



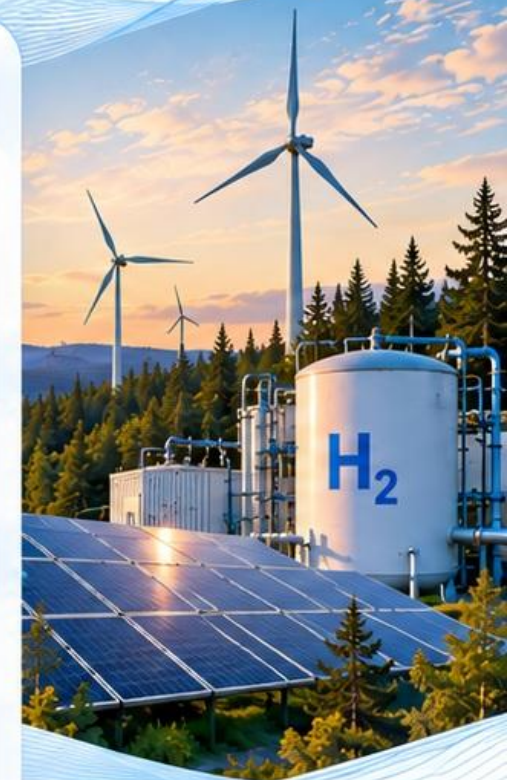
Euroopan unionin
osarahoittama

OHJELMA

Vetyhankkeiden yhteinen loppuseminaari

5.10.2026 | Tellus Stage | Oulun yliopisto

- | | | |
|-------------|---|--|
| 9.00–9.05 | ● | Tilaisuuden avaus ja hankkeiden lyhyt esittely |
| 9.05–9.20 | ● | Utajärven kunnan puheenvuoro |
| 9.20–10.05 | ● | UTAH2-hankkeen tulokset |
| 10.05–10.15 | ○ | Tauko / keskustelu / puhujavaihdos |
| 10.15–11.00 | ● | Aurinkovety- ja State-of-the-art H2 -hankkeet |
| 11.00–11.10 | ○ | Tauko / keskustelu / puhujavaihdos |
| 11.10–11.25 | ● | GEN-H |
| 11.25–11.40 | ● | Zun-H |
| 11.40–12.00 | ● | Keskustelu, mahdolliset täydentävät puheenvuorot ja tilaisuuden päätös |





Euroopan unionin
osarahoittama



UTAH2

Paikallinen
vetytalous



AURINKOVETY

Integroitu
energiajärjestelmä



STATE-OF-THE-ART H₂

Tutkimus-
infrastruktuuri



UTAH2

Paikallisen vetyjärjestelmän edellytykset



1. Vetyjärjestelmän mallintaminen ja teknistaloudellinen analyysi

Paikallisen tuotantoketjun vaihtoehdot ja taloudellinen toteutettavuus



2. Vety liikennepolttoaineena

Raskaan liikenteen tarpeet, jakeluratkaisut, ajoneuvot ja kuljetusyriyten näkökulma



3. Aurinkovetyreaktorin prototyyppi ja testaus

Valokatalyyttisesti tuotetun vedyn soveltuvuus ja ratkaisut Pohjois-Suomen olosuhteissa



4. Vedyn varastointi- ja siirtoratkaisut

Varastointivaihtoehdot, siirtotavat ja vetytankkauksen viranomaisvaatimukset

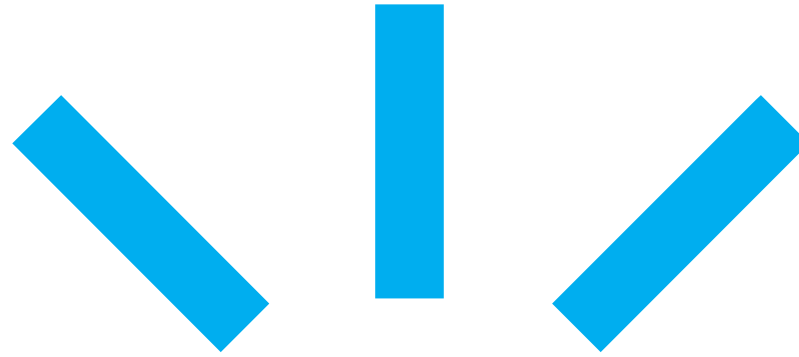


Euroopan unionin
osarahoittama



YHTEISTYÖKUMPPANIT





Vetyjärjestelmän mallintaminen ja teknistaloudellinen analyysi

Tuure Haarjärvi

Markkinoinnin, johtamisen ja kansainvälisen liiketoiminnan yksikkö / OyKKK



Euroopan unionin
osarahoittama

Paikallisen vedyn tuotanto- ja tankkausjärjestelmän mallinnus

Mitä mallinnettiin ja miksi?



Lähtökohta

Paikallinen uusiutuva sähköntuotanto ja raskaan liikenteen vedyn kysyntä.



Miksi mallinnus?

Tuotanto ja kysyntä eivät kohtaa ajallisesti. Sää, sähkön hinta, varastointi ja järjestelmän mitoitus vaikuttavat siihen, miten järjestelmä toimii.



Mitä haluttiin selvittää?

Millainen vedyn tuotanto- ja tankkausjärjestelmä pystyy täyttämään vedyn kysynnän riittävän luotettavasti – ja millä kustannuksella?

Miten mallinnus tehtiin?

