



POHJOIS-
POHJANMAA
COUNCIL OF OULU REGION



PYHÄJOKI

Esiselvitys puhtaan ja vakaan energiatuotannon kehittämisestä Pyhäjoen talousalueella

Loppuraportti

6.3.2024

DISCLAIMER AND RIGHTS

This report has been prepared by AFRY Management Consulting Oy ("AFRY") solely for use by Pyhäjoki municipality (the "Recipient"). All other use is strictly prohibited and no other person or entity is permitted to use this report, unless otherwise agreed in writing by AFRY. **By accepting delivery of this report, the Recipient acknowledges and agrees to the terms of this disclaimer.**

NOTHING IN THIS REPORT IS OR SHALL BE RELIED UPON AS A PROMISE OR REPRESENTATION OF FUTURE EVENTS OR RESULTS. AFRY HAS PREPARED THIS REPORT BASED ON INFORMATION AVAILABLE TO IT AT THE TIME OF ITS PREPARATION AND HAS NO DUTY TO UPDATE THIS REPORT.

AFRY makes no representation or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of the information provided in this report or any other representation or warranty whatsoever concerning this report. This report is partly based on information that is not within AFRY's control. Statements in this report involving estimates are subject to change and actual amounts may differ materially from those described in this report depending on a variety of factors. AFRY hereby expressly disclaims any and all liability based, in whole or in part, on any inaccurate or incomplete information given to AFRY or arising out of the negligence, errors or omissions of AFRY or any of its officers, directors, employees or agents. Recipients' use of this report and any of the estimates contained herein shall be at Recipients' sole risk.

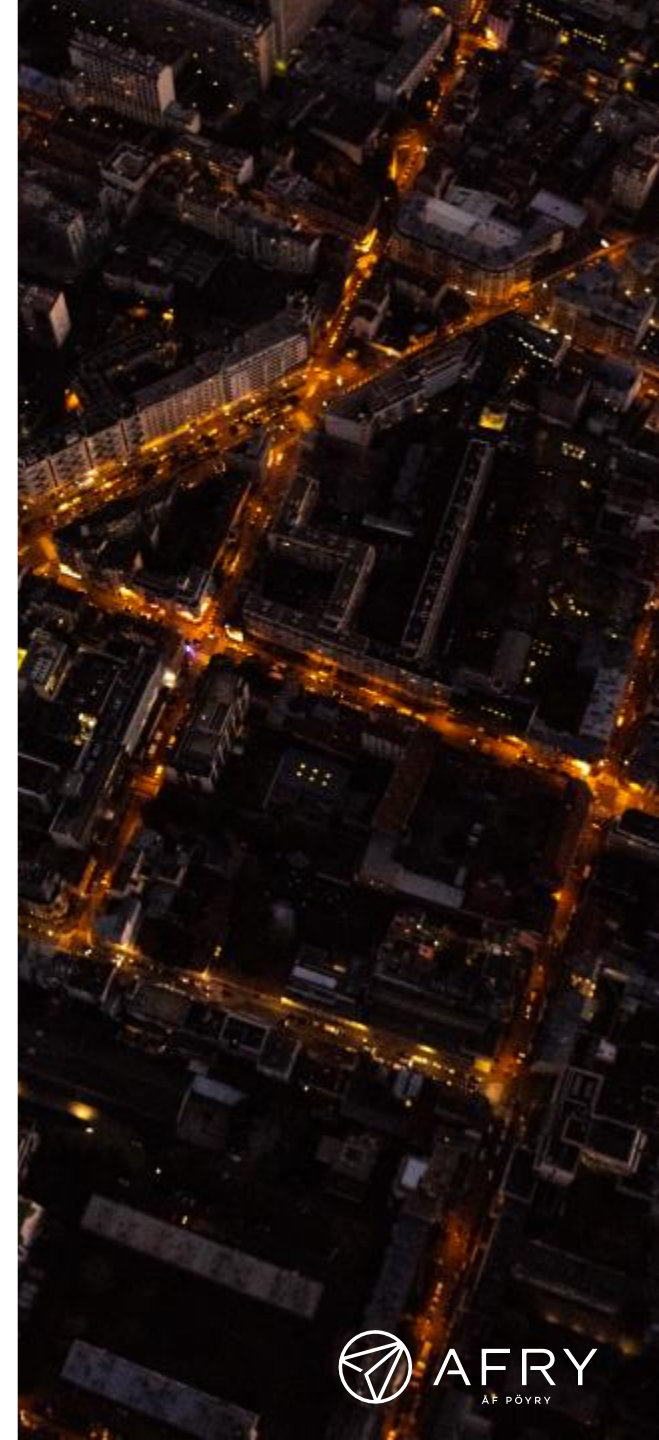
AFRY expressly disclaims any and all liability arising out of or relating to the use of this report except to the extent that a court of competent jurisdiction shall have determined by final judgment (not subject to further appeal) that any such liability is the result of the willful misconduct or gross negligence of AFRY. AFRY also hereby disclaims any and all liability for special, economic, incidental, punitive, indirect, or consequential damages. **Under no circumstances shall AFRY have any liability relating to the use of this report in excess of the fees actually received by AFRY for the preparation of this report.**

All information contained in this report is confidential and intended for the exclusive use of the Recipient. The Recipient may transmit the information contained in this report to its directors, officers, employees or professional advisors provided that such individuals are informed by the Recipient of the confidential nature of this report. All other use is strictly prohibited.

All rights (including copyrights) are reserved to AFRY. No part of this report may be reproduced in any form or by any means without prior permission in writing from AFRY. Any such permitted use or reproduction is expressly conditioned on the continued applicability of each of the terms and limitations contained in this disclaimer.

Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



Raportissa käytetyt lyhenteet (1/2)

Lyhenne	Merkitys
AKKE	Alueiden kestävä kasvun ja elinvoiman tukeminen
ALK	Alkalielektrolyysi
ASU	Ilmanerotusyksikkö
BOAK	FOAK:in ja NOAK:in välissä
BWR	Kiehutusvesireaktori
CAPEX	Pääomakustannukset
CCU	Hiilen talteenotto ja hyödyntäminen
CHP	Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto
COD	Kaupallisen toiminnan aloitushetki
DSR	Kysyntäjousto
EMR	EU:n sähkömarkkinauudistus
EPC(M)	Suunnittelu, hankinta ja rakennus (johtaminen)
EPR	Eurooppalainen painevesireaktori
EU ETS	Euroopan päästökauppajärjestelmä
FAT	Tehdashyväksyntättestaus
FID	Lopullinen investointipäätös
FOAK	First-of-a-kind, ensimmäinen laatuun
GHG	Kasvihuonepäästöt

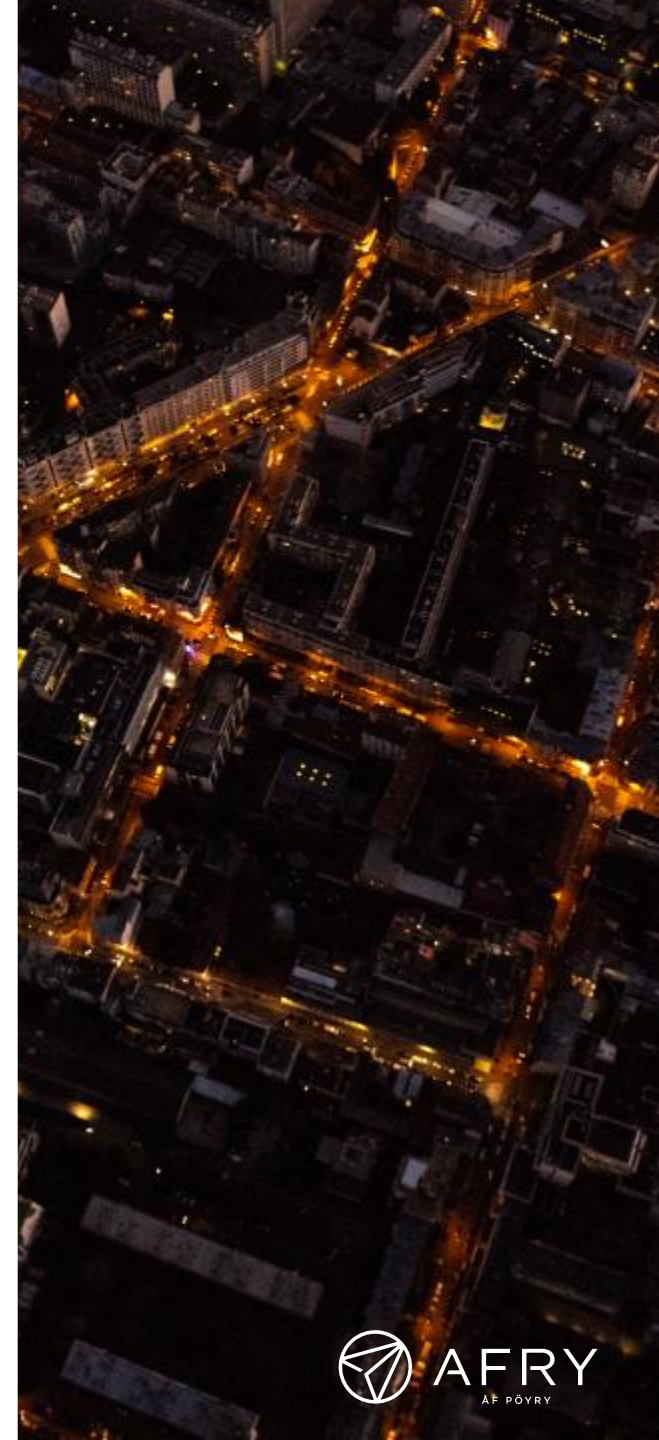
Lyhenne	Merkitys
IAEA	Kansainvälinen atomienergiajärjestö
IEA	Kansainvälinen energiajärjestö
LCOA	Ammoniakin tasoitetut tuotantokustannukset
LCOE	Sähkön tasoitetut tuotantokustannukset
LCOH	Vedyn tasoitetut tuotantokustannukset
LLI	Pitkän toimitusajan tuote
NOAK	Next-of-a-kind, ensimmäisten yksiköiden jälkeen
OEM	Alkuperäinen laitevalmistaja
OPEX	Operatiivisen toiminnan kustannukset
PEM	Protoninvaihtokalvoelektrolyysi
PPA	Sähkönhankintasopimus
PtX	Power-to-X
PWR	Painevesireaktori
REMIT	EU:n energiatukkuurimarkkinoiden eheyttä ja avoimuutta koskeva asetus
RES	Uusiutuvat energialähteet
RFNBO	Ei-biologista alkuperää olevat uusiutuvat polttoaineet
SMR	Pieni modulaarinen ydinreaktori

Raportissa käytetyt lyhenteet (2/2)

Lyhenne	Merkitys
SOEC	Kiinteäoksidi-elektrolyysi
STUK	Säteilyturvakeskus
T&K	Tutkimus ja kehitys
TKI	Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta
TRL	Teknologian valmiustaso
WACC	Pääoman painotettu keskimääräinen kustannus
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät

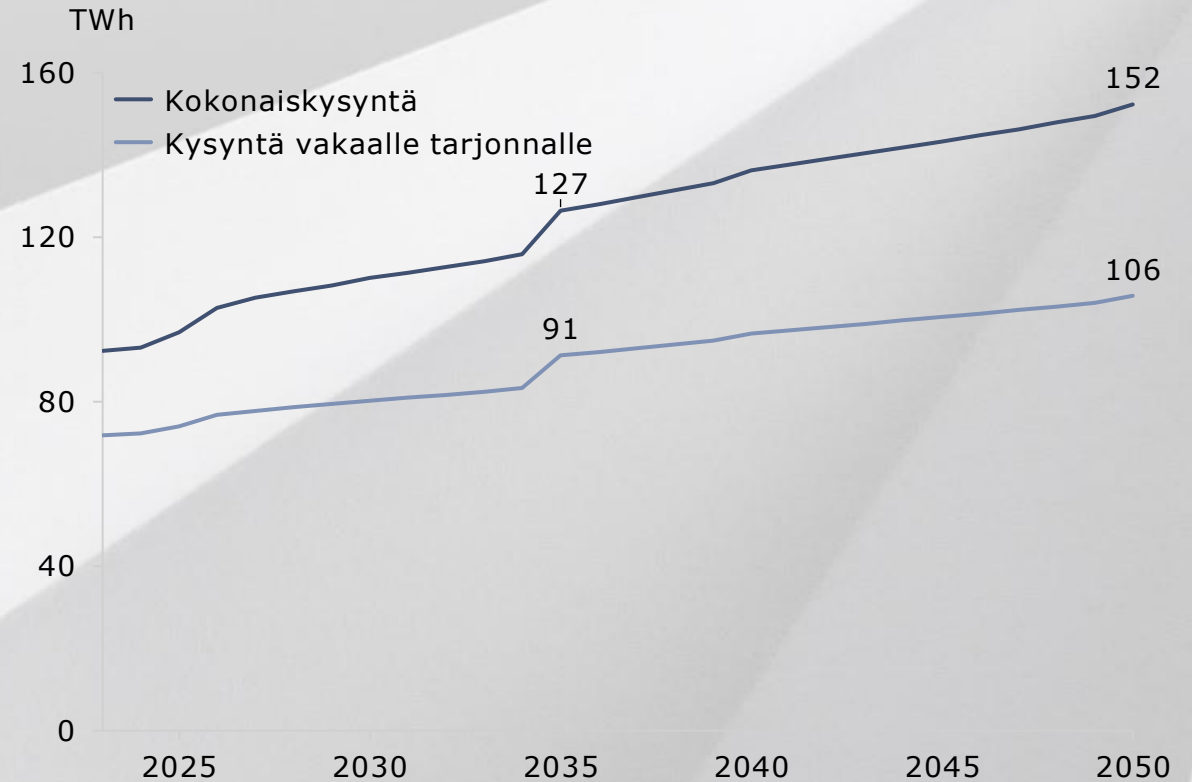


TIIVISTELMÄ

Sähkön kysynnän odotetaan kasvavan Suomessa ja Ruotsissa merkittävästi – vakaa sähköntarjonta voidaan saavuttaa vakaalla tuotantokapasiteetilla tai järjestelmän joustavuudella

- Sähkön kokonaiskysyntä voi kasvaa Suomessa 65 % vuoteen 2050 mennessä. Kysyntää lisäävät eniten teollisuuden kasvava vedyntarve, metsä- ja metalliteollisuus sekä liikenne. Kasvavasta kysyntäjousta huolimatta sellainen sähkön kysyntä, joka on suurelta osin joustamatonta, kasvaisi arvion mukaan Suomessa nykyhetkeen verrattuna n. 34 TWh vuoteen 2050 mennessä.
- Tulevaisuuden kysynnän ja tarjonnan välisen kuilun umpeen kuromiseksi tarvitaan lisää vakaata sähköntarjontaa. Tämä voidaan saavuttaa lisäämällä vakaata tuotantokapasiteettia tai joustavuutta järjestelmässä. Ydinvoiman lisäksi keinoja tähän ovat elektrolyysi, pumppuvesivoima, rajasiirtoyhteydet, kysyntäjousto, akut, CHP- ja huippuvoimalaitokset sekä vahva sisäinen siirtoverkko.
- Sääriippuvaisen sähköntuotannon osuuden kasvu sähköjärjestelmässä on johtanut hintojen voimakkaaseen vaihteluun ja myös kysymyksiin sähkön toimitusvarmuudesta. Mm. kapasiteettimekanismia on esitetty ratkaisuksi sähköenergia ja/tai sähkötehon riittävyden varmistamiseksi.

