käyttäjät löytyvät Kokkolan suurteollisuusalueelta – vedyn käyttö raaka-aineena kemianteollisuudessa
 - Teollisuudessa vedyn käyttö voi lisääntyä esimerkiksi Kokkolan suurteollisuusalueella raaka-ainekäytössä – tai maakaasuun/biometaaniin sekoitettuna energiakäytössä
- Lähimmät satamat, joissa on pienillä laivoilla tapahtuvaa lauttaliikennettä, esim. Vaasassa. Isoilla rahtilaivoilla (esim. Raabe, Kokkola) todennäköisempiä tulevaisuuden polttoaineita ovat metanoli, LNG/LBG
 - Haasteena vedyn huono kuljetettavuus

Raskaat kuorma-autot (16 t-) - ennuste eri käyttövoimien osuudesta ensirekisteröinneissä ja autokannan kehityksestä

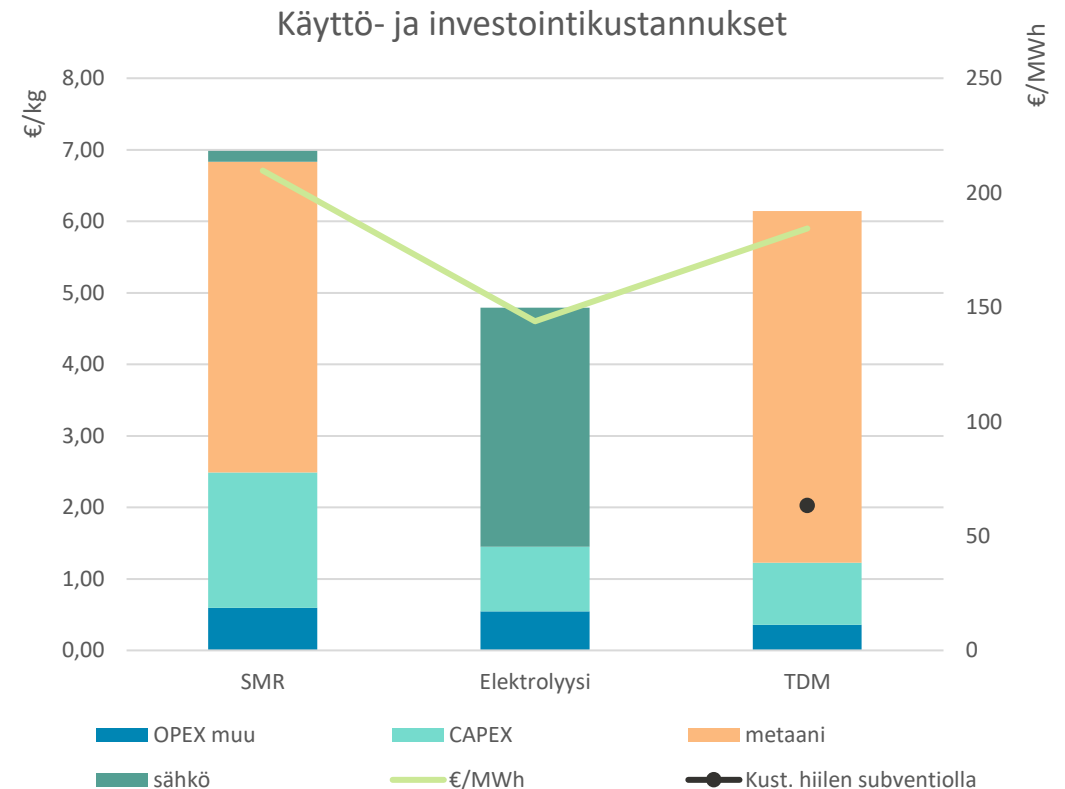
osuus ensirekisteröinneistä



Lähde: Autoalan tiedotuskeskus 2022c

Vedyn tuotantoteknologiat

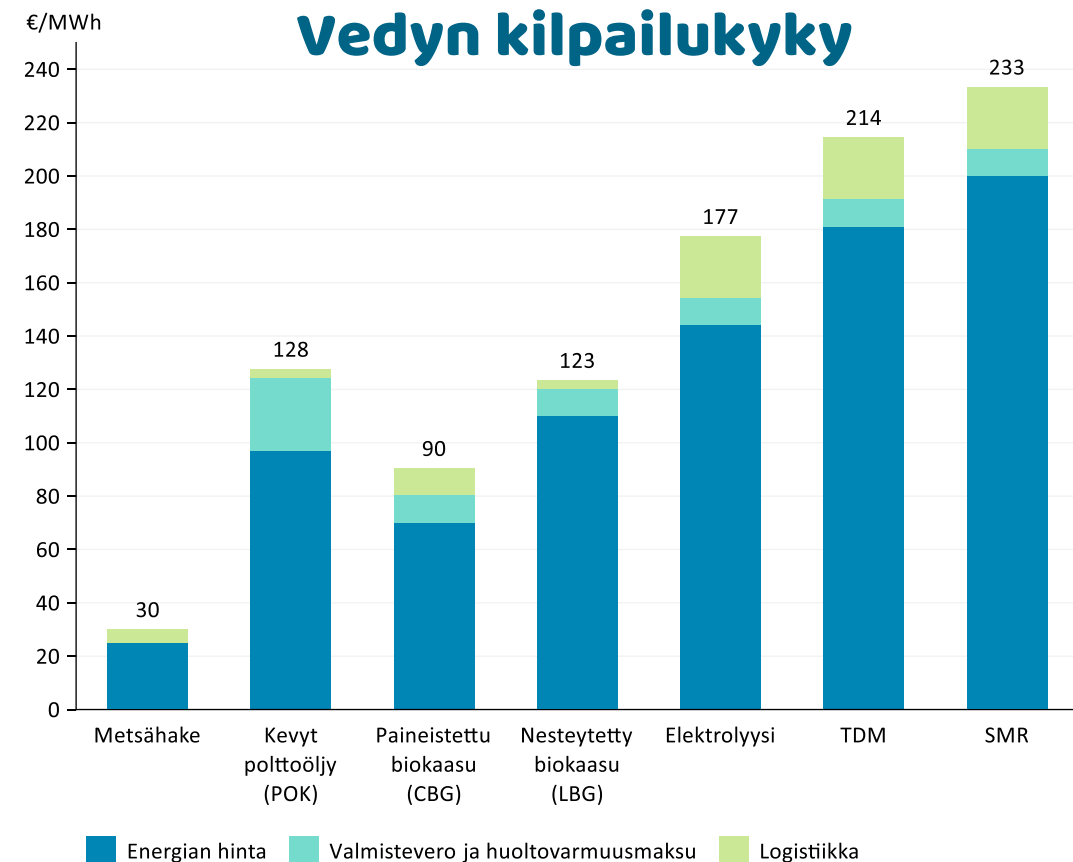
- TDM on vielä tutkimus/pilot-hanke vaiheessa oleva teknologia. TDM-tuotantolaitoksia rakentunee sinne, missä on valmiiksi vedyn kulutusta valmiiksi, jolloin suuri tuotantokapasiteetti mahdollistaa hiilen jatkojalostuksen arvokkaammaksi tuotteeksi. Ei välttämättä toimi pienissä hajautetuissa yksiköissä