Tuntitason optimointimalli paikalliselle vetyjärjestelmälle

1

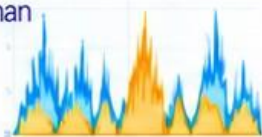
Syötteet

Vuoden 2024 tuntidata ja lähtöoletukset



Säädata

Tuuli- ja aurinkovoiman tuotantoprofiilit (tuntitaso, Pohjois-Suomi)



Sähkön hinta

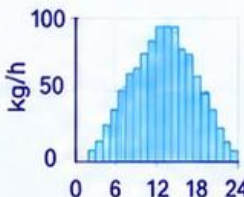
ENTSO-E day-ahead -hinta (tuntitaso)



Vedyn kysyntä

Raskaan liikenteen päivittäinen kysyntä

1 000 kg/vrk



2

Järjestelmä ja vaihtoehdot

Mallinnetut komponentit



Uusiutuva sähköntuotanto

Tuuli ja aurinko (paikallinen tuotanto)



Sähköverkko

Sähkön käyttö vedyn tuotantoon tai myynti verkkoon



PEM-elektrolyyseri

Vedyn tuotanto sähköstä



Kompressori

Paineistus tankkausta varten



Varastointi

Matalapaine- ja korkeapainevarastot



TEN-T-tankkausasema

Raskaan liikenteen tankkaus (700 bar)

3

Optimointi (Vensim)

Järjestelmän mitoitus ja käyttö



Optimointimalli

Komponenttien kapasiteetit ja käyttö tuntitason datalla



Tavoite

Täyttää 1 000 kg/vrk vedyn kysyntä mahdollisimman alhaisilla kokonaiskustannuksilla



Taloudellinen päätössääntö

- Diesel--vetypariteetti bensene: 4,87 €/kg H₂
- Vetyä tuotetaan vain, kun se on taloudellisesti kilpailukykyistä verrattuna dieseliin ja sähkön myyntiin verkkoon
- Sähkön vaihtoehtoiskustannus huomioidaan tuotantopäätöksissä

4

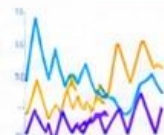
Tulokset

Mitä mallilla selvitettiin?



Järjestelmän mitoitus

Uusiutuvan tuotannon, elektrolyyserin, varastoinnin, kompression ja tankkauksen optimaaliset kapasiteetit



Käyttö ja energiataseet

Vedyn tuotanto, varastointi, tankkaus ja sähkön myynti tuntitasolla



Kustannukset

Investointi-, käyttö- ja tuotantokustannukset (€/kg H₂)



Toimintavarmuus

TEN-T-vaatimusten mukainen käytettävyyys ja 1 000 kg/vrk kysynnän täyttö vuoden kaikilla tunteilla



Elinkaari ja taloudellinen tarkastelu

Komponenttien elinkaarikustannukset
Diskontattuna 25 vuodelle

0

Investointi
(CAPEX)

15

Suuret komponenttivaihdot
(esim. elektrolyyseri, kompressori)
(CAPEX)

25

Laitteiden taloudellinen elinkaari
vuotta
(OPEX + CAPEX)

Optimoinnin tulos: valittu perusratkaisu

Paikallinen vetyjärjestelmä TEN-T-tankkausasemaa varten

Mallinnettu järjestelmä täyttää raskaan liikenteen vedyn kysynnän **1 000 kg/vrk** vuoden jokaisena tuntina.



Uusiutuva
sähkön tuotanto

Tuulivoima
8,1 MW

Aurinkovoima
6,6 MW



Sähköverkko

Tuulivoiman
siirtolinja
15 km



PEM-elektrolyseri

Kapasiteetti
3,7 MW



Vetyvarastot

Matalapainevarasto (LP)
10 150 kg
Korkeapainevarasto (HP)
5 155 kg

Yhteensä
15 305 kg
(15,3 tonnia)



Kompressor

Kapasiteetti
200 kg/h
(paineistus
tankkausta varten)



TEN-T-
tankkausasema

Tankkauspaine
700 bar
Dispenserin enimmäisvirtaus
3,6 kg/min
(riittää 100 kg/h kysyntään)



Raskas liikenne

Vedyn kysyntä
1 000 kg/vrk
Toimitusvarmuus
100 %
(koko vuoden tuntitasolla)



Optimoitu järjestelmä täyttää TEN-T-vaatimusten mukaisen
1 000 kg/vrk vedyn kysynnän luotettavasti paikallisella uusiutuvalla sähköllä.

Taloudellinen break-even

Tarvittava vedyn hinta

6,31 €/kg H₂

Dieselpariteetti

4,87 €/kg H₂

Ero

+1,44 €/kg H₂

Skenaariot: mikä sulkee kustannuskuilun?

Lähtökohtana optimoitu baseline (1 000 kg/vrk, muutetaan yhtä oletusta kerrallaan)



Optimoitu baseline

TEN-T-vaatimusten mukainen järjestelmä
1 000 kg/vrk vedyn kysynnälle

Toimitusvarmuus

100 %

Diskonttokorko

5 %

Tarvittava vedyn hinta

6,31 €/kg H₂
(netto-LCOH)

Dieselpariteetti

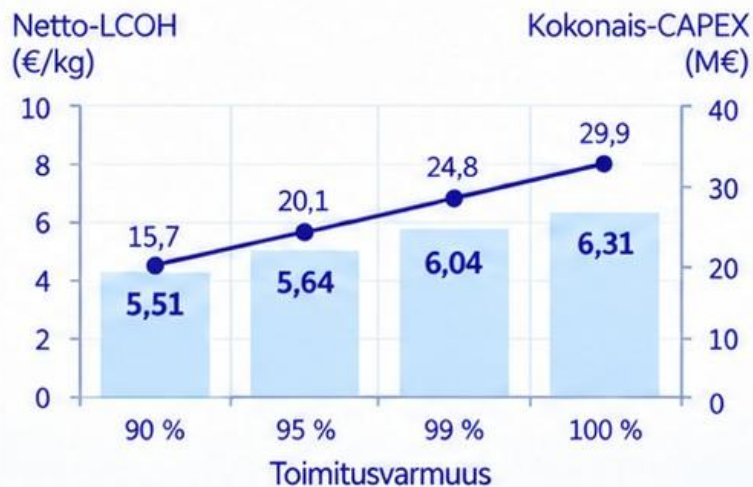
4,87 €/kg H₂
(v. 2024 hinta)