TULEVAISUUDEN SÄHKÖN KYSYNTÄ SUOMESSA

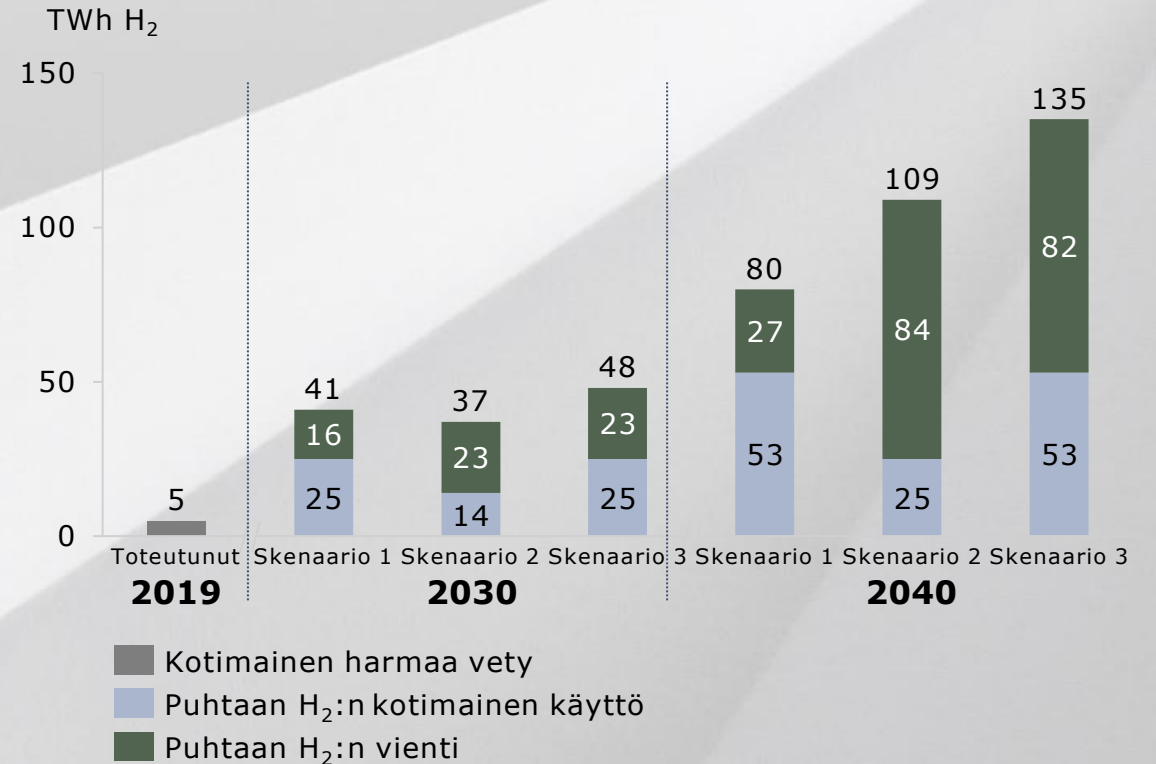


TIIVISTELMÄ

Vedyn kysyntä kasvaa EU:ssa merkittävästi vuoteen 2050, tarjoten Suomelle uudenlaisia mahdollisuuksia sekä vedyntuotannon että teollisten hankkeiden suhteen

- EU:n hiilineutraalisuustavoite edellyttää uusiutuvan ja vähähiilisen vedyn kysynnän voimakasta kasvua koko EU:ssa vuoteen 2050, jolloin sen osuuden energian kokonaiskysynnästä arvioidaan olevan 18-34 prosenttia.
- Suomessa tavoitellaan vähintään 1 GW ja Ruotsissa 5 GW vedyntuotantokapasiteettia vuoteen 2030 mennessä. Fingridin ja Gasgridin skenaarioissa elektrolyysikapasiteettia voisi Suomessa olla v. 2030 mennessä jopa 10-15-kertainen nykyiseen 1 GW:n kansalliseen tavoitteeseen verrattuna eli todellinen muutosnopeus voi olla virallista tavoitetta nopeampi.
- Ydinvoimalla tuotetun vedyn hyväksyttävyyys vähähiiliseksi vedyksi on toistaiseksi EU-lainsäädännössä auki, mutta asiaan odotetaan selvyttä seuraavien 1-2 vuoden aikana.
- Suomella on suuri potentiaali kehittyä vedyn ja siitä jalostettujen lopputuotteiden (mm. vihreä teräs, e-polttoaineet) tuottajaksi sekä kotimaiseen loppukäyttöön että vientiin.
- Suomessa julkisesti ilmoitetut vetyhankkeet keskittyvät teräs- ja kemianteollisuuteen sekä ammoniakkiin, vedyn, metaanin ja metanolin tuotantoon. Pohjois-Ruotsissa vetyhankkeet keskittyvät vihreän teräksen tuotantoon, metanoliin ja ammoniakkiin.

FINGRID JA GASGRID VEDYNTUOTANTOSKENAARIOT VUOTEEN 2040



RFNBO = uusiutuvat polttoaineet, jotka eivät ole biologista alkuperää (esim. synteettiset polttoaineet tai PtX), GHG = kasvihuonekaasut, EU ETS = EU:n päästökauppajärjestelmä
Lähde: www.consilium.europa.eu, [Gasgrid - Fingrid vetytaloushankkeen skenaariot](#)

TIIVISTELMÄ

Hanhikiven alue soveltuu erinomaisesti ydinvoiman tuotantoon ja alueella tehdyt työt voisivat tuoda uudelle ydinvoimaprojektille merkittäviä säästöjä

HANHIKIVEN ALUE

- Nykyiset luvat eivät sellaisenaan mahdollista uutta projektia Hanhikivellä, mutta koska luvitus ydinvoimatuotantoon on tehty aiemmin, lähtötilanne uudelle hankkeelle olisi selvästi suotuisampi kuin uuden alueen luvituksessa.
- Hanhikivellä jo tehdyt valmistelu- ja rakennustyöt voivat tuoda merkittävää etua alueen uudelle hyödyntäjälle. Ydinvoimaprojektissa voidaan arvion mukaan saavuttaa enimmillään 15 % kustannussäästö tähän mennessä tehtyjen töiden myötä.
- Uutta ydinvoimaprojektia Hanhikivellä tukee myös ydinvoimamyönteinen ilmapiiri Suomessa ja Pyhäjoella. Lisäksi Suomessa on ydinjätteen loppusijoitusmahdollisuus.

MAHDOLLINEN UUSI YDINVOIMAPROJEKTI ALUEELLE

- Ydinvoimaprojekteissa keskeistä on toimiva riskinhallinta, rahoitus kunnossa, toimiva teknologia, hyvät suhteet viranomaisiin ja päättäjiin sekä hyvä alihankintaverkosto.
- Ydinvoimahankkeen kannattavuuden kannalta oleellista on kokonaiskustannus ja rahoituskustannus, johon vaikuttaa myös toteutusmalli investoinnille. Erityisesti SMR-hankkeiden osalta kokonaiskustannusten ydinvoimalle on arvioitu laskevan, mikäli päästään siirtymään kohti massatuotantoa.
- Vedyn tai ammoniakkin tuotantolaitoksen sijoittaminen samalle alueelle on tutkittava tarkemmin erikseen. Erityisesti SMR:n osalta tämä kuitenkin voisi olla mahdollista tulevaisuudessa. SMR:n sijoitusta teollisuuden ja asutuksen lähelle tutkitaan parhaillaan kansainvälisillä foorumeilla. Tällä hetkellä asiaan ei ole vielä yksiselitteistä vastausta.

YDINVOIMAPROJEKTIN INVESTOINTIKUSTANNUSRAKENNE



Hanhikiven alue kiinnostaa sidosryhmähaastatteluiden perusteella potentiaalisia energian tuottajia ja kuluttajia

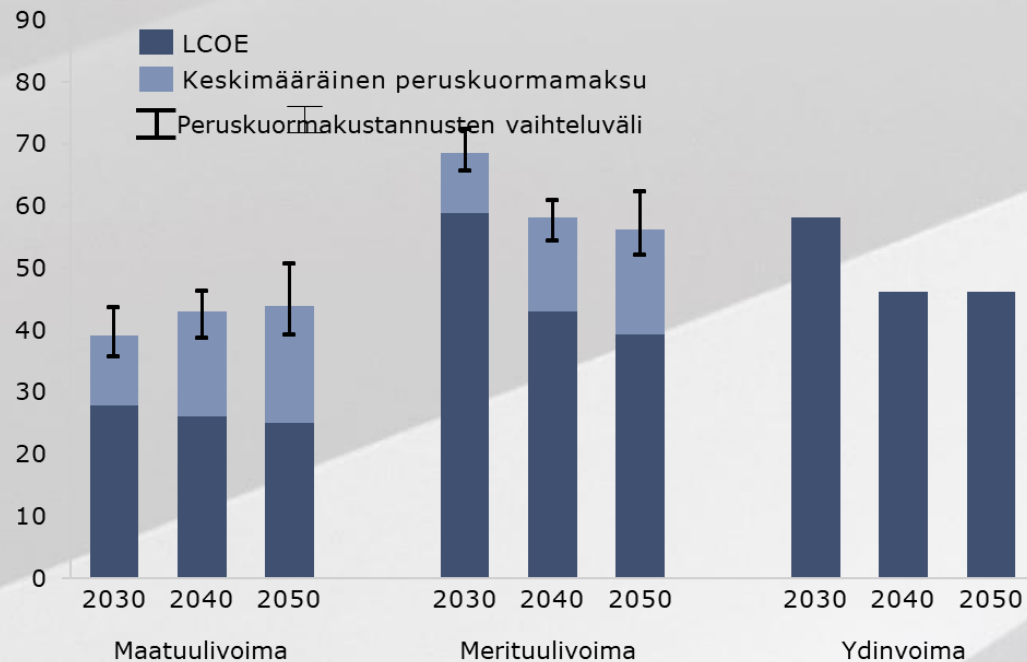
SIDOSRYHMÄHAASTATTELUIDEN TULOKSET

- Osana tätä selvitystä sidosryhmähaastatteluissa haastateltiin eri yritysten edustajia seuraavista kategorioista: ydinvoiman omistaja-operaattorit, laitosten toimittajat sekä suuret sähkön ja/tai potentiaaliset vedyn käyttäjät.
- Laitosten toimittajat olivat hyvin kiinnostuneita Hanhikiven alueesta, mikäli kiinnostuneita tahoja omistajaksi ja luvanhaltijaksi löytyisi.
- Ydinvoimaa pidetään suurten sähkön ostajien taholta kiinnostavana vaihtoehtona suojautua sähkön hintavaihteluilta. Kaikki haastatellut yritykset totesivat, että ydinvoima on houkutteleva vakaan ja CO₂-päästöttömän sähkön lähde – etenkin jos se hyväksyttäisiin RFNBO-yhteensopivaksi. Ydinvoimaprojektin pitkää kestoja pidettiin haasteena sähkön hankinnan kannalta.
- Kaikki haastatellut nykyiset ydinvoimaloiden omistaja-operaattorit olivat tietoisia Hanhikiven tilanteesta ja ovat avoimia uusille mahdollisuuksille alueen kehittämiseksi. Vaikka Hanhikiven alueen osalta nähtiin paljon hyötyjä, niin tällä hetkellä haastateltujen yritysten pääfokus on kuitenkin heidän omissa hankkeissaan. Mahdollisuutta SMR-investointiin Hanhikivellä pidetään mielenkiintoisena vaihtoehtona.
- Mankala-yhtiöt toimivat alustana osakkeenomistajille, jotka voivat ostaa sähköä omakustannushintaan. Mankala-malli voisi olla toimiva myös Hanhikivellä.

TIIVISTELMÄ

Ydinvoimalla on potentiaalia olla kilpailukykyinen, kun tarkastellaan tasaisen tuotantoprofiilin taloudellisia etuja

PERUSKUORMATUOTANNON KUSTANNUKSET



VAKAUDEN ARVO SÄHKÖNTUOTANNOSSA

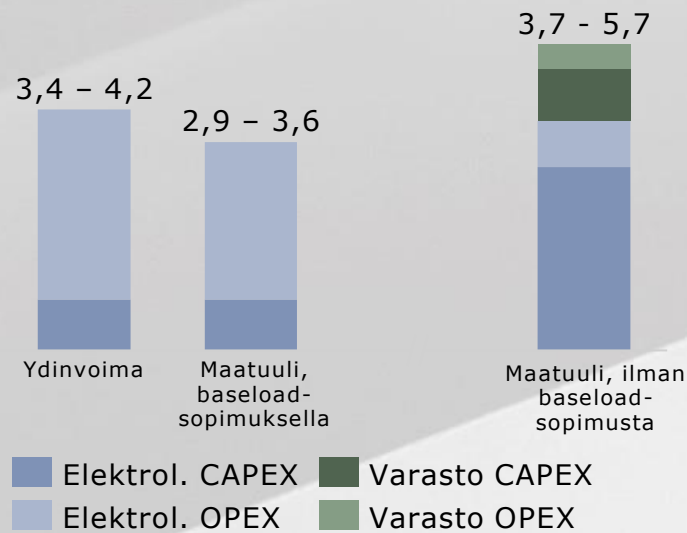
- Ydinvoima ei ole kilpailukykyistä maatuulivoimaa vastaan puhtaasti sähköntuotannon kustannuksen (LCOE) perusteella. Myös merituulivoima on kustannuksiltaan ydinvoiman tasolla tai edullisempi.
- Vaikka ydinvoiman investointikustannukset ovat suuret, niin käyttökustannukset (ml. polttoaine) ovat kohtalaisen matalat.
- Ydinvoiman etuna on erityisesti tasainen sähkön tuotanto läpi vuoden ja tuotannon ennustettavuus tuulivoimaan verrattuna. Tätä etua voidaan tarkastella sähkön käyttäjän kannalta huomioimalla tarve hankkia tuulettomien hetkien sähkö markkinoilta (kuvaajassa vaaleansininen alue).
- Kun otetaan huomioon ydinsähkön tuotannon vakauden arvo, ydinvoima voisi olla kilpailukykyinen tapa hankkia vakaata sähköä erityisesti merituulivoimaan verrattuna. Ydinvoiman etuna ovat pienet polttoainekustannukset.
- Ydinvoiman korkeiden investointikustannusten vuoksi keskeiset epävarmuudet liittyvät rahoituskustannuksiin ja investointikustannusten toteumaan, sekä rakennusaikaan. Kuvassa esitettyjä kustannuksia voidaan pitää optimistisena arviona ydinvoiman kustannuksille.
- Lisäksi ydinvoima voisi hyötyä kapasiteettimekanismista tulevaisuudessa.