- Elektrolyysihankkeita on kehitteillä huomattava määrä – suurin osa hankkeista (Suomessa) keskittyy synteettisten polttoaineiden kuten synteettisen metaanin tuotantoon (P2X, Ren-Gas), tai vedyn raaka-ainekäyttöön (Neste). Skaalautuva teknologia, toimii hajautetusti
- SMR-teknologialla tuotetaan suurin osa vedystä (maakaasusta) maailman laajuisesti. Toisin kuin TDM-teknologiassa, prosessissa syntyy hiilidioksidia. Skaalautuva, toimii hajautetusti (käytössä esim. Keski-Euroopassa)



Potentiaalisimmat markkinat ja kilpailukyky

Vedyn käyttö tulevaisuudessa

- Alueellinen kulutuspotentiaali kehittyisi luultavasti tieliikenteessä – Autoalantiedotuskeskuksen arvion mukaan 2040 luvulla vedyn osuus yli 16 tonnissa yhdistelmissä olisi noin 14 % - mikä on samaa tasoa metaanin kanssa
 - Fit For 55
 - EV:n tukiohjelmat
 - Raskaan liikenteen haasteet sähköistymisessä
 - Polttokennojen polttomoottoreita parempi hyötysuhde
- Teollisuudessa vedyn käyttö voi lisääntyä esimerkiksi Kokkolan suurteollisuusalueella, pienempiä käyttökohteita voi syntyä pienempiinkin teollisuuslaitoksiin
- Lähimmät satamat, joissa on pienillä laivoilla tapahtuvaa lauttaliikennettä, esim. Vaasassa. Isoilla rahtilaivoilla (esim. Raahe, Kokkola) todennäköisempiä tulevaisuuden polttoaineita ovat metanoli, LNG/LBG ja HVO