Kustannuskuilu
+1,44 €/kg H₂

1

Toimitusvarmuus

Kustannus ja kapasiteetti



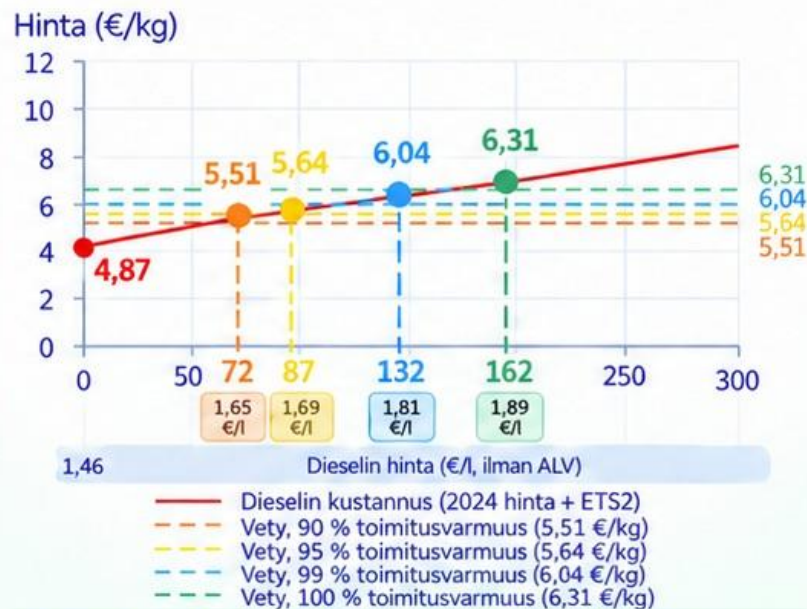
Netto-LCOH (€/kg, sähkönmyynnin jälkeen) — Kokonais-CAPEX (M€)

Alempi toimitusvarmuus mahdollistaa pienemmät tuotanto- ja varastointikapasiteetit, mikä vähentää investointia ja vedyn yksikkökustannusta.

2

ETS2 ja dieselin kustannus

Dieselin hinta ja pariteettirajat

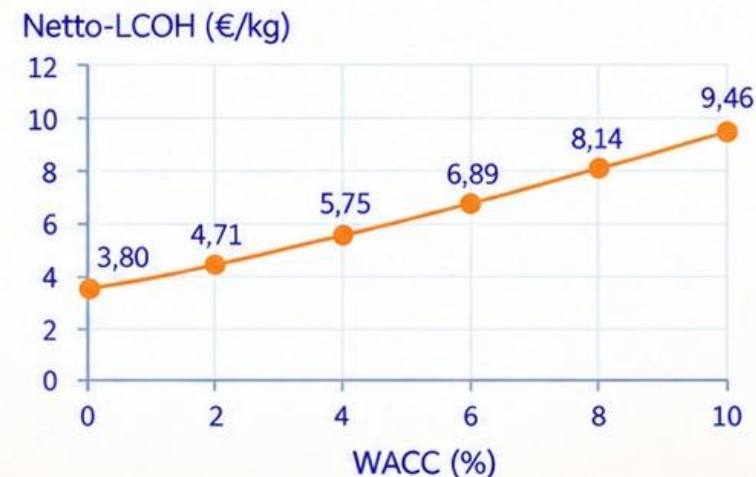


Dieselin kustannus nousee lineaarisesti ETS2-hinnan mukana. Pariteettirajat (diesel = vety) ovat noin 72, 87, 132 ja 162 €/tCO₂, mikä vastaa dieselin hintoja 1,65–1,89 €/l (ilman ALV) riippuen toimitusvarmuudesta.

3

Rahoituskustannus

Vaikutus vedyn yksikkökustannukseen



Korkeampi rahoituskustannus nostaa vedyn yksikkökustannusta selvästi, koska järjestelmä on pääomavaltainen. Alhainen korkotaso on keskeinen edellytys taloudelliselle kannattavuudelle.



Keskeiset havainnot

1. Toimitusvarmuus

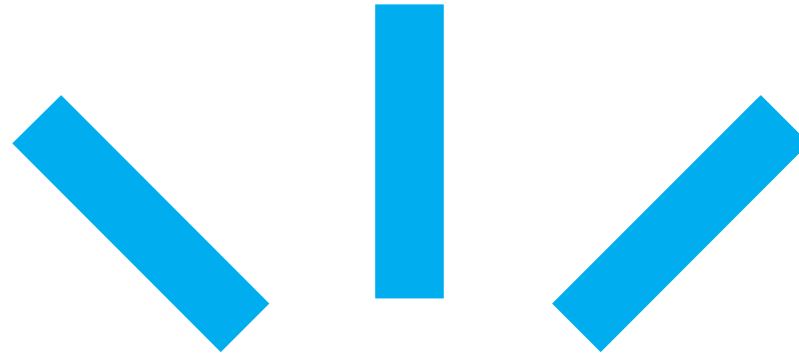
Pienentää kustannusta, mutta ei yksin riitä pariteettiin.

2. ETS2

Pariteetti saavutetaan noin 72–162 €/tCO₂ (1,65–1,89 €/l diesel).

3. Rahoituskustannus

Alhaisempi korkotaso parantaa taloudellisuutta merkittävästi.