LCOE-tasot perustuvat julkisesti saatavilla olevaan tietoon (mm. Idaho National Laboratory) ja AFRYn tietokantaan. Peruskuormakustannuksen perustuu sähkön hintaennusteeseen AFRY:n raportista: [Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään - Valto \(valtioneuvosto.fi\)](#)

TIIVISTELMÄ

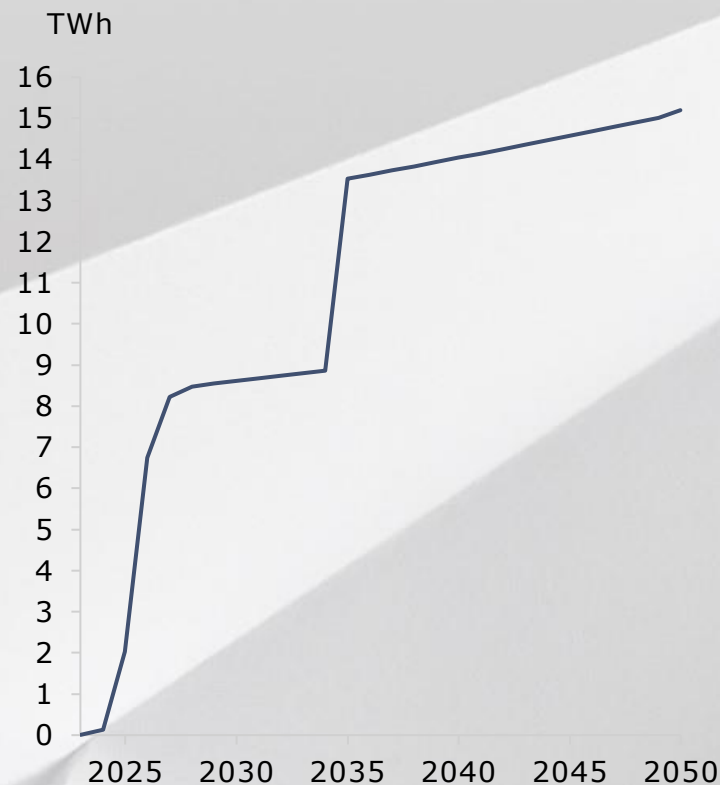
Ydinvoimalla tuotettu vety voi tarjota mahdollisuuksia Hanhikivellä – kannattavuuteen vaikuttaa, miten vähähiilistä vetyä arvostetaan markkinoilla

LCOH-VERTAILU (€/KG)



- Uusiutuville tuotettu vety on ydinvoimalla tuotettua edullisempää, jos tuottaja onnistuu solmimaan edullisen baseload-PPA -sopimuksen.
- Ydinvoimalla tuotettu vety olisi uusiutuville tuotettua vetyä edullisempää, jos uusiutuva sähkö joudutaan hankkimaan tuotantopaikalle ilman baseload-PPA -sopimusta ja siksi sähkönhankinta ja elektrolyysi joudutaan ylivoimittamaan ja vetyä varastoimaan tuulettomien jaksojen yli

SÄHKÖN TARVE VIHREÄLLE VEDYLLE¹



PÄÄTELMÄT

- Ydinvoimalla tuotettua vetyä koskeva EU:n lainsäädäntö on vasta kehittymässä. Tällainen vety luokitellaan todennäköisemmin vähähiiliseksi kuin uusiutuvaksi, joten on suuri kysymys, mikä ydinvoimalla tuotetun vedyn arvostus olisi markkinoilla uusiutuvaan vetyyn verrattuna
- Sähkön tarve vihreälle vedylle voi kasvaa 15 TWh:iin vuoteen 2050
- Suomessa verkkosähköllä tuotettua vetyä ei lasketa uusiutuvaksi vedyksi, mutta se voitaneen hyväksyä vähähiilisen vedyn tuotantoon – todennäköisesti täydentäen uusiutuvan sähkön hankintaa. Tältä osin verkkosähkö kilpailee siten ydinvoimalla tuotetun vedyn kanssa
- Nykyhinnoilla ydinvoimalla tuotettu vety ei ole yhtä kilpailukykyistä kuin verkkosähköllä valmistettu vähähiilinen vety

1) AFRYn analyysi perustuen Elinkeinoelämän keskusliiton julkaisemiin vihreän siirtymän investointeihin (<https://ek.fi/tutkittua-tietoa/vihreat-investoinnit/>)

Ydinvoimalan ja vedyntuotantolaitoksen sijoittaminen samalle tontille on vielä epävarmaa, mutta edellytyksiä muiden toimintojen rakentamiselle ydinvoimalan läheisyyteen ollaan parantamassa

- Tällä hetkellä ei ole varmuutta siitä, sallittaisiinko ydinvoimalan läheisyydessä vedyntuotantolaitoksen toiminta tai muu laajempi teollinen toiminta. Yksiselitteistä rajaa sille, kuinka lähelle ydinvoimalaitosta vetylaitoksen voi sijoittaa, ei ole olemassa.
- Ydinvoimalaitokselle määritellään suojavyöhyke, johon kohdistuu maankäytön rajoituksia. Suojavyöhyke on aiempien määräysten mukaan ollut 5 km, mutta helmikuussa 2024 tuli voimaan uusi määräys, jossa tarkka kilometrimäärä on poistunut, ja suojavyöhyke määritetään sen sijaan tapauskohtaisesti laitoksen ominaisuuksien perusteella. Se riippuu siis esim. laitoksen koosta ja teknisistä ominaisuuksista. Uuden määräyksen on tarkoitus mahdollistaa ydinlaitosten sijoittaminen lähemmäs teollisuutta ja asutusta. Toisaalta vedyntuotantolaitos voisi luultavasti sijaita suojavyöhykkeellä, koska työpaikkakeskittymänä se ei liene kovin suuri, ja toisaalta sen voitaisiin katsoa liittyvän ydinvoimalaitokseen.
- Ydinvoimalaitoksen lähelle sijoitettu vetylaitos ei saa vaikuttaa negatiivisesti ydinlaitoksen turvallisuuteen. Ulkoisiin uhkiin voidaan varautua ja niiden vaikutuksia vähentää laitoksen ja laitospaikan suunnittelulla ja teknisillä ratkaisuilla.
- Vaadittu etäisyys laitosten välillä riippuu sekä ydinvoimalaitoksen laitosalueen sekä mahdollisesti suojavyöhykkeen määrittelystä sekä toisaalta vaaditusta etäisyydestä vetylaitoksen aiheuttaman ulkoisen uhan näkökulmasta. Vaadittua etäisyyttä tulee tarkastella kummankin laitoksen ominaisuuksien näkökulmasta.
- Aihe on tällä hetkellä keskustelussa useammallakin kansainvälisellä foorumilla. IAEA on päivittämässä ohjeistustaan huomioimaan paremmin tulevat SMR-laitokset. Osana tätä päivitystä uudistetaan ohje koskien ydinlaitosten luvitusta, jossa tullaan mm. esittämään suosituksia liittyen laitosten sijoittamisesta teollisuuden lähelle. Tulevaisuudessa onkin mahdollista, että esim. vedyntuotantolaitos ja SMR-yksiköt tai ydinvoimalaitos voivat sijaita samalla tontilla. Pilottiesimerkkejä löytyy jo.
- Jos vetylaitos rakennetaan ensin, sen sijoittaminen tulee miettiä mahdollisen tulevan ydinvoimalan kannalta. Voi olla tarpeen mm. mallintaa vetylaitoksen onnettomuuksien vaikutukset ja arvioida riskiä tulevalle ydinvoimalalle sekä pyrkiä minimoimaan mahdolliset haitat laitoksen sijoittelussa ja toteutustavassa. Ydinvoimalaitoksen lisäksi tulee huomioida tulevat sähkönsiirtolinjat. Samat edellytykset koskevat ammoniakintuotantoa.

Hanhikiven laitosalueen hyödyntämiseksi on ainakin neljä toteuttamiskelpoista ratkaisua

1

Vedyn ja ammoniakkin tuotanto alueella



Vedyn ja ammoniakkin tuotanto alueella, perustuen ostettuun uusiutuvaan energiaan tai paikalliseen uusiutuvan energian tuotantoon. Näin saatua vetyä ja ammoniakkia pidettäisiin RFNBO-regulaation mukaisena.

2

Ydinvoiman tuotanto



Ydinvoiman tuotanto sähkömarkkin oille, suuremmille loppukäyttäjille suorilla sopimuksilla tai Mankala-mallilla. Ydinvoima tukee myös sähköjärjestelmän vakautta.

3

Ydinvoiman tuotanto vedyn ja ammoniakkin tuotannolle alueella



Ydinvoiman tuotanto alueella tapahtuvaa vedyn ja ammoniakkin tuotantoa varten. Tätä tukee ydinvoimaan perustuvan vedyn oletettava hyväksyntä vähähiiliseksi vedyksi ja jos vedyn tuotannon sijoitus esim. SMR:n lähelle tulee mahdolliseksi.

4

Ydinvoiman tuotanto vedyn tuotannolle alueella ja siirto vetyputken kautta



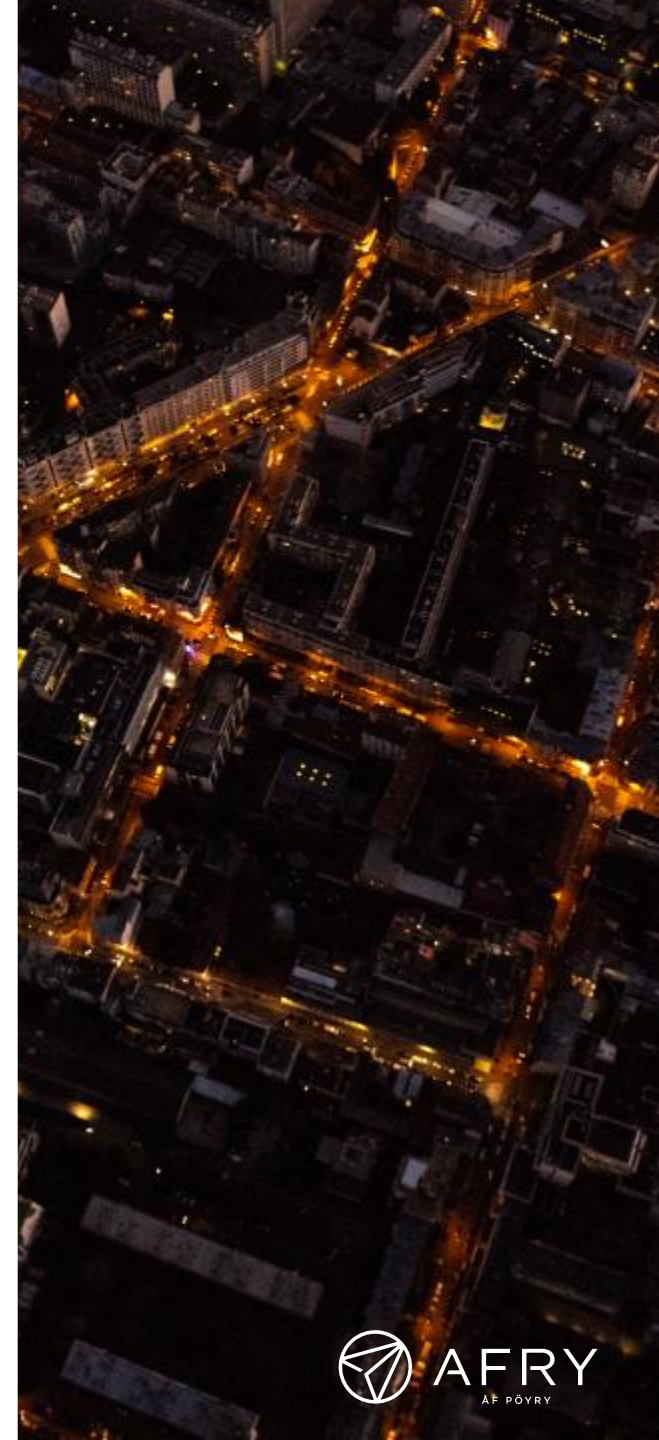
Ydinvoiman tuotanto laitospaikalla tapahtuvaa vedyntuotantoa varten, joka on liitetty vetyputkistoon vedyn loppukäyttäjille. Edellytykset samat kuin vaihtoehdossa 3.

Aikataulu

Ydinvoimalaitosprojekti voisi alkaa ennen vuotta 2030 mikäli projektille on investoija ja rahoitus on kunnossa sekä uudelle laitokselle on myönnetty lupa. SMR:n suhteen uusi projekti on mahdollinen seuraavalla vuosikymmenellä. Vedyn ja ammoniakkin tuotanto voisi alkaa jo ennen vuotta 2030, jos projektia aletaan suunnitella lähitulevaisuudessa. Teollista tuotantoa samalla alueella tulee tutkia vielä tarkemmin, mutta esim. SMR:n sijoittamista teollisuuden ja asutuksen lähelle ollaan harkitsemassa kansainvälisesti.

Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



Johdanto raporttiin

- Pyhäjoen kunta on käynnistänyt projektin nimeltä ”Esiselvitys puhtaan ja vakaan energiantuotannon kehittämisestä Pyhäjoen talousalueella.” Hanke on saanut AKKE-rahoituksen Pohjois-Pohjanmaan liitolta.
- AFRY Management Consulting on tehnyt Pyhäjoelle projektin selvittääkseen mahdollisuuksia puhtaan ja vakaan energian tuotantoon ja jalostamiseen, keskittyen ydinvoimaan sekä vedyn ja sen johdannaisten tuotantoon. Projekti pyrkii kuvailemaan teknologisesti, taloudellisesti ja aikataulullisesti sopivia ratkaisuja näiden tarpeiden täyttämiseksi käyttäen jo olemassa olevaa infrastruktuuria sekä paikallista ympäristöä. Projektissa myös tunnistettiin ja haastateltiin kansallisia sekä kansainvälisiä toimijoita energiasektorin kehittämiseksi alueella.
- Tämä raportti tiivistää projektin löydökset mukaan lukien seuraavat aiheet:
 1. Puhtaan energian tarpeet ja energiamarkkinoiden kehittyminen: Vakaan energiantuotannon tarpeen tunnistaminen sähkön ja vedyn ollessa keskiössä
 2. Toimijaverkoston tunnistaminen: Keskeisten toimijoiden halukkuus ja valmius käynnistää uusia projekteja käyttäen alueellista infrastruktuuria
 3. Potentiaaliset teknologiat ja toimittajat: Arvio potentiaalisten teknologioiden ja toimittajien valmiudesta toimittaa projekteja, jotka voidaan rakentaa jo tällä vuosikymmenellä
 4. Sähkön, vedyn, ja lämmön tuotannon taloudellinen toteuttamiskelpoisuus: Arviointi erilaisista energiatarpeista ja asiaankuuluvien teknologisten ratkaisujen toteuttamiskelpoisuudesta