Vedyn potentiaali eri käyttösektoreissa Suomessa

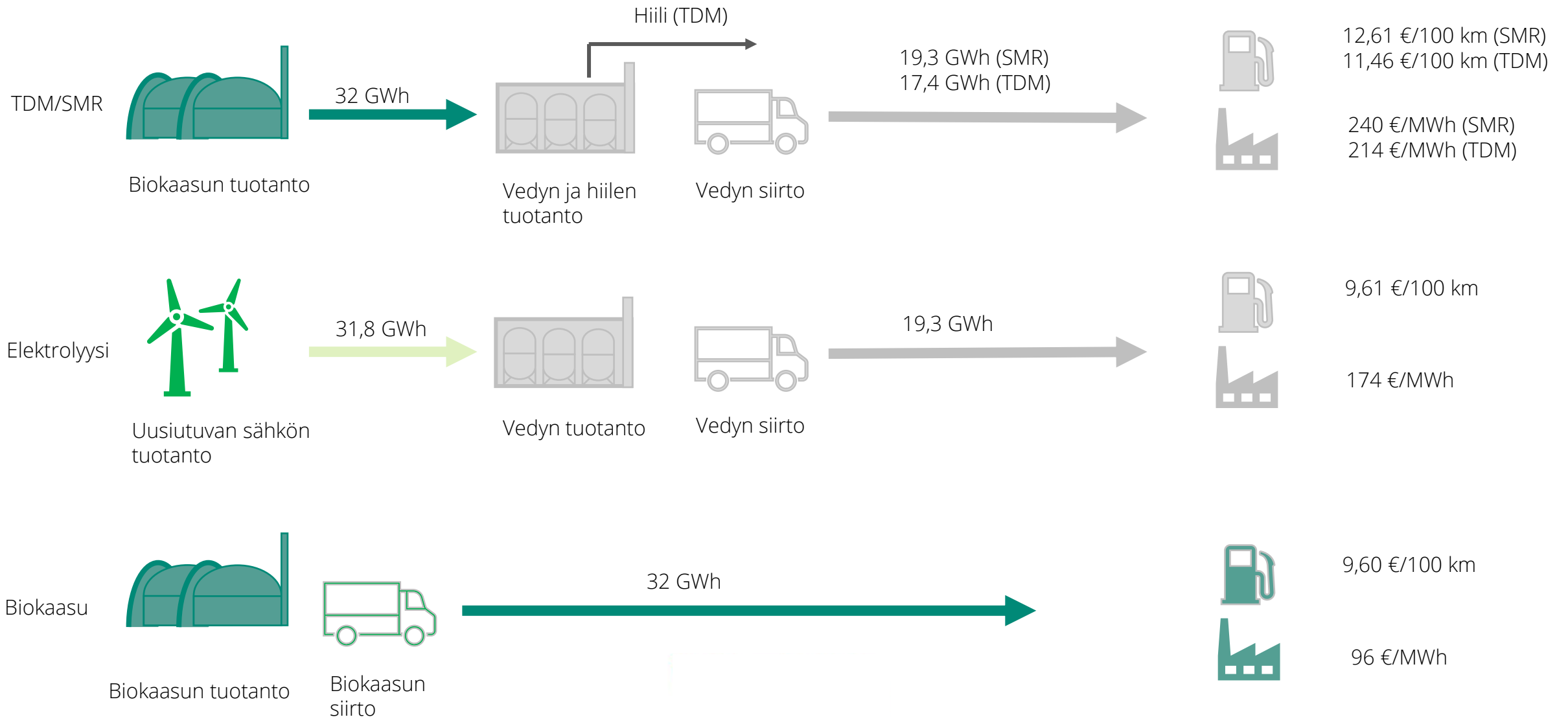
	Teknologian valmius	Kulutuspotentiaali	Yleisarvio	Kehitystä ohjaavat tekijät	Yleisarvio 2030-luvulla
Tieliikenne	Muutamia automalleja markkinoilla, tankkausasemaverkosto vielä puutteellinen	Tällä hetkellä näyttää pieneltä, suurin potentiaali raskaassa liikenteessä		Jakeluvelvoite, Flt for 55: vetytankkausasemia 200 km välein pääteillä. Päästökaupan laajentaminen	
Laivaliikenne	Vedylle sopivia laivamoottoreita kehitetään, satamien infra vielä puutteellista	Vety suuntautumassa pienempiin laivoihin, vety ei sellaisenaan sovellu rahtilaivoihin		Fit for 55: Fuel Maritime. Päästökaupan laajentaminen, vetyjohdannaiset polttoaineet	
Teollisuus	Vetyä käytetään jo laajalti teollisuudessa raaka-aineena, poltinratkaisut vielä kehitteillä	Vetyä kulutetaan runsaasti teollisuudessa, vihreällä vedyllä suurta potentiaalia vähähiilistämässä		Harmaan vedyn korvaaminen esim. terästeollisuudessa, RFNBO-polttoaineiden tuotanto	
Kaukolämmön tuotanto	Vetykattilat ja -polttimet ovat vielä kehitteillä	Vety olisi kallis polttoaine verrattuna muihin vihreisiin vaihtoehtoihin		Maakaasuinfra: vedyn sekoittaminen	