Sosiaalinen hyväksyttävyys – viestintä ja sidosryhmävuorovaikutus

Aliisa Aura

Markkinoinnin, johtamisen ja kansainvälisen liiketoiminnan yksikkö / OyKKK



Euroopan unionin
osarahoittama

Tutkimuksen tavoitteet ja aineiston kerääminen

- Vedyn paikallista tuotantoa koskevan sosiaalisen hyväksyttävyyden tason ja sen muodostumisen selvittäminen
 - Vetyyn liittyvän viestinnän ja paikallisen sidosryhmävuorovaikutuksen tarkastelu
- Aineiston kerääminen paikallisilta puolistrukturoiduin haastatteluin
- *“Mitä olet kuullut paikallisista vetyhankkeista ja miten olet saanut tiedon niistä?”*
 - *“Mitä ajatuksia tai tunteita vetyhankkeet ja niistä käytävä keskustelu on sinussa herättänyt (mahdollisuudet ja haasteet)?”*



Aineisto

- Kerättiin kolmena päivänä Utajärven keskustassa (18.5., 25.5. ja 2.7.)
- Haastatteluun pyydettiin osallistumaan **65 hlö**
- Haastatteluun osallistui **50 hlö**
- Kieltäytyi **15 hlö**
- Kieltäytymisen syitä: ajanpuute (3 hlö), ei halukkuutta osallistua (2 hlö), ei paikallinen asukas (8 hlö), asema kuntaorganisaatiossa (2 hlö)
- Tallennusmenetelmien jakauma: äänitys 19 hlö, muistiinpanot 26 hlö, Webropol 5 hlö



Tulokset

“Mitä olet kuullut paikallisista vetyhankkeista ja miten olet saanut tiedon niistä?”

Vastanneista

- **94%** on kuullut paikallisesta vetyhankkeesta
- **28 %** tietää, minne vetylaitos on tulossa
- **4 %** tietää tankkausasemaa koskevista suunnitelmista

Miten tuleva vetyhanke mielletään paikallisten keskuudessa:

- Positiivinen: **84 %**
- Neutraali: **10 %**
- Negatiivinen: **6 %**



Tulokset

“Mitä olet kuullut paikallisista vetyhankkeista ja miten olet saanut tiedon niistä?”

Vastanneista

- 64 % on lukenut hankkeesta sanomalehdistä tai niiden verkkouutisista
- 38 % on keskustellut hankkeesta perheenjäsenensä tai tuttavansa kanssa
- 32 % on lukenut hankkeesta sosiaalisessa mediassa
- 12 % on lukenut hankkeesta kunnan verkkosivuilta
- 12 % on kuullut hankkeesta työpaikalla
- 6 % on kuullut hankkeesta yleisötilaisuudessa
- 6 % vastanneista perheenjäsenistä tai tuttavista työskentelee hankkeen tai yleisesti vedyn parissa





Tulokset

“Mitä ajatuksia tai tunteita vetyhankkeet ja niistä käytävä keskustelu on sinussa herättänyt (mahdollisuudet ja haasteet)?”

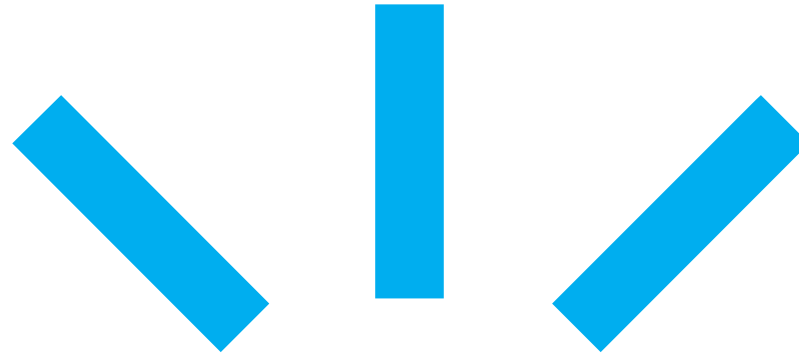
Keskeisiksi koetut mahdollisuudet:

- Työllisyys
- Talouskasvu/elinvoima
- Uudet asukkaat
- Ympäristöystävällisyys
- Monikäyttöisyys ja kiertotalous
- Asunnot
- Julkisuus

Keskeisiksi koetut haasteet/uhat:

- Vaikutukset luontoon
- Räjähdysherkkyys
- Sähkön riittävyys
- Sähkön hinta
- Veden tarve
- Vaikutukset jokivarren matkailuun





Valokatalyyttinen vety osana tulevaisuuden energiajärjestelmää

Reaktoriprototyypin kehitys NANOMO:lla & valokatalyyttisen vedyn tuotannon alustava teknis-taloudellinen mallintaminen