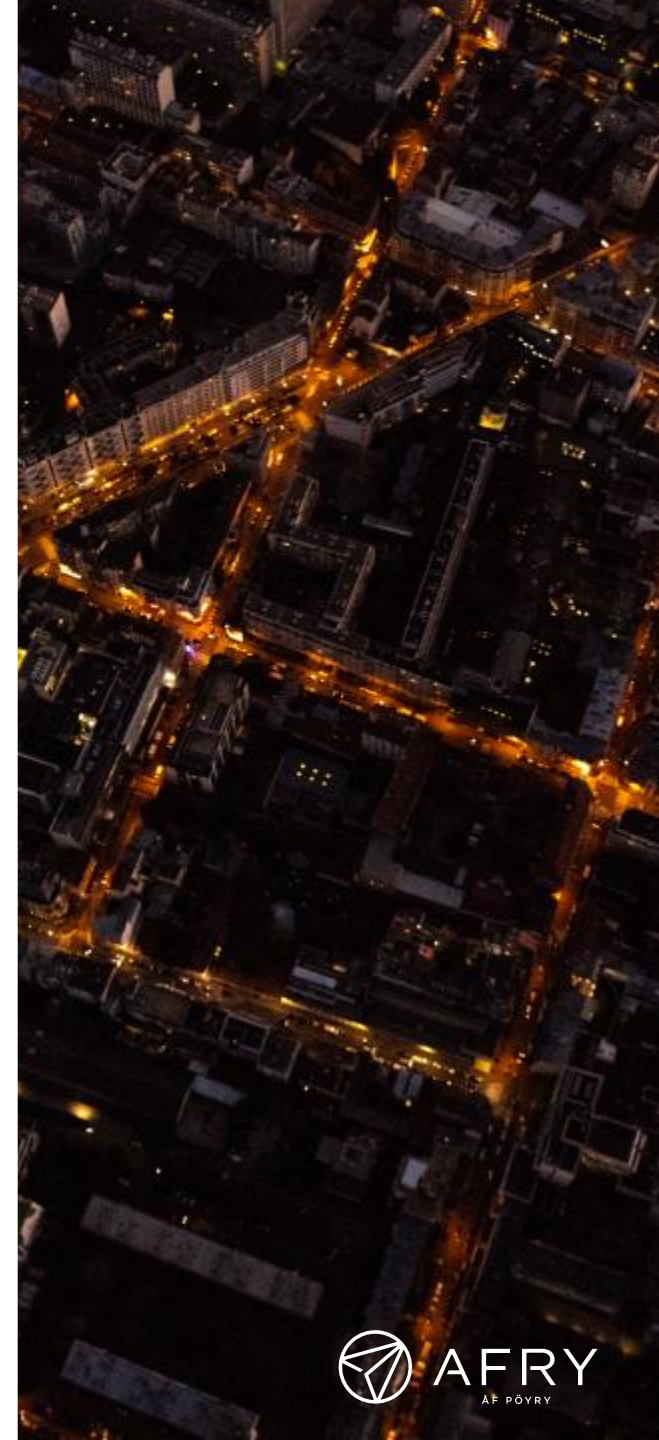
Laitosalueen esittely

- Hanhikiven laitosalue sijaitsee Hanhikivenniemellä Pyhäjoen kunnassa, joka kuuluu Pohjois-Pohjanmaan maakuntaan. Hanhikiven sijainti Pyhäjoella on suhteellisen syrjäinen. Tämä syrjäisyys voi olla teollisen toiminnan kannalta eduksi, sillä se pienentää kuntalaisten vastustuksen riskiä. Ydinvoiman paikallinen hyväksyntä on jo nyt hyvällä tasolla.
- Hanhikiven aluetta on valmisteltu ydinvoimalan toimintaa varten. Hanhikiven laitosalueen maa- ja vesialueen kokonaispinta-ala on 567 hehtaaria. Rakennustöitä on tehty, mukaan lukien teiden rakentamista ja erilaisia valmisteluita noin 115 hehtaarin alueella. Pysyviä rakennuksia on kolme: 1200 m² koulutusrakennus, 1200 m² turvaporttirakennus ja 10600 m² hallinto-/toimistorakennus. Sataman vedenalaiset työt ovat valmiit (vesiväylän syvyys 8 metriä ja leveys 80 metriä), mutta maanpäälliset rakennukset ovat vielä kesken. Vesiliittymän enimmäisottokapasiteetti on 1200 tonnia makeaa vettä päivässä. Verkkoyhteyden kapasiteetti on tällä hetkellä 5 MW, ja varalla on 2x5,5 MW. Perussuunnittelu, kaavoitus ja lupamenettelyt ovat valmiina 2x400 kV + 2x110 kV siirtoverkkoyhteyksiä varten. Alue on tarkoitettu energiantuotantoon ja tukitoimintoihin, erityisesti ydinvoimalaa varten. Laitosalueen lupiin kuuluvat vesilupa 3200 MW:n jäähdytyslämpökuormalle mereen ja sataman rakentamiselle, ympäristölupa ydinvoimalalle sekä kemikaalilupa.
- Fennovoiman ydinvoimalahanke loppui vuonna 2022. Pyhäjoen kunta etsii alueelle uusia liiketoimintamahdollisuuksia.



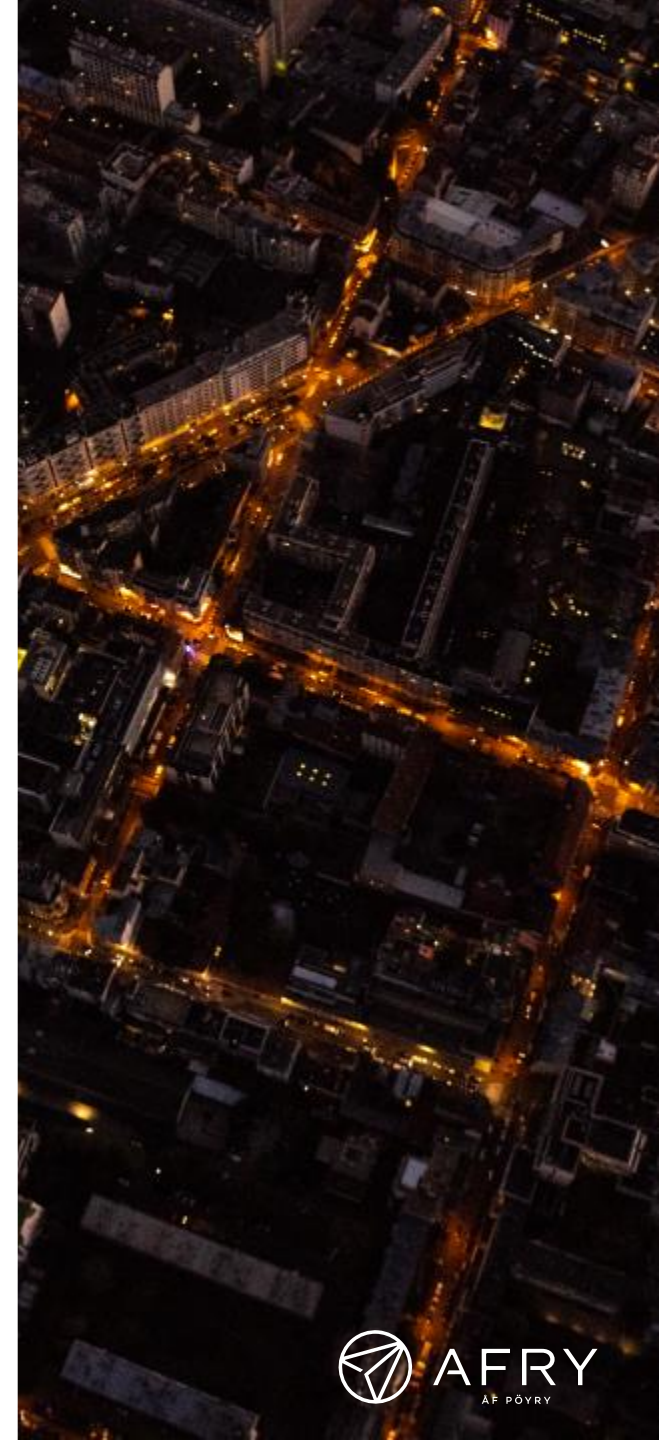
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



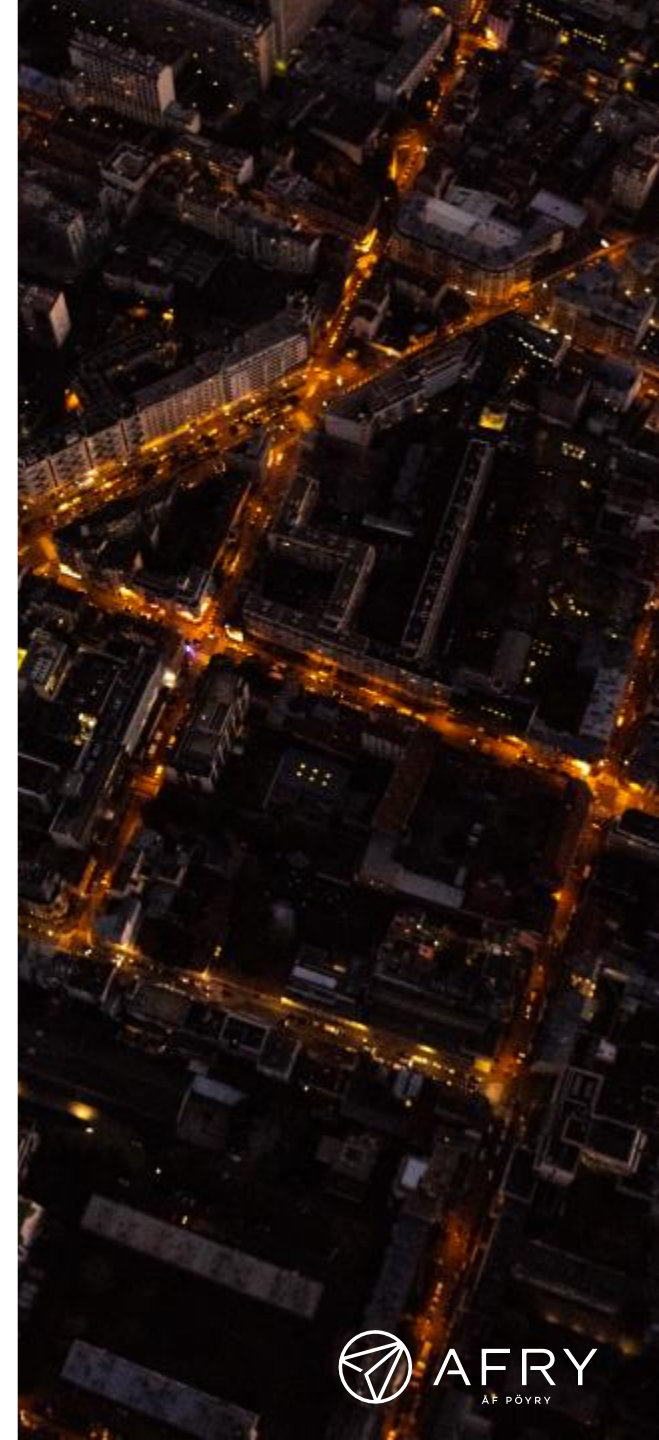
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
 - 3.1 Vakaan energiantuotannon tarpeet
 - 3.11 Suomi
 - 3.12 Ruotsi
 - 3.2 Sähkömarkkinamalli ja näkymät
 - 3.3 Vedyn kysyntä ja käyttötapaukset
 - 3.31 Vetyä koskevat EU:n ja kansalliset tavoitteet
 - 3.32 Vety- ja PtX-hankkeiden tilanne Suomessa ja Pohjois-Ruotsissa
 - 3.33 Uusiutuvaa energiaa ja ydinenergiaa koskevat EU:n asetukset PtX:n osalta
 - 3.34 Vaihtoehtoiset energiakonseptit Pyhäjoelle (mukaan lukien vety)
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan



Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
 - 3.1 Vakaan energiantuotannon tarpeet
 - 3.11 Suomi
 - 3.12 Ruotsi
 - 3.2 Sähkömarkkinamalli ja näkymät
 - 3.3 Vedyn kysyntä ja käyttötapaukset
 - 3.31 Vetyä koskevat EU:n ja kansalliset tavoitteet
 - 3.32 Vety- ja PtX-hankkeiden tilanne Suomessa ja Pohjois-Ruotsissa
 - 3.33 Uusiutuvaa energiaa ja ydinenergiaa koskevat EU:n asetukset PtX:n osalta
 - 3.34 Vaihtoehtoiset energiakonseptit Pyhäjoelle (mukaan lukien vety)
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan



Uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin kasvu on aiheuttanut volatiliteettia sähkömarkkinoilla

- Uusiutuvien energialähteiden osuus Suomen sähköntuotannosta on kasvanut nopeasti viime vuosina. Vuonna 2022 Suomessa tuotetusta sähköstä 54 prosenttia perustui uusiutuviin energialähteisiin, ja 31 prosenttia maatuulivoimaan. *) Trendi on jatkunut ja uusiutuvan sähkön tuotanto kasvaa Suomessa myös tulevaisuudessa. Maatuulivoimaa tulee lisää, aurinkovoima kehittyy yhä nopeammin ja myös merituulivoima tavoittelee asemaa markkinoilla.
- Kaikki tämä tarkoittaa, että sähköntuotanto tulee olemaan vaihtelevaa, ja Suomessa on selkeä tarve vakaalle sähköntarjonnalle.
- Sama kehitys koskee myös Ruotsia, joka on osa samaa Nordpool-aluetta, ja joka liitetään entistä tiiviimmin Suomen sähköverkkoon, kun maiden välinen uusi Aurora Line-linja otetaan käyttöön vuonna 2025.
- Monet teollisuuden sähkökäyttäjät arvostavat vakaata sähköä, ja tämä voitaisiin varmistaa lisäämällä peruskuormatuotantoa ydinvoimalla, mutta myös muilla vaihtoehdoilla, joita käydään läpi tässä luvussa.

*) Lähde: [Sähkön tuotanto tuulivoimalla ja ydinvoimalla kasvoi vuonna 2022 - Tilastokeskus](#)



An aerial photograph of a serene landscape. A large, calm lake with a blue-green hue is surrounded by a dense, lush green forest. In the foreground, a stone tower with a crenellated top and a Finnish flag flying from its peak stands prominently. The scene is captured from a high angle, providing a comprehensive view of the natural beauty and the man-made structure.

Vakaan energiankysynnän tarpeet Suomessa



AFRY on kehittänyt Suomen sähkön kysyntäskenaarion perustuen julkistettuihin investointisuunnitelmiin sekä muihin kasvusektoreihin



Nykytilanne

- Raportissa esitetty sähkönkysynnän nykytaso perustuu *Tilastokeskuksen* vuoden 2021 lukuihin.
- Analyysiin valittiin vuosi 2021, koska vuonna 2022 sähkönkulutuksessa saattaa esiintyä poikkeamia energiakriisin vuoksi.



Julkaistuihin projekteihin perustuva kasvunäkymä

- Sähkön kysynnän kasvuennusteet perustuvat julkistettuihin, merkittävästi sähköä kuluttaviin projekteihin.
- Kaikkien hankkeiden¹ ei oleteta lopulta toteutuvan; toteutumistodennäköisyydet on arvioitu hankkeen vaiheen perusteella, ja tulevaisuuden kulutusarvioissa on huomioitu nämä todennäköisyydet.