Sivutuotehiili – loppupäätelmät

- TDM-prosessissa syntyvän sivutuotehiilen vaikutus prosessin kannattavuuteen on kirjallisuuskatsausten perusteella positiivinen ja merkittävä
- TDM-prosessi on vielä kuitenkin vedyntuotantotarkoituksessa tutkimusasteella
 - Prosessissa niin vedyn konversioon kuin hiilisivutuotteen laatuunkin vaikuttavat monet tekijät, erityisesti prosessin lämpötila, paine sekä mahdolliset katalyytit
 - Lisäksi epävarmuutta tuo hiilituotteiden markkina, sekä markkinoiden saturoituminen.
 - Kannattavuuslaskennassa ei ole otettu huomioon mahdollista hiilen jälkikäsitteilyä, kuten mahdollisesti tarvittu aktivointi tai pelletointi tai muu vastaava, jota voidaan tarvita hiilen myymiseen markkinahinnoilla
- Hiilituotteiden markkinoiden nähdään kasvavan tulevaisuudessa, mutta esimerkiksi hiilimustan markkina on pieni, joten markkina saturoisi nopeasti, mikäli vetyä tuotettaisiin paljon TDM-menetelmällä
- Sivutuotehiilen kannattavuuden tarkka arviointi on vaikeaa, joten koko TDM-vetyprosessin kannattavuus on vielä epätarkkaa

Vedyn ja biokaasun elinkaarikuvaajat

Loppukäytön
energiakustannukset



Johtopäätökset

- Vedyn alueellinen tuotantopotentiaali biometaanista on suurempi kuin nykyinen alueellinen vedyn kysyntä. Kaustisen seutukunnan alueella vedyn kulutusta syntyisi todennäköisimmin tieliikenteeseen.
 - Tankkausasemille olisi mahdollista rakentaa myös pieniä vedyntuotantoyksiköitä, mutta elektrolyserit ja sähkönjakeluinfraskaalautuvat todennäköisesti paremmin kuin TDM-teknologia ja biokaasuputkistot
 - Alueen teollisuudella ei ole tarpeita vedylle – lähimmät kuluttajat ovat Kokkolassa. Energiantuotannossa biometaanin käyttäminen on kustannustehokkaampaa.
 - Ilman kattavaa vedyn jakeluinfrastruktuuria vedyn tuotantolaitokset rakentuvat lähtökohtaisesti sinne, missä on vedyn kulutusta
 - Vedyn tuotantomuodoista elektrolyysi on Kaustisen seutukunnan kokoluokassa kustannustehokkainta, mutta jos TDM-laitoksia valmistuu pienessä kokoluokassa ja sivutuotehiili saadaan jalostettua arvokkaaksi tuotteeksi, TDM voi olla kannattavampi tuotantomuoto
 - TDM-teknologia ei ole vielä kaupallisessa käytössä, mutta pilot-laitoksia on oletettavasti rakentumassa lähivuosina, esimerkiksi Kokkolaan
 - Ukrainan sodan jälkeinen energiakriisi ja sen vaikutukset sähkön hintaan vaikuttavat elektrolyysin kustannuksiin
- Biometaanin jatkojalostus vedyksi ei tällä hetkellä luo lisäarvoa myyjälle tai säästöjä loppukäyttäjälle