Leopekka Kämäräinen

Nano- ja molekyylysysteemien tutkimusyksikkö



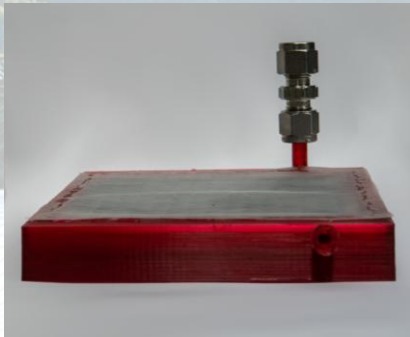
Euroopan unionin
osarahoittama

Aurinkovetyreaktorin kehitys

Laboratorio



© Veera Tapionkaski



© Veera Tapionkaski

Ulkoilmakokeet



© Veera Tapionkaski



© Veera Tapionkaski

3kpl 1m² Proof-of-Concept -reaktoreita



© Rami Moilanen / Yle

Spin-off yritys ZUN- H:n kaupallisen mittakaavan reaktorit



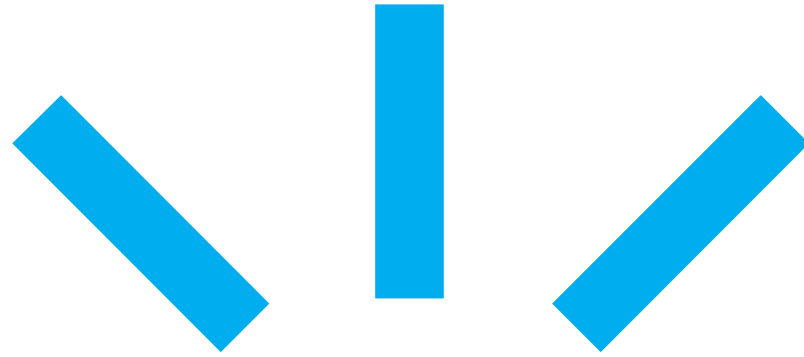
© ZUN-H



Euroopan unionin
osarahoittama

Vedyn tuotannon hinnan mallintaminen: valokatalyyysi vs. elektrolyysi aurinkosähköllä





UTAH2, logistiikan tutkimus

Paula Tuohinto, Projektitutkija

Markkinoinnin, johtamisen ja kansainvälisen liiketoiminnan yksikkö / OyKKK



Euroopan unionin
osarahoittama

Toimitusketjun plastisuus kehittyvillä vetymarkkinoilla: virtuaalisten putkistojen strateginen rooli

Kolmen eri siirtoratkaisun vertailu:

1. LPL - Electricity Line PipeLine
 - rakennettava paikallinen kantaverkosta erillään oleva sähkölinja
2. GPL - Electricity Grid PipeLine
 - sähkön myynti kantaverkkoon tuotannon päässä ja osto takaisin tankkausasemalla
3. TPL – Tube trailer PipeLine
 - vedyn siirto rekkakuljetuksena



Vetylogistiikan vaihtoehtoisten ratkaisujen kustannusten kehitys ajan myötä

10 vuoden käyttöikä

Kysyntä (kg/päivä)	5	10	15	25	50	100
1000	LPL	LPL	LPL	LPL	GPL	GPL
500	LPL	LPL	LPL	TPL	GPL	GPL
100	TPL	TPL	TPL	TPL	TPL	TPL
	Etäisyys (km)					

20 vuoden käyttöikä

Kysyntä (kg/päivä)	5	10	15	25	50	100
1000	LPL	LPL	LPL	LPL	GPL	GPL
500	LPL	LPL	LPL	LPL	GPL	GPL
100	LPL	TPL	TPL	TPL	TPL	TPL
	Etäisyys (km)					

30 vuoden käyttöikä

Kysyntä (kg/päivä)	5	10	15	25	50	100
1000	LPL	LPL	LPL	LPL	GPL	GPL
500	LPL	LPL	LPL	LPL	GPL	GPL
100	LPL	TPL	TPL	TPL	TPL	TPL
	Etäisyys (km)					