Lisäkasvu

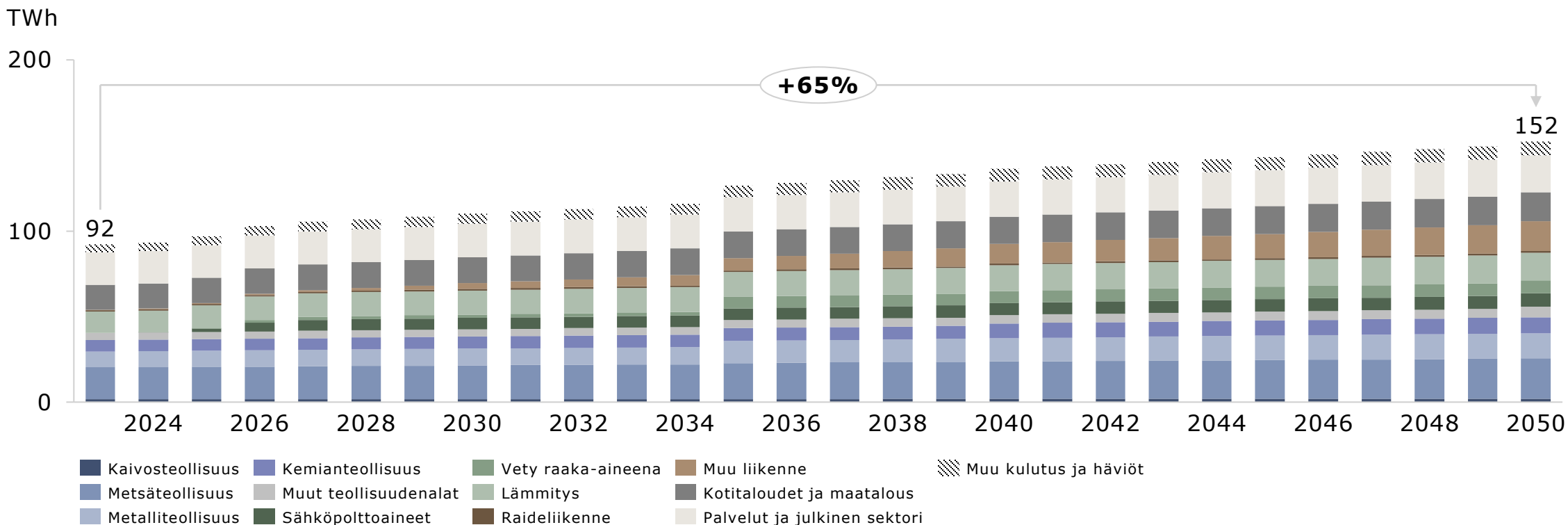
- Tähän mennessä julkaistut projektit eivät oletettavasti kata kaikkea tulevaisuuden kysyntäkasvua.
- Siksi niiden päälle oletetaan tietty määrä lisäkysyntää.

¹ Kyseiset hankkeet ovat *Elinkeinoelämän keskusliiton* Suomen vihreiksi investoinneiksi listaamia. Seuranta on alkanut vuonna 2021.
<https://ek.fi/tutkittua-tietoa/vihreat-investoinnit/>



Sähkön kokonaiskysyntä voi kasvaa 65% v. 2050 mennessä - Kysyntää lisäävät eniten teollisuuden kasvava tarve vedylle, metsä- ja metalliteollisuus sekä liikenne

TULEVAISUUDEN SÄHKÖN KYSYNTÄ¹ SUOMESSA



¹ Kysynnän arviointi perustuu julkisiin ilmoituksiin tulevista investoinneista ja muuhun odotettavissa olevaan alakohtaiseen kasvuun. Arvio on suuntaa antava, sillä se ei vielä sisällä suuria datakeskuksia eikä mahdollista vedyn vientiä. Arviointi perustuu todennäköisyyksiin.



Joustavuus vaihtelee eri kysyntäkategorioissa – Joillakin on enemmän joustamattomia, korkean käyttöasteen prosesseja

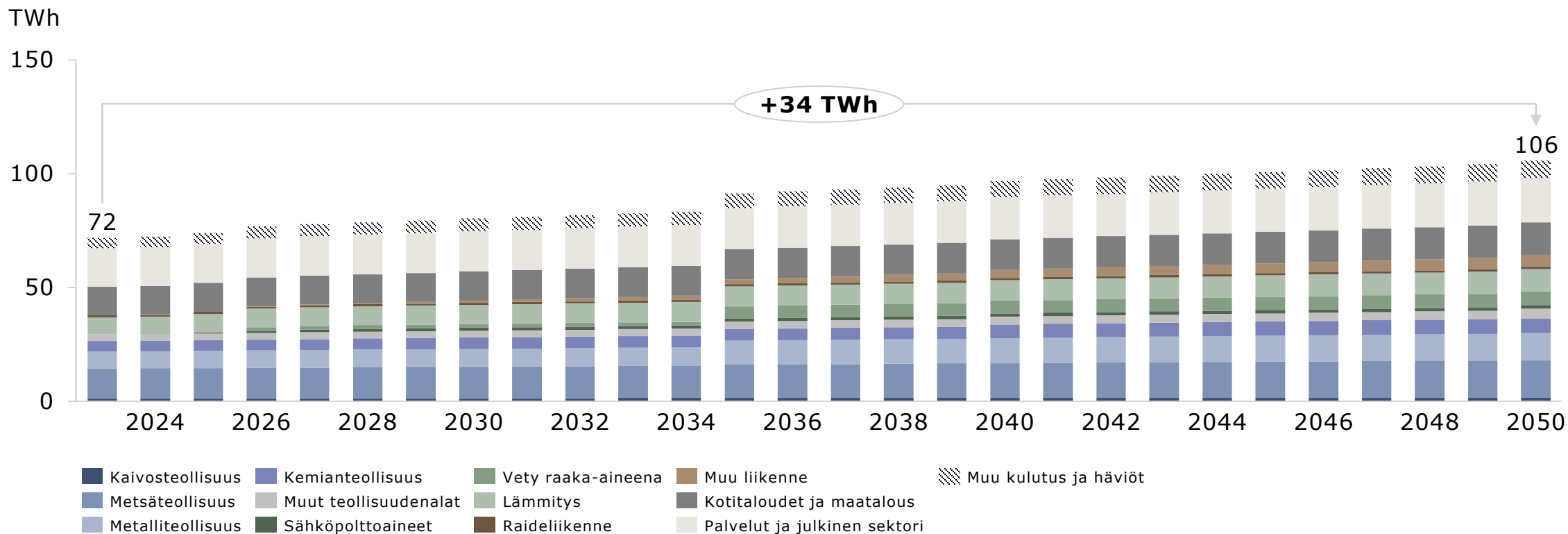
Kysyntäluokka	Joustavuus	Vakaa kysyntä (% kok.määrästä)	Joustava kysyntä (% kok.määrästä) ¹
Teollisuus (paitsi elektrolyysi)			
Kaivosteollisuus	Matala	80 %	20 %
Metsäteollisuus	Matala tai kohtalainen	70 %	30 %
Metalliteollisuus	Matala tai kohtalainen	80 %	20 %
Kemianteollisuus	Matala tai kohtalainen	70 %	30 %
Muu teollisuus	Matala tai kohtalainen	70 %	30 %
Elektrolyysi			
E-polttoaine	Korkea	20 %	80 %
Vety raaka-aineena	Matala	80 %	20 %
Lämmitys	Kohtalainen	60 %	40 %
Rautatieliikenne	Matala	100 %	0 %
Muu liikenne	Korkea	30 %	70 %
Kotitaloudet ja maatalous		85 %	15 %
Palvelut ja julkinen kulutus	Matala	90 %	10 %
Muu kulutus ja häviöt	Matala	95 %	5 %

1 Oletetut prosenttiosuudet vakaalle ja joustavalle kysynnälle ovat suuntaa antavia arvioita perustuen laadulliseen asiantuntijanäkemykseen. Yksityiskohtaisempi joustavuuden arvioiminen ei kuulunut tämän selvityksen laajuuteen.



Skenaario-oletusten mukaan joustamaton kysyntä kasvaisi ~34 TWh vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 2023

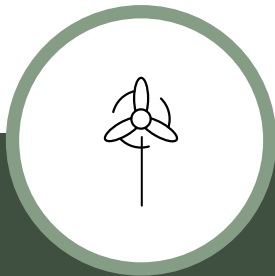
TULEVAISUUDEN VAKAA SÄHKÖN KYSYNTÄ¹ SUOMESSA



¹ Kysynnän arviointi perustuu julkisiin ilmoituksiin tulevista investoinneista ja muuhun odotettavissa olevaan alakohtaiseen kasvuun. Arvio on suuntaa antava, sillä se ei vielä sisällä suuria datakeskuksia eikä mahdollista vedyn vientiä.

Tuotannon kehitystä arvioidaan kahdessa skenaariossa, jotka eroavat toisistaan tulevan uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin ja nykyisten ydinvoimaloiden sulkemisaikataulujen osalta

Huom: Kumpikaan skenaarioista ei edusta AFRY:n näkemystä sellaisenaan. Skenaariot on muodostettu arvioimaan hypoteettista kehitystä, jos uutta vakaata tuotantokapasiteettia ei rakennettaisi.



Skenaario: Ydinvoiman vähentyminen

- Uusia ydinvoimalaitoksia ei oleteta rakennettavan
- Nykyisiä ydinvoimalupia ei oleteta pidennettävän.
- Tuuli- ja aurinkoenergiaa rakennetaan vastaamaan vuotuista energiatasetta.
- Vesivoiman tuotanto pysyy vakaana
- Lämpövoima (muu kuin ydinvoima) vähenee hieman tulevaisuudessa



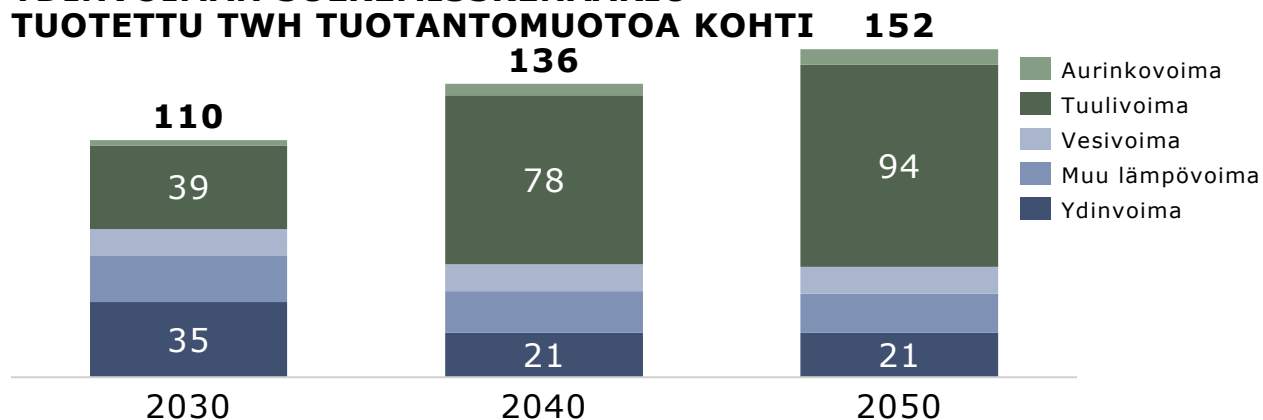
Skenaario: Ydinvoiman pidennykset

- Uutta ydinvoimaa ei rakenneta
- Nykyisten ydinvoimalupien voimassaoloaika pidennetään vuoteen 2050 asti
- Tuuli- ja aurinkoenergiaa rakennetaan vastaamaan vuotuista energiatasetta.
- Vesivoimaa ja muuta lämpövoimaa koskevat oletukset vastaavat toista skenaariota.

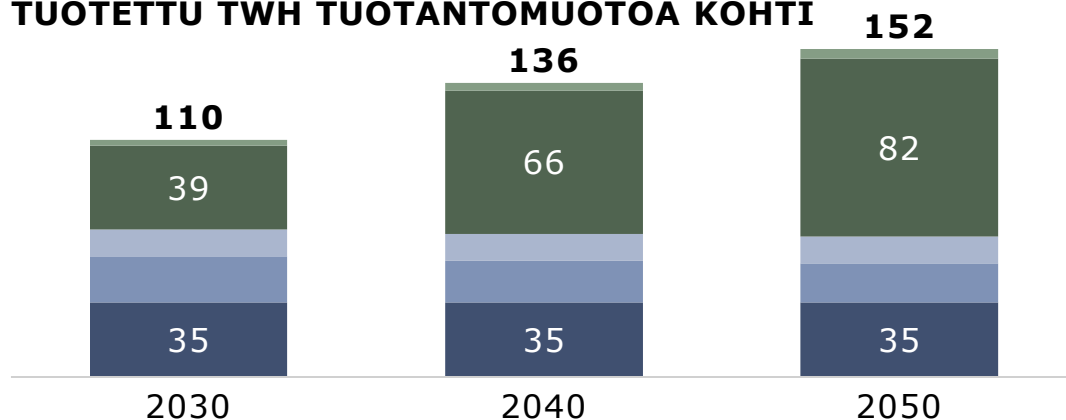


Suurin ero skenaarioiden välillä on tuuli- ja ydinvoimatuotannon jakautuminen

YDINVOIMAN SULKEMISSKENAARIO - TUOTETTU TWH TUOTANTOMUOTOA KOHTI



YDINVOIMAN PIDENNYSSKENAARIO - TUOTETTU TWH TUOTANTOMUOTOA KOHTI



Ydinvoimaloiden sulkeminen

- Tuulivoimalla tuotettu energia kasvaa lähes 2,5-kertaiseksi vuodesta 2030 vuoteen 2050.
- Vakaa energiantuotanto vähenee, kun ydinvoimaloita poistetaan käytöstä.
- Vakaa tuotanto ydinvoimasta, muusta lämpövoimasta ja vesivoimasta laskee ~51 TWh/a tasolle vuonna 2050.

Ydinvoimalupien pidentäminen

- Tuulivoimalla tuotettu energia lisääntyy merkittävästi, mutta silti huomattavasti vähemmän kuin toisessa skenaariossa.
- Vakaa tuotanto laskee ~65 TWh/a tasolle vuonna 2050.
- Kyseinen pieni lasku johtuu muun lämpövoiman tuotannon vähenemisestä.