LPL

Paikallinen siirtojohto (LPL)
Vety siirretään sähköjohdon kautta

TPL

Rekkakuljetus (TPL)
Vety kuljetetaan rekoilla

GPL

Yleinen sähköverkko (GPL)
Vety siirretään yleisen sähköverkon kautta



Virtuaaliset putkistot

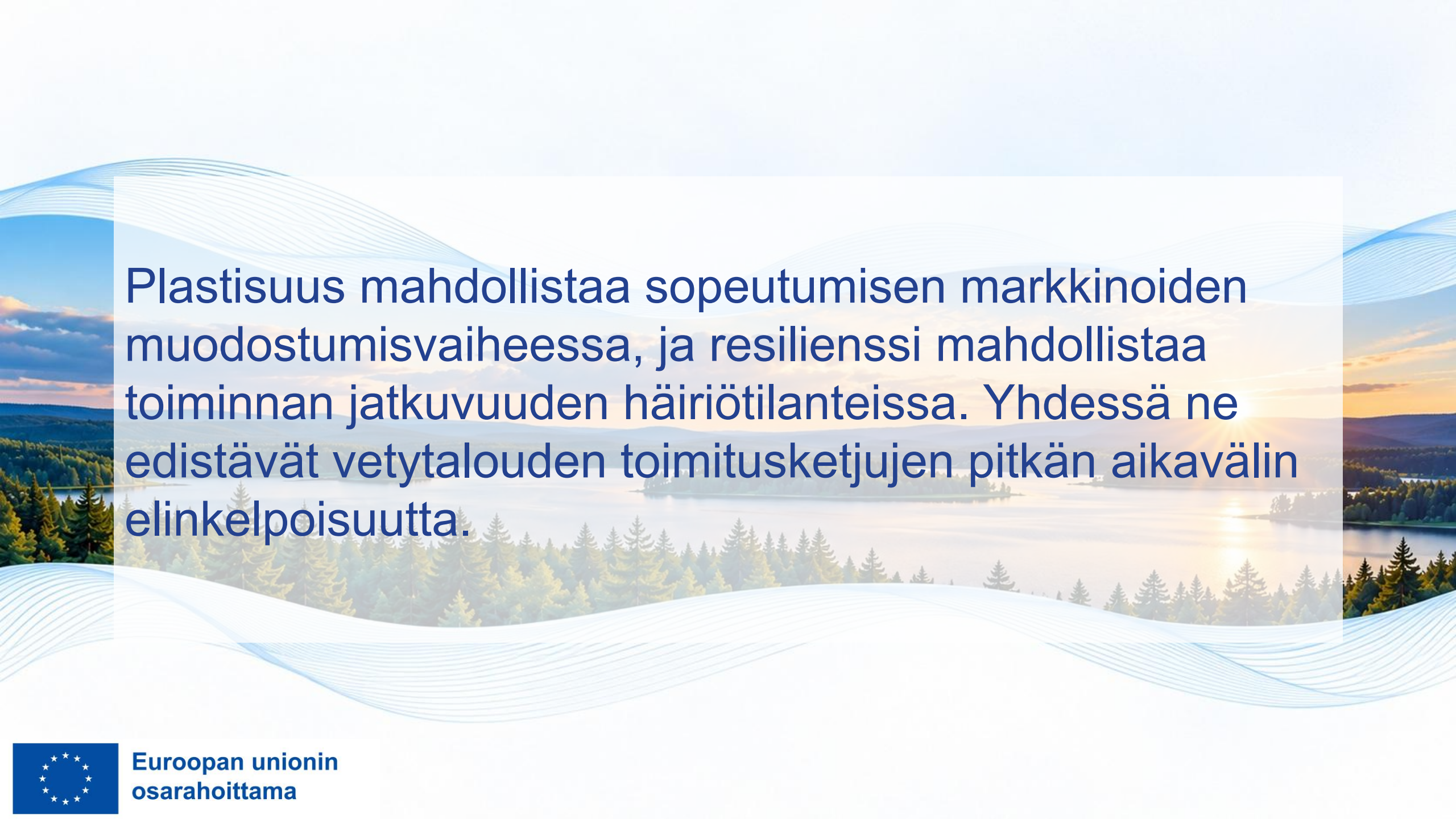
- Virtuaalisten putkistojen arvo ulottuu kustannustehokkuutta laajemmalle
- Virtuaaliset putkistot mahdollistavat vetymarkkinoiden kehittämisen ilman välittömiä suuria infrastruktuuri-investointeja.
- Ne vähentävät ylimitoitettujen investointien riskiä epävarman kysynnän tilanteissa.
- Ne tarjoavat skaalautuvan etenemispolun pienivolyymisista markkinoista kohti pysyvää vetyinfrastruktuuria.
- Ne auttavat toimitusketjuja sopeutumaan markkinoiden, teknologioiden ja sääntelyn muutoksiin.
- Ne tukevat parempia investointipäätöksiä säilyttämällä strategisen joustavuuden markkinoiden muodostumisvaiheessa.



Vety ja toimitusketjujen resilienssi paikallisissa energiaverkoissa:

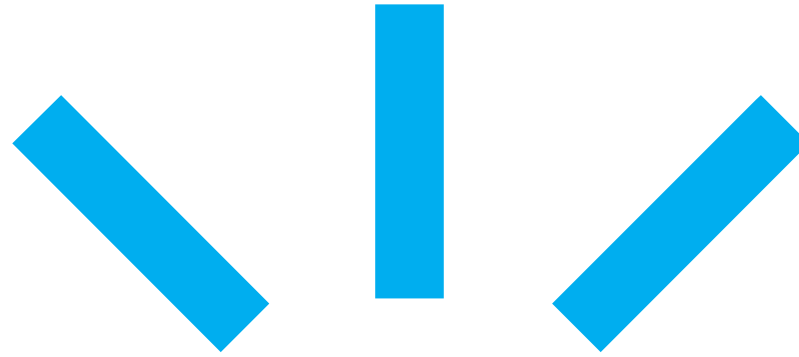
- Nykyinen vetytutkimus tarkastelee toimitusketjujen resilienssiä pääasiassa teknisenä kysymyksenä, vaikka monet käytännön haasteet ovat organisatorisia ja sosio-ekologisia.
- Tekninen luotettavuus yksin ei takaa toimitusketjun resilienssiä.
- Organisaatioiden välinen yhteistyö, hallintamallit ja sidosryhmien hyväksyntä vaikuttavat merkittävästi vetyratkaisujen käyttöönottoon.
- Paikallisten energiaverkkojen resilienssi edellyttää teknisten, organisatoristen ja yhteiskunnallisten tekijöiden yhteensovittamista.
- Tulevaisuuden vetyinfrastruktuurin suunnittelussa tulisi huomioida koko ekosysteemi, ei vain teknologia.





Plastisuus mahdollistaa sopeutumisen markkinoiden muodostumisvaiheessa, ja resilienssi mahdollistaa toiminnan jatkuvuuden häiriötilanteissa. Yhdessä ne edistävät vetytalouden toimitusketjujen pitkän aikavälin elinkelpoisuutta.





UTAH2 – Vedyn varastointi ja siirto

Pekka Kantanen

Oulun yliopisto, Materiaali- ja konetekniikka



Euroopan unionin
osarahoittama

Vedyn varastointi ja siirto

Johdanto

- Miksi vety?
- Vedyn tuotanto
- Vedyn varastointi
- Vedyn paikallinen varastointi ja jakelu



Vety



Euroopan unionin
osarahoittama

Miksi vety?

- Voisi korvata fossiilisia polttoaineita vaikeasti sähköistettävissä kohteissa
 - Sähkö kannattaa käyttää suoraan aina, kun se on mahdollista
- Soveltuu raskaan liikenteen polttoaineeksi ja teollisuuden prosesseihin
- Voisi mahdollistaa uusiutuvan energian varastoinnin
- Parantaa alueellista energiaomavaraisuutta
- Luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia
- Synteettiset polttoaineet?



Uusiutuva sähkö
→ Elektrolyyysi
→ Vety (happi)
→ Käyttö



Liikuteltava vetytankkausasema ja vetykontti (Valmet Automotive).



Vedyn tuotanto

"Vihreä" vety

- Vety tuotettaneen elektrolyysin avulla (55kWh/kg)
 - Alkalielektrolyysi (PEM) maailman laajuisesti suosituin
- Päästötön sähkö

Muita vaihtoehtoja "vihreälle" vedylle

- Ydinsähköllä tuotettu "pinkki" -vety
- Teollisuuden sivuvirroista saatava "keltainen" vety
- Tulevaisuudessa geologinen eli "valkea"-vety



Huoltoaseman vetyvarasto
Freiburg, Saksa, 2026



Vedyn varastointi

Fyysinen varastointi

Kaasumainen

Nestemäinen

- Suuri tilavuus
- Yleisin

- Kallis
- -253 °C

Kemiallinen varastointi

Metallihydridit

Kemialliset hydridit

- Hidas reaktiokinetiikka
- Vaatii energiaa
- Suuri varastointitiheys
- Kallis

- Metanoli, ammoniakki, muurahaishappo, jne.
- Synteettisiä polttoaineita ei lasketa tähän ryhmään

Adsorptiovarastointi

- Laboratoriomittakaavassa



Metallihydridisäiliö



Vedyn paikallinen varastointi ja jakelu

- Tyypin IV komposiittisäiliöt ovat yleisin pienvarastointiratkaisu
 - Myös kuljetus (paineet 1000 bar asti)
- Esimerkkikontti: 350 bar, noin 350 kg vetyä
- Tankkauspaineet 350 tai 700 bar
- Liikuteltava tankkausasema pilotointiin
- Keskeiset haasteet
 - Varastointi, energiankulutus, kustannukset
- Kattava tankkausasetmaverkosto vaatii laajaa vetypuistikoverkostoa ja/tai valmistusmenetelmien kehitystä eli erillisiä vedyn valmistus yksiköitä
 - Kuljetus kallista ja vaatii vaarallisten aineiden kuljetus järjestely (ARD)
- Pienvarastointiin ja jakeluun liittyvät ongelmat enempi rakenteellisia kuin materiaaleihin liittyviä
 - Aiemmin laitteita toimittaneet toimijat yleensä luotettavia
- Tankkausasemat yleisessä käytössä euroopassa

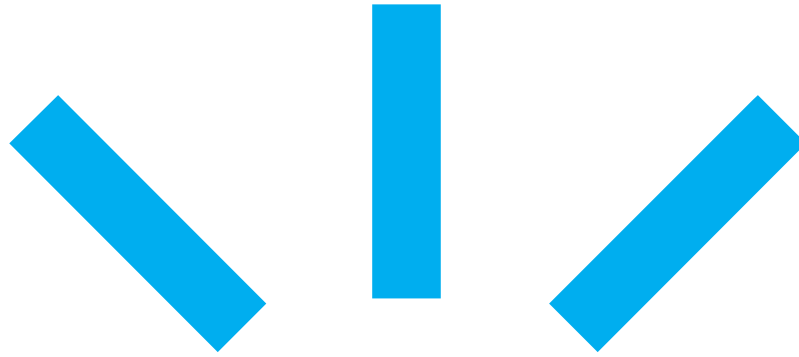


Vetykontti



Huoltoasema Freiburg, Saksa, 2026





UTAH2 – Vetyputken investointikustannukset

Samuli Appel

Oulun yliopisto, Materiaali- ja konetekniikka



Euroopan unionin
osarahoittama

Paikallisen vetyputken investointikustannukset

UTAH2

Miten tutkittiin: uusi maahan upotettu DN 300 / 80 bar -putki, X52 tai X70 – vain investointikustannus (CAPEX).



1

Aineisto

Toimittajahinnat, kirjallisuus, EHB- ja Gasgrid-aineisto, viranomais- ja indeksitiedot



2

Parametrinen Excel-malli

Avoin ja muutettavissa: jokaista kustannuserää voi muuttaa erikseen



3

Skenaariot

Matala, perus ja korkea x kaksi teräslatua – herkkyys, ei todennäköisyys



4

Tulos

€/km-vaihteluväli ja kustannusrakenne erä kerrallaan

Mitä luku kattaa – ja miksi se voi muuttua



Laskettu suoralle, maahan upotetulle putkiosuudelle

Ei sisällä: mutkia, haaroja, siltoja, tukirakenteita eikä asemia

Maan päällä tai sillalla: kylmempi ja lisäkuormia → seinämä ja materiaali mitoitetaan uudelleen



Vety tuo omat haasteensa

Vetyhauraus: materiaali ja seinämäpaksuus

Hitsaus: hyväksytyt menetelmät, pätevyudet, laajempi NDT

Pieni molekyyli: tiivisteet, venttiilit, vuodonvalvonta



Kaikki rivit eivät ole yhtä varmoja

Varmin: putki + pinnoite (toimittajahinnat)

Kohtalainen: maatyöt (kirjallisuus)

Alustava: hitsaus, NDT, käyttöönotto, venttiilit

Tulokset: noin 1,3 M€ kilometriltä

Teräs ei ratkaise hintaa: putki + pinnoite on vain 13 %, ja X52 → X70 muuttaa kokonaisuutta n. 3 %.