Useiden teknologioiden joustavuus täydentää vaihtelevaa sähköntuotantoa vakaan sähköntarjonnan varmistamiseksi - vahva verkko tasapainottaa

 Elektrolyysi	 Pumppu- vesivoima	 Rajasiirto- yhteydet	 Kysyntäjousto (DSR)	 Akut	 CHP + huippulait.	 Siirtoverkko (sisäinen)
<ul style="list-style-type: none">• Elektrolyysillä voidaan varastoida energiaa <i>esim.</i> vetyyn yli-tuotannon aikana.• Energia voidaan sitten syöttää takaisin verkkoon myöhemmin.• Hyötysuhde on melko alhainen, vain ~40 %.	<ul style="list-style-type: none">• Pumppuvesivoimalaitoksissa energiaa voidaan varastoida pitkiksi ajoiksi pumppamalla vettä korkeammalle myöhempää sähköntuotantoa varten.• Teknologiana sitä rajoittavat sopivat sijaintipaikat, ja suuret investointikustannukset.	<ul style="list-style-type: none">• Suomen ja Ruotsin verkot ovat erityisen hyvin yhdistettyjä.• Ruotsi on yhteydessä muuhun Eurooppaan, joten myös Suomi on yhteydessä sinne Ruotsin kautta.• Tuonti ja vienti tukevat järjestelmien tasapainottamista tarpeen mukaan.	<ul style="list-style-type: none">• Kysyntäjoustolla ei voida varastoida energiaa, mutta se voi lisätä järjestelmätason joustavuutta.• Matalan tuotannon aikana DSR voi tarjota ylössäätöä vähentämällä kysyntää ja päinvastoin korkean tuotannon aikana.	<ul style="list-style-type: none">• Akut ovat ketterä tapa energian varastoinniksi, ja ne kykenevät hyvin lyhyeen vasteaikaan.• Tällä hetkellä Suomessa ja Ruotsissa akut on suunnattu varavirtalähteiksi - teknologian odotetaan kehittyvän pidempiaikaiseen varastointiin.	<ul style="list-style-type: none">• Lämmön tuotanto CHP-laitoksissa ja huippulaitoksissa on hyvin säädettävissä, ja CHP-laitokset ovat tällä hetkellä vahva tuki järjestelmälle - tarjoavat <i>esim.</i> kapasiteettia kysyntähuippujen aikana.• Biomassan, biopolttoaineiden tai vedyn käyttö minimoi päästöt.¹	<ul style="list-style-type: none">• Vahva siirtoverkko tukee verkon vakautta, mikä korostuu pitkissä maissa, kuten Suomessa ja Ruotsissa.• Suomen verkko on tällä hetkellä vahva, kun taas Ruotsin verkko on jo nyt pullonkaulojen vuoksi ruuhkautunut.

¹ Jos tuotannossa käytetään esimerkiksi biomassaa tai biopolttoaineita tai vetyä, päästöjä voidaan pitää matalina.

Uusiutuvan energiantuotannon maksimointi johtaa tarpeeseen lisätä joustavuutta vakaan sähköntarjonnan varmistamiseksi

JOUSTAVUUDEN TARVE ERI SKENAARIOISSA

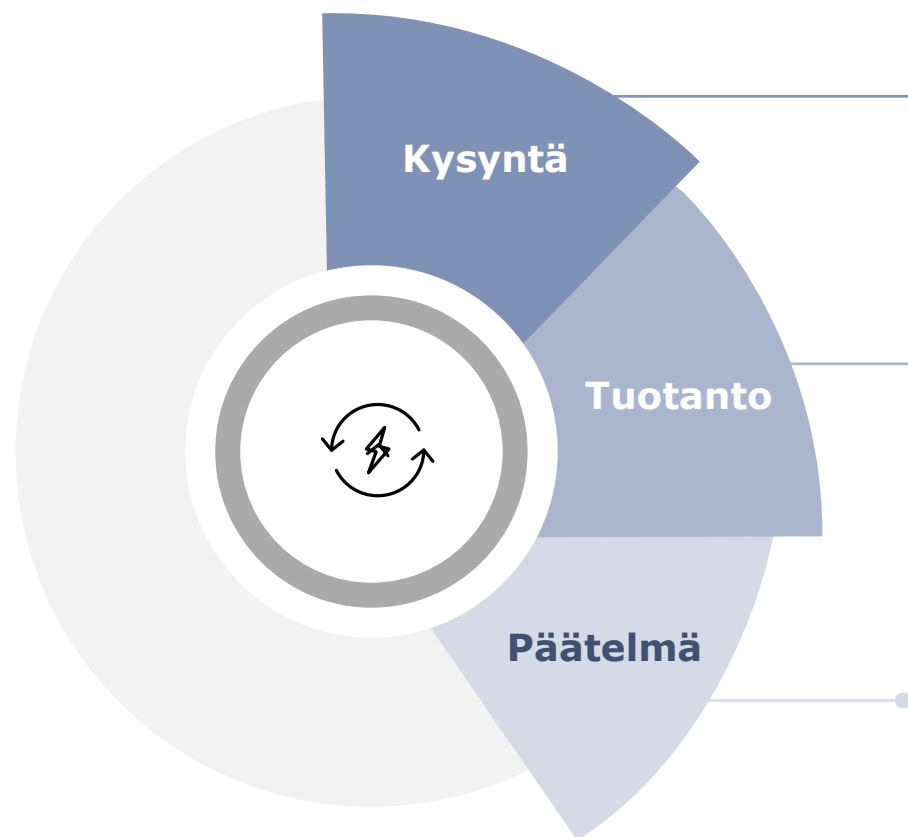
Tarve järjestelmässä +++ + Suuri tarve Vähemmän tarvetta	 Ydinvoimasta luopuminen	 Ydinvoiman laajentaminen
RES	+++	++
Elektrolyysi	+++	++
Pumppuvesivoima	+++	++
Rajasiirtoyhteydet	+++	++
Kysyntäjousto	+++	++
Akut	+++	++
CHP ja huippulaitokset	+++	++
Siirtoverkko (sisäinen)	+++	++

KOMMENTIT

- Molemmissa skenaarioissa lisääntyvä uusiutuvan energian tuotanto tarkoittaa, että kun kysyntä kasvaa, myös joustavuuden tarve kasvaa.
- Nykyisten ydinvoimaloiden käyttöiän oletettu pidentäminen ei riittäisi tyydyttämään tulevaisuuden odotettua kysyntää vakaalle sähköntarjonnalle.
- Vakaassa tuotannossa ja kysynnässä on vieläkin suurempi ero skenaariossa, jossa ydinvoimaloiden lupia ei pidennetä.
- Ydinvoimaloiden pysyessä auki tarvitaan hieman vähemmän uusiutuvia energialähteitä.
- Lisäksi tarvitaan hieman vähemmän joustavuutta (kaikista joustavuuden lähteistä) ydinvoiman tarjotessa lisää vakaata sähköntuotantoa.



Suomessa tarvitaan enemmän vakaata sähköntarjontaa kasvavan kysynnän tyydyttämiseksi – ratkaisuna uutta vakaata tuotantoa tai lisää joustavuutta



- Ilmoitettujen tulevien investointien myötä sähkön kysyntä Suomessa voi kasvaa ~150 TWh/a tasolle vuoteen 2050 mennessä.

- Yli 100 TWh/a kokonaiskysynnästä on arvioitu olevan joustamatonta (eli peruskuormaa)

- Arvioiduissa kahdessa skenaariossa ~50-70 TWh vuosittaisesta 150 TWh:n sähköntuotannosta voidaan luokitella säädettäväksi vuonna 2050.

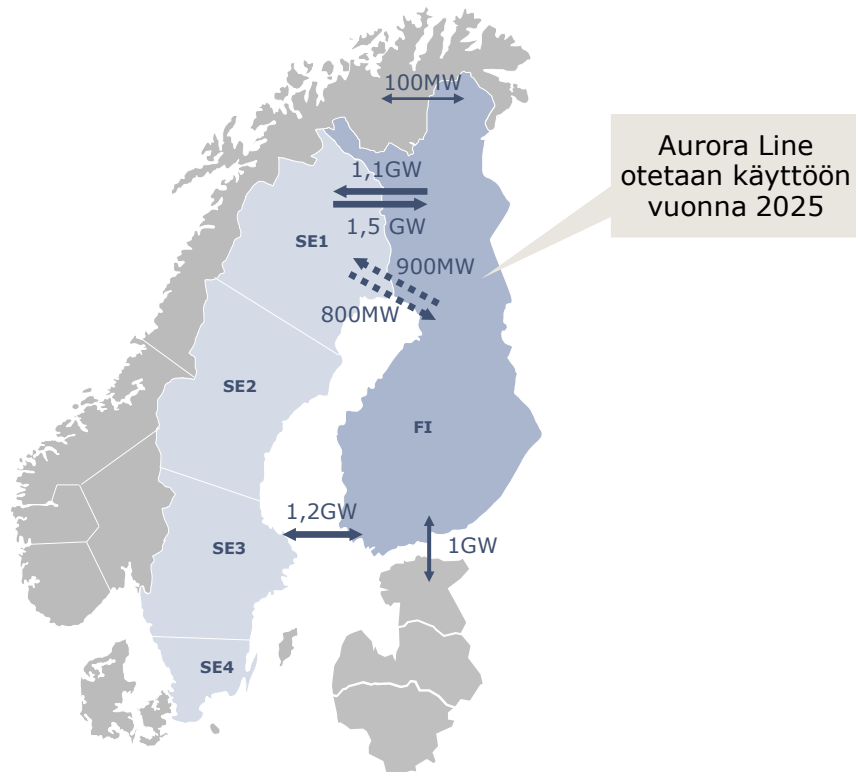
- Tulevaisuuden kysynnän ja tarjonnan välisen kuilun umpeen kuromiseksi tarvitaan lisää vakaata sähköntarjontaa
- Tämä voidaan saavuttaa lisäämällä vakaata tuotantokapasiteettia tai joustavuutta järjestelmässä

Vakaan energiankysynnän tarpeet Ruotsissa



Ruotsiin johtavien siirtoyhteysien merkittävä kapasiteetti tekee Ruotsin tulevasta kysynnästä merkityksellisen myös Suomen sähköntuotannolle

SUOMEA NAAPURIMAIHIN YHDISTÄVÄT SIIRTOYHTEYDET



Aurora Line otetaan käyttöön vuonna 2025

←→ Nykyinen siirtokapasiteetti
←...→ Rakenteilla

KOMMENTIT

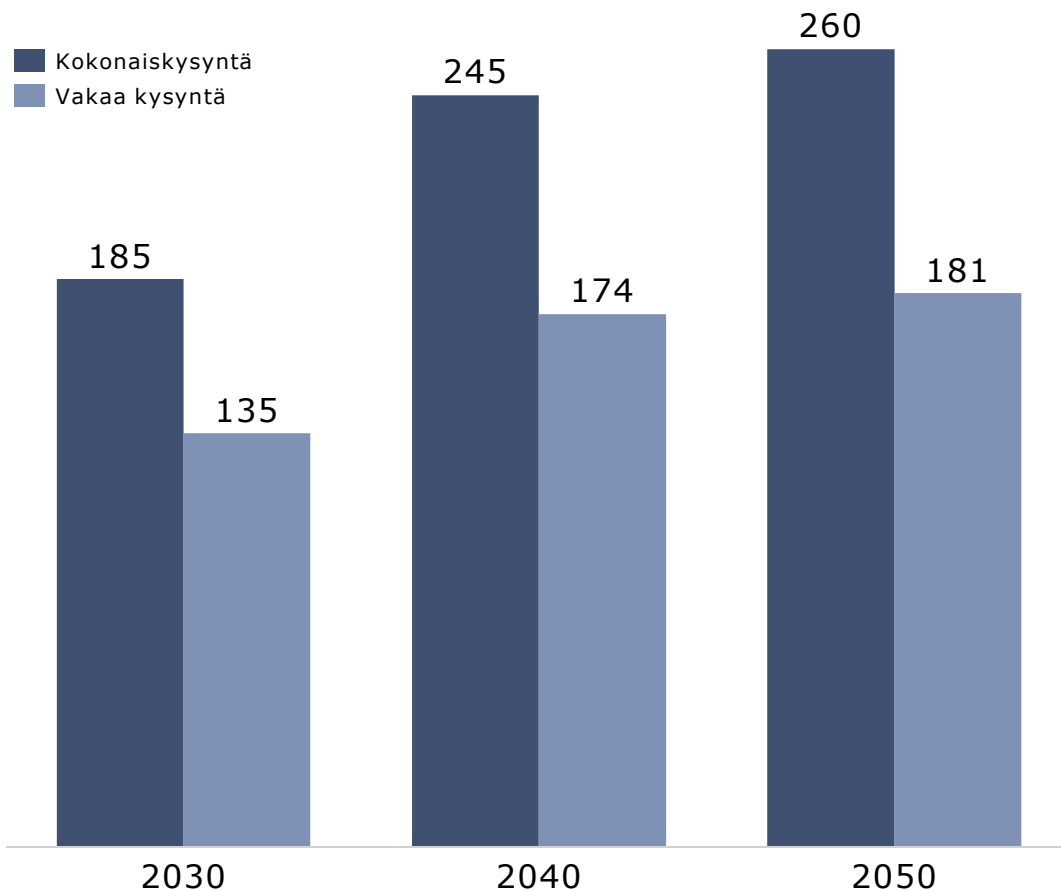
- Suomella on toimivat siirtoyhteys Ruotsiin, Viroon ja Norjaan.
- Fenno-Skan 1 ja 2 yhdistävät hinta-alueet FI ja SE3 etelässä, ja niiden yhteenlaskettu kapasiteetti on 1,2 GW.
- Pohjoisessa on 1,1 GW kapasiteettia alueesta FI alueeseen SE1 ja 1,5 GW toiseen suuntaan.
- Pian Aurora Line-siirtolinja lisää siirtokapasiteettia FI:stä SE1:een 900MW:lla ja SE1:stä FI:een 800MW:lla.
- Aurora Line on ilmoitettu otettavaksi käyttöön vuonna 2025.
- Kaikki tässä ilmoitettu nimelliskapasiteetti ei ole käytettävissä energiakauppaa varten, koska osa siitä on varattu järjestelmän suojaamista varten.
- Nykyisen ja tulevan siirtokapasiteetin ansiosta Suomella on kuitenkin erityisen hyvät yhteydet Pohjois-Ruotsiin, jossa sähkön kysynnän odotetaan kasvavan tulevaisuudessa.¹

¹ Pohjois-Ruotsiin on suunnitteilla useita energiantensiivisiä hankkeita, esimerkiksi akkujen, teräksen ja vedyn tuotantoa.



Energimyndighetenin mukaan Ruotsin sähkönkysyntä voi kasvaa 260 TWh/a tasolle v. 2050 mennessä - Vakaa kysyntä voi kasvaa ~180 TWh/a tasolle

KOKONAISKYSYNTÄ VS. VAKAA KYSYNTÄ - TWH



KOMMENTIT

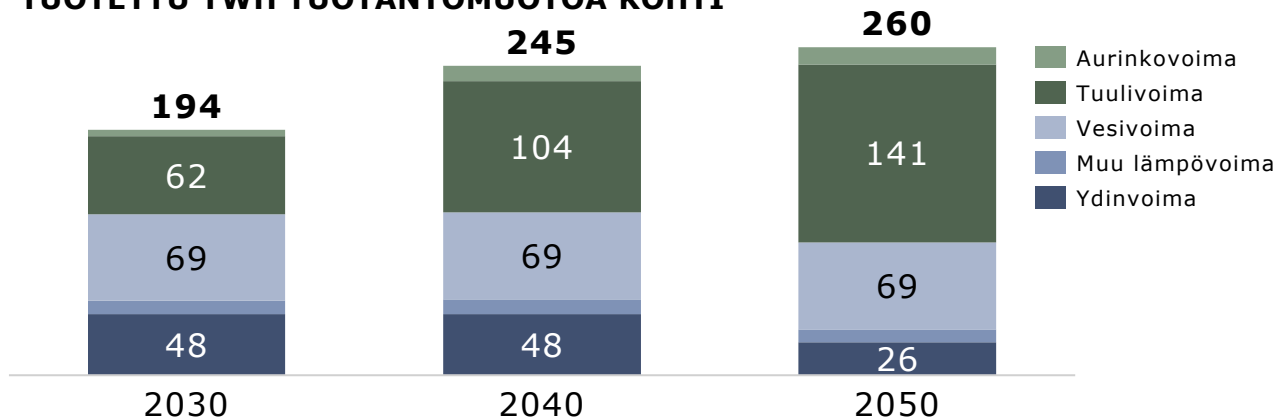
- *Ruotsin energiaviraston* ennustetta¹ käytetään mahdollisena näkymänä tulevaisuuden sähkön kysyntään Ruotsissa.
 - Energimyndighetenin muodostamista kolmesta skenaariosta tarkastella tässä *matalamman sähköistymisen* skenaariota.
- Kokonaiskysyntä voi kasvaa ~260 TWh:iin vuoteen 2050 mennessä.
- Joustavan kysynnän osuuden oletetaan olevan samankaltainen kuin Suomessa. Toisin sanoen,
 - ~20 % joustavaa kysyntää vuonna 2030
 - ~30 % joustavaa kysyntää vuonna 2050
- Näiden oletusten perusteella vakaan sähkön tarve voisi kasvaa Ruotsissa ~180 TWh:iin vuoteen 2050 mennessä.