PERUSSKENAARIO

1,26–1,29

M€/km (X70 – X52)

Koko vaihteluväli 0,78–2,04 M€/km

Käytännössä: putki-CAPEX reiteittäin



Utajärvi – Oulu · n. 58 km

73–75 M€



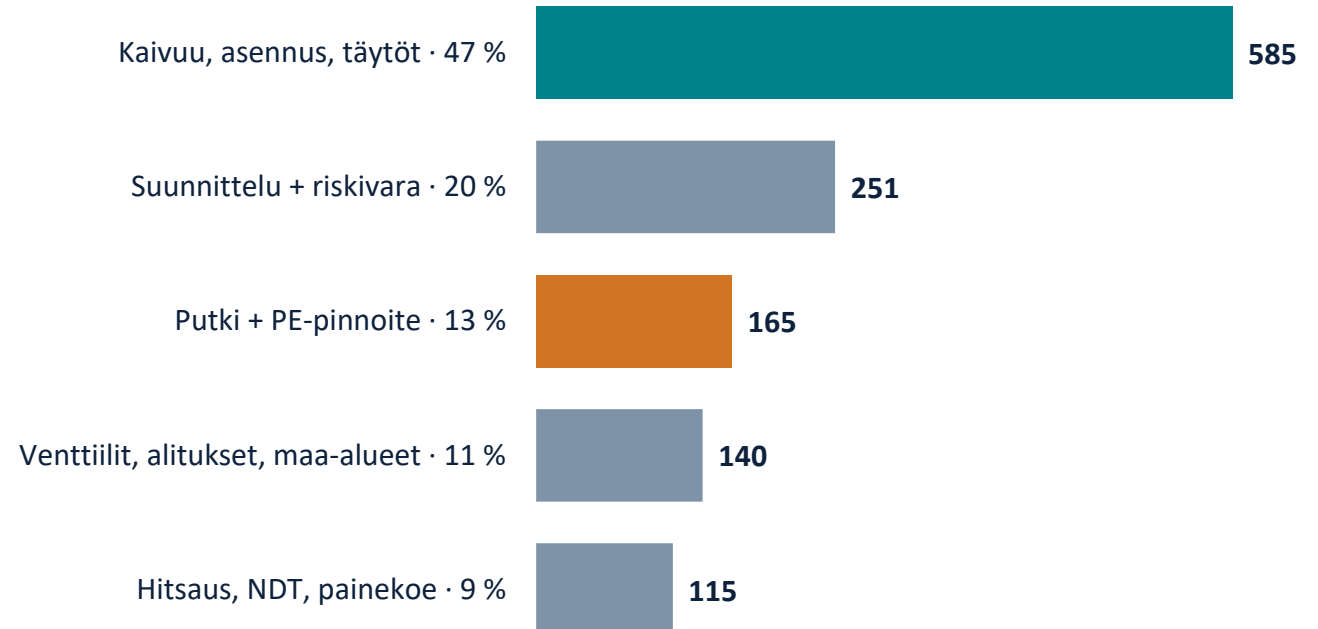
Utajärvi – Raahe (SSAB) · n. 111 km

139–143 M€

Perusskenaario. Ei kompressoria eikä todellisen reitin erikoiskohtia.

Mistä 1,26 M€/km muodostuu?

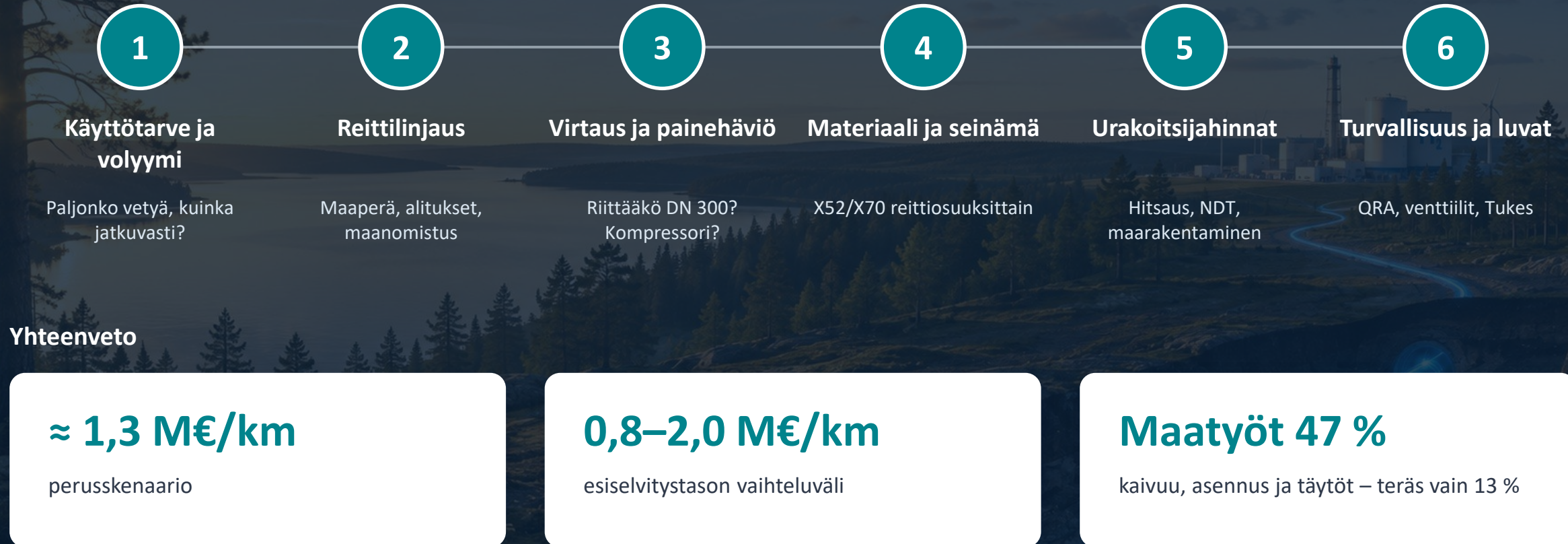
X70, perusskenaario, suora maahan upotettu putki, k€/km



Miten arviota voidaan tarkentaa

UTAH2

Hintaan vaikuttaa kymmeniä muuttujia – parametrisessa mallissa ne voidaan tarkentaa yksitellen.



Kiitos!



Euroopan unionin
osarahoittama