1 <https://www.energimyndigheten.se/49428c/globalassets/statistik/prognoser-och-scenarier/langsiktiga-scenarier/langsiktiga-scenarier-over-sveriges-energisystem-2023.pdf>

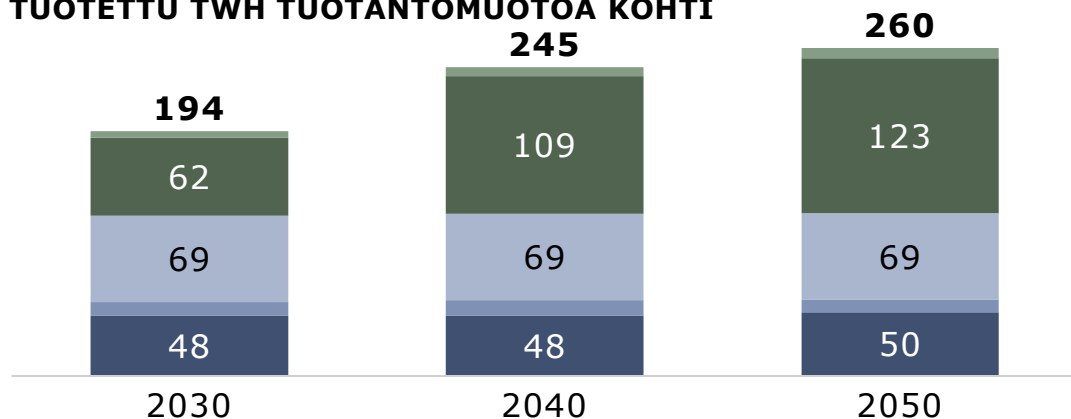


Ruotsin järjestelmässä vesivoiman osuus on suuri - Muuten skenaariot ovat samankaltaisia kuin tarkastellut Suomen skenaariot

YDINVOIMAN SULKEMISSKENAARIO - TUOTETTU TWH TUOTANTOMUOTOA KOHTI



YDINVOIMAN PIDENTÄMISSKENAARIO - TUOTETTU TWH TUOTANTOMUOTOA KOHTI

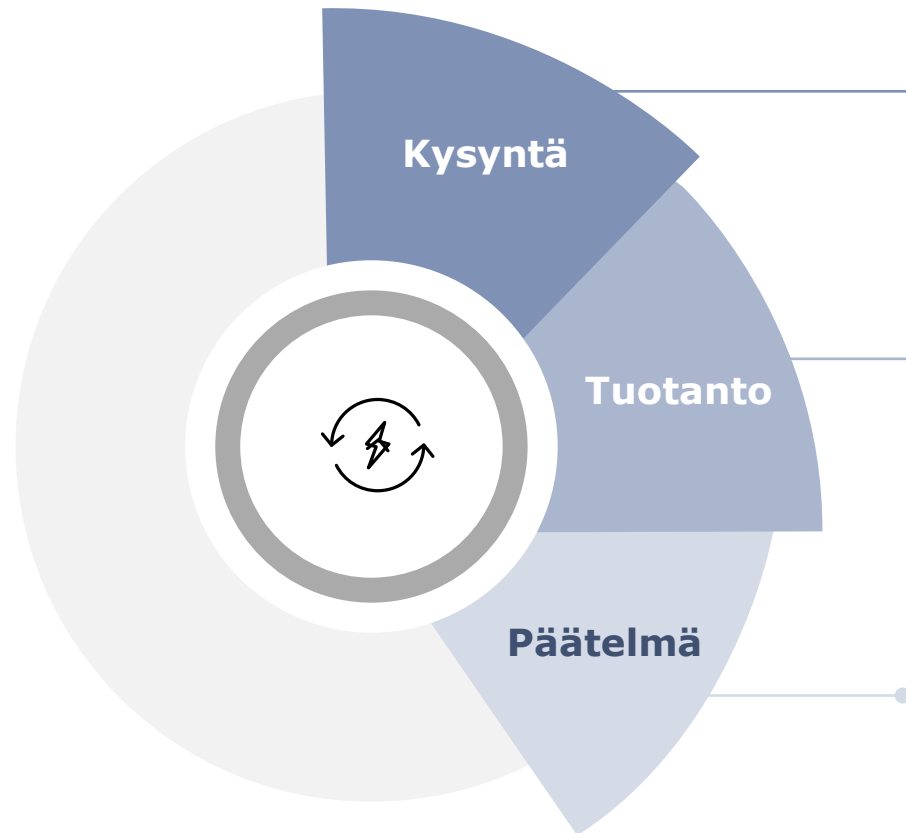


KOMMENTIT

- Ruotsissa vesivoiman osuus on Suomeen verrattuna suuri
 - Tämä nostaa hieman vakaan tuotannon osuutta.
- Muuten skenaariot on muodostettu samalla tavalla kuin Suomelle:
 - Ikääntyvä ydintuotanto joko lopetetaan tai sitä jatketaan vuoteen 2050 asti.
 - Energiatase täytetään uudella uusiutuvan energian kapasiteetilla
- Tuulivoiman tuotanto kasvaa huomattavasti molemmissa skenaarioissa.
- Ydinvoiman sulkeminen johtaisi vakaan tuotannon vähenemiseen 114 TWh/a tasolle vuoteen 2050 mennessä (ylempi kuvaaja).
- Ydinvoiman laajennukset pitäisivät vakaan tuotannon ~137 TWh/a tasolla (alin kuvaaja).



Suomen kaltaista kehitystä voidaan odottaa myös Ruotsissa - Tulevaisuudessa tarvitaan uutta vakaata sähkön tarjontaa



- Sähkön kysyntä kasvaa. Sen voidaan odottaa kasvavan ~260 TWh/a tasolle vuoteen 2050 mennessä.

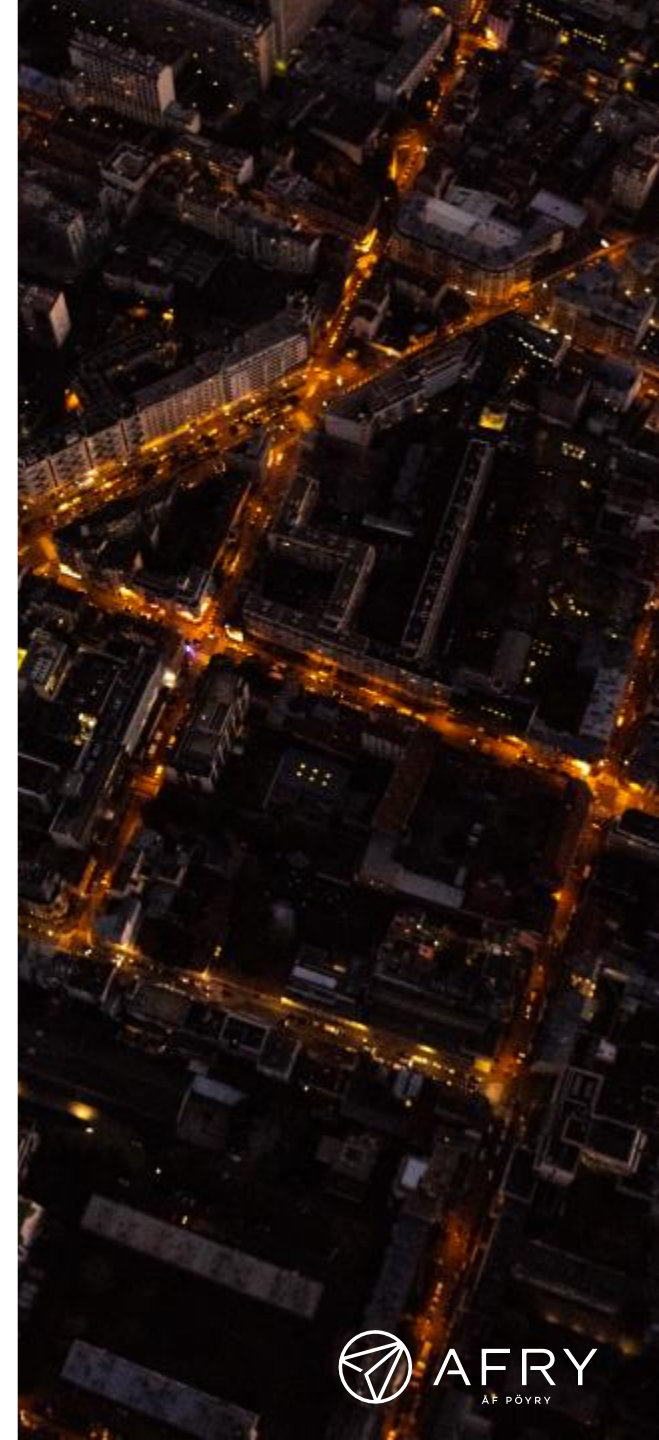
- Joustamattoman kysynnän (ei peruskuormaa) osuuden voidaan odottaa tällöin olevan ~180 TWh/a.

- Arvioiduissa kahdessa skenaariossa noin 110 tai 130 TWh/a voidaan nähdä säädettävänä tuotantona vuonna 2050

- Suomen tavoin vakaata sähkön tarjontaa tarvitaan lisää – joko uuden vakaan tuotannon tai suuremman joustavuuden kautta (ks. sivut 21 ja 22)

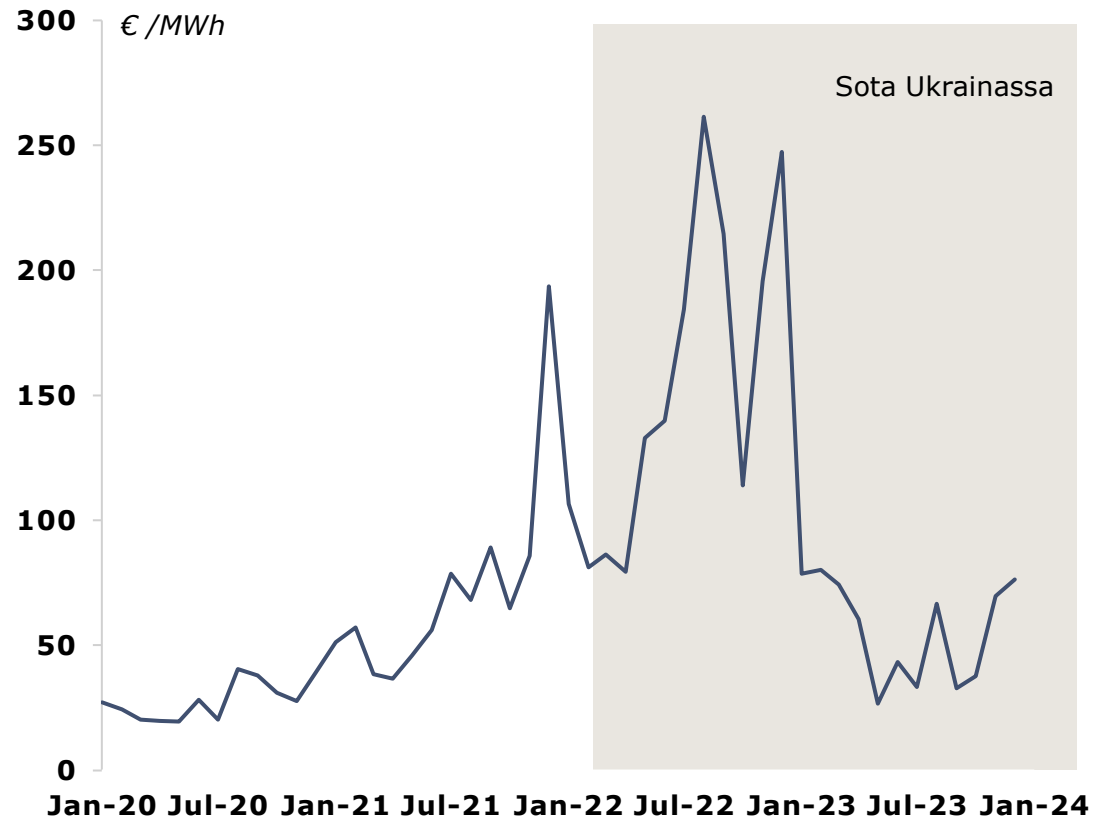
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
 - 3.1 Vakaan energiantuotannon tarpeet
 - 3.11 Suomi
 - 3.12 Ruotsi
 - 3.2 Sähkömarkkinamalli ja näkymät
 - 3.3 Vedyn kysyntä ja käyttökohteet
 - 3.31 Vetyä koskevat EU:n ja kansalliset tavoitteet
 - 3.32 Vety- ja PtX-hankkeiden tilanne Suomessa ja Pohjois-Ruotsissa
 - 3.33 Uusiutuvaa energiaa ja ydinenergiaa koskevat EU:n asetukset PtX:n osalta
 - 3.34 Vaihtoehtoiset energiakonseptit Pyhäjoelle (mukaan lukien vety)
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan



Ukrainan sota johti sähkön hinnan nousuun, mikä johti poliittiseen keskusteluun sähkön hinnan kohtuullisuudesta

SUOMEN SÄHKÖN HINTA NOUSI JYRKÄSTI VUOSINA 2022-2023...



...TULOKSENA JULKINEN KESKUSTELU KOHTUUHINTAISUUDESTA

- Historiallisen korkeat hinnat v. 2022 lähtien ovat johtaneet kuluttajien keskuudessa laajaan tietoisuuteen ja huoleen sähkön hinnoista
- YLE:n kyselyn mukaan yli puolet suomalaisista oli huolissaan sähkölaskuista vuonna 2022
- Hätätoimenpiteisiin vuonna 2022 kuuluivat ylimääräiset verot sähköyhtiöille sekä kuluttajille suunnatut tuet
- Poliittinen keskustelu kohtuuhintaisuudesta sekä lisääntyvässä määrin myös toimitusvarmuudesta on käynyt kuumana – aiheina mm. hintakatot, markkinamekanismien muuttaminen sekä luottamusäänestykset hallitukselle
- Sekä Fingridin että uuden hallituksen esittämä kapasiteettimekanismi on nousemassa mahdolliseksi keinoksi toimitusvarmuuteen ja hintapiikkeihin puuttumiseksi

Lisäksi toimitusvarmuus on ollut vahvasti esillä

VIIMEAIKAINEN TILANNE SÄHKÖMARKKINOILLA

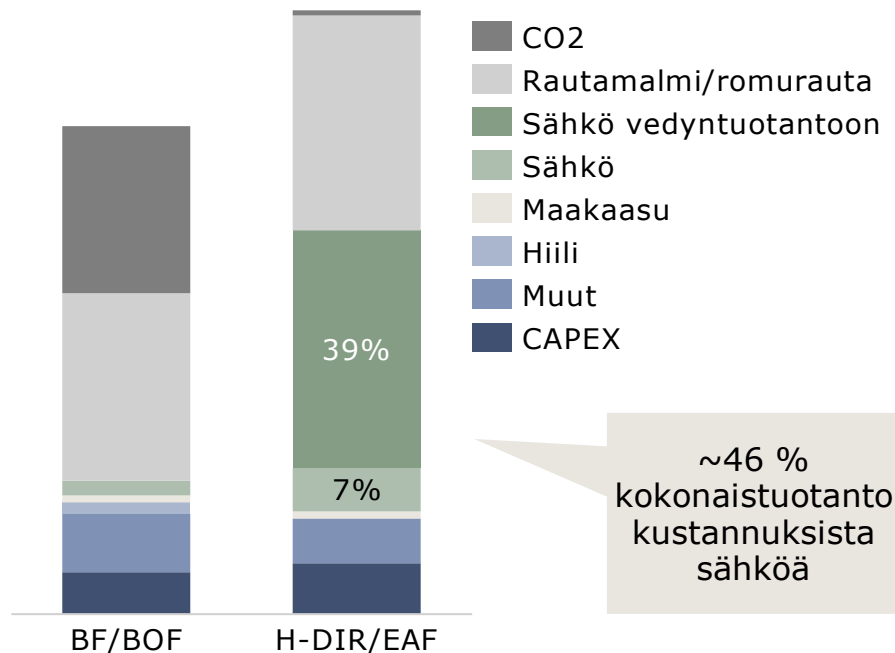
- Toimitusvarmuus ja korkeat sähkön hinnat ovat olleet viime aikoina esillä.
- Tämän talven (2023-2024) tilanne on yleisesti ottaen ollut hyvä. Fingridin mukaan sähkön riittävyys voi heikentyä kulutushuippujen aikana, jos tärkeissä tuotantolaitoksissa tai sähkönsiirtoyhteyksissä ilmenee samanaikaisia häiriöitä.
- 5. tammikuuta 2024 sähkön hinta Suomessa oli ennätysellisen korkealla, jopa yli 2 €/kWh illalla klo 19-20.
- Edellisenä päivänä (4. tammikuuta 2024) Fingrid kehotti sähköjoustoon erittäin kylmällä säällä ja Fingrid ilmoitti lisäävänsä valmiuttaan kiristyvän sähköntasapainotilanteen vuoksi. Joustavan kulutuksen ansiosta tilanne ei ollut niin kireä kuin ennakoitiin.

TULEVAISUUS

- Suomen sähköntuotanto muuttuu merkittävästi lähivuosina.
- Fingridin riittävyysanalyysissä korostetaan sähkön riittävyyteen liittyviä mahdollisia haasteita erityisesti pidempien (päivistä viikkoihin) kylmien sääjaksojen ja alhaisen tuulivoimatuotannon aikana tai tuotantolaitosten tai rajasiirtoyhteyksien häiriöiden aikana.
- Huoltovarmuuskeskus on varannut Meri-Porin hiililauhdevoimalaitoksen reserviksi vakavien häiriöiden tai kriisitilanteiden varalle. Sopimus Fortumin kanssa on tehty ajalle 1.3.2024-31.12.2026.
- Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelmassa (20.6.2023) todetaan, että hallitus toteuttaa kustannustehokkaan kapasiteettimekanismin järjestelmätason sähkön riittävyyden tukemiseksi. Työ- ja elinkeinoministeriöllä (TEM) on asiassa vetovastuu.
- Julkisuudessa on keskusteltu ydinvoimalaitosten, kaasukäyttöisten huippuvoimalaitosten ja pumppuvesivoimalaitosten ottamisesta mukaan mahdolliseen tulevaan kapasiteettimekanismiin.

Vihreään siirtymään perustuva uusi teollisuus tarvitsee edullista hiilivapaata sähköä ollakseen kilpailukykyistä (esim. vihreän teräksen tuotanto¹)

TERÄKSEN TUOTANTOKUSTANNUSTEN JAKAUTUMINEN (EUR/T) 2030



KOMMENTIT

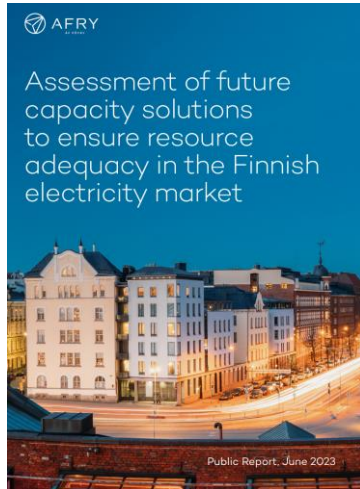
- Tällä hetkellä noin 60% EU:ssa tuotetusta teräksestä perustuu *masuuni/perushappiuni* (BF/BOF) -menetelmään, joka on määritelty Euroopan parlamentin tutkimuksessa.²
- Sama teräs soveltuu myös *raudan suorapelkistykseen vedyllä* (H-DRI), joka on vähäpäästöinen menetelmä.
- Tulevaisuuden ensisijainen menetelmä, jossa H-DIR ja *valokaariunit* (EAF) yhdistetään, on paljon sähköintensiivisempi kuin BF/BOF-menetelmä.
- Vähäpäästöisellä H-DIR/EAF-menetelmällä tuotetun terästön kokonaiskustannuksista ~46 % arvioidaan olevan sähkökustannuksia.
- Jotta vihreään teräksen tuotantoon voitaisiin siirtyä laajamittaisesti, teollisuuden on saatava käyttöönsä edullista hiilivapaata sähköä.

¹ Vihreä teräs on vain yksi esimerkki sähköintensiivisistä aloista - Muihin merkityksellisiin aloihin kuuluvat esimerkiksi sähköpolttoaineet.

² Lähde: *Hiilivapaa teräksen tuotanto*, Euroopan parlamentin tutkimuslaitoksen tutkimus, huhtikuu 2021.

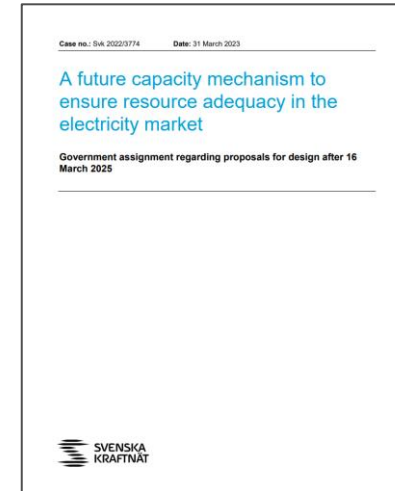
Suomessa ja Ruotsissa keskustellaan nyt avoimesti sähkömarkkinoiden kapasiteettimekanismeista

SUOMI



- AFRY:n paperi kesäkuussa 2023 (Fingridin pyynnöstä).
- Asiakirjassa määritellään kapasiteetin riittävyys Suomessa ja esitetään harkittavia yhteisten markkinajärjestelyjen vaihtoehtoja.
- Kestävän yhteisvalvontajärjestelmän lisäksi tarvitaan väliaikainen ratkaisu ennen vuotta 2027, jolloin tarvitaan kestävä ratkaisu.
- Nyt TEM:n työpöydällä seuraavia vaiheita varten

RUOTSI



- SvK:n (Svenska Kräfteföretag, Ruotsin kantaverkkoyhtiö) paperi maaliskuussa 2023
- Ruotsin hallitus antoi SvK:lle tehtäväksi ehdottaa yhteistuotantojärjestelmiä Ruotsin tehoreservin korvaajaksi.
- SvK ehdotti, että CRM otetaan käyttöön koko markkinoilla vuoteen 2025 mennessä.
- SvK totesi, että markkinoiden laajuinen yhteinen markkinajärjestely ei todennäköisesti ole käytössä nykyisen tehoreservin päättymiseen mennessä - tarvitaan myös väliaikainen ratkaisu.

Energiajärjestelmän uudistuksia valmistellaan myös EU-tasolla kuluttajien suojaksi, kilpailukyvyn lisäämiseksi ja vihreän siirtymisen tukemiseksi

§

- **Sähkömarkkinauudistus (EMR)** on kokoelma Euroopan komission ehdotuksia, jotka julkaistiin 14. maaliskuuta 2023
- Siinä suunnitellaan muutoksia nykyisiin asetuksiin, kuten **sähköasetukseen, sähködirektiiviin ja REMIT-asetukseen**



EU-KULUTTAJIEN SUOJELU

- Energiakriisi paljasti, miten alttiita kuluttajat ovat spot-markkinahinnoille ja fossiilisten polttoaineiden lyhyen aikavälin kustannuksille
- Tavoitteena on, että kuluttajat olisivat paremmin suojattuja epävakaita (ja korkeita) sähkön hintoja vastaan



TEOLLISUUDEN KILPAILUKYVYN LISÄÄMINEN

- Varmistetaan eurollaiselle teollisuudelle puhtaan ja kohtuuhintaisen energian saanti, sekä sähköistyminen mahdollisuuksien mukaan



LISÄÄ ENERGIAA UUSIUTUVISTA LÄHTEISTÄ

- Tähän aiotaan päästä lisäämällä uusiutuvia energialähteitä¹ ja sopimuksilla, jotka sekä suojaavat uusiutuvia energialähteitä alhaisilta hinnoilta ja hintavaihteluilta että toimivat samalla kysynnän suojauksena
- Spot-markkinoiden marginaalihinnoittelufilosofiaan ei kuitenkaan ehdoteta muutoksia, eikä lyhyen aikavälin hinnannuodostukseen puututa

Sekä Suomi että Ruotsi päivittävät ydinvoimasäntelyään helpottaakseen uuden kapasiteetin käyttöönottoa

- Ydinvoiman säntely seuraa usein ydinvoiman yhteiskunnallista hyväksyntää. Onnettomuuksien jälkeen ydinvoiman nykyistä ja tulevaa tuotantoa koskevia sääntöksiä päivitetään usein. Historiallisesti sääntelyn muutosten vaikutus suomalaisen ydinvoiman tuotantokapasiteetin kehitykseen on ollut vähäinen.
- Sekä Suomi että Ruotsi ovat parhaillaan päivittämässä kansallista ydinvoimasäntelyään. Tulevien päivitysten tarkoituksena on sujuvoittaa pienydinvoimaloiden (SMR)¹ toteuttamista ja markkinoille pääsyä sekä perinteisen laajamittaisen ydinvoiman käyttöönottoa tulevaisuudessa. Kansallisella säntelyllä voidaan vaikuttaa tähän erityisesti lupien myöntämisen kautta.
- Hallituksen mielipiteet Suomessa ja Ruotsissa nykyisten ydinvoimalalupien laajentamiseen ovat positiivisia. Myös uusia lupia tullaan myöntämään, mikäli ehdot täyttyvät, ja hallitukset saattavat olla valmiita takaamaan lainoja uusille projekteille
- Viime aikoina Euroopan unioni on myös pyrkinyt antamaan ohjeita standardoinnista, toimittajaverkostojen vahvistamisesta ja ydinvoimatuotantoon liittyvästä rahoituksesta. Lisätyötä kuitenkin tarvitaan, jos tavoitteena on yhtenäistää tehokkaasti jäsenvaltioiden erilaiset kansalliset lainsäädännöt.

¹Small Modular Reactor



Ydinvoimaa pidetään kestäväenä ja siten osana EU:n taksonomiaa, toistaiseksi tiukoin ehdoin, jotka Suomi täyttää

EU:n taksonomia yhdenmukaistaa sitä, mitä voidaan pitää kestäväenä, ohjaten siten uusia investointeja

Väitely ydinvoiman sisällyttäminen

- EU:n yhteinen tutkimuskomissio ja muut riippumattomat asiantuntijaryhmät pitivät ydinvoimaa kestäväenä samoin perustein kuin muitakin kestäviä ratkaisuja.
- Ympäristöaktivistit haastoivat Euroopan komission oikeuteen (18. huhtikuuta 2023) ydinvoiman sisällyttämisestä "vihreisiin" investointeihin.

Ydinvoiman sisällyttämiselle on rajoituksia

- T&K-toiminta ja edistyneen teknologian käyttöönotto sisältyvät rajoituksetta.
- Olemassa olevien ydinlaitosten käyttöiän pidentämiseen tähtäävät muutokset ja parannukset tunnustetaan vuoteen 2040 asti.
- Uusien ydinvoimalaitosten rakennushankkeiden on perustuttava parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan vuoteen **2045** asti (**rakentamisluvan hyväksymispäivä**).

Pyhäjoelle rakennettavan uuden ydinvoimalan on saatava hyväksyntä **ennen vuotta 2045**

Tämän aikataulun vuoksi ydinenergiaa pidetään **siirtymävaiheen** ratkaisuna.

Ydinvoiman sisällyttämiselle asetetaan tiukat ehdot, jotka Suomi täyttää.

- Elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen on oltava alle 100 g CO₂e/kWh.
- Vuodesta 2025 alkaen nykyisissä ja uusissa rakennushankkeissa on käytettävä onnettomuuksia kestävää polttoainetta, jonka kansallinen sääntelyviranomaisen on sertifioinut ja hyväksynyt.
- Jätehuoltoon ja käytöstäpoistoon on varattava resursseja.
- Toimintakapasiteetin on oltava olemassa matala- ja keskiaktiivisten jätevirtojen loppusijoitusta varten.

Edellytykset täyttyvät vain **Suomessa**, Ranskassa ja Ruotsissa, mikä johtuu pääasiassa korkea-aktiivisen ydinjätteen loppusijoituslaitosten valmiudesta.

Suomella on Euroopan unionissa vahva asema ydintaksonomian alalla, koska se on jo varhain investoinut loppusijoituspaikkaan.

Toistaiseksi vain pienet modulaariset reaktorit (SMR) ja kehittyneet ydinteknologiat voivat hyötyä Net Zero Act -puitteista

- 13.03.2023 komissio ehdotti Net-Zero Industry Act -aloitetta puhtaan teknologian valmistuksen lisäämiseksi EU:ssa . Euroopan parlamentti voi vielä muuttaa nykyistä lakiluonnosta.
- Lainsäädäntöehdotuksessa määriteltiin teknologiat, jotka edistävät dekarbonisaatiota. Niihin kuuluvat mm. kehittyneet, ydinprosesseista energiaa tuottavat teknologiat, jotka minimoivat polttoainekierrosta syntyvän jätteen, pienet modulaariset reaktorit sekä näihin liittyvät edistyneimmät polttoaineet. Nämä teknologiat hyötyvät Net zero -säädoskehuksesta, jossa on kolme akselia:

**Nettonolla-
teknologioita
koskevan
sääntely-
kehityksen
yksinkertais-
taminen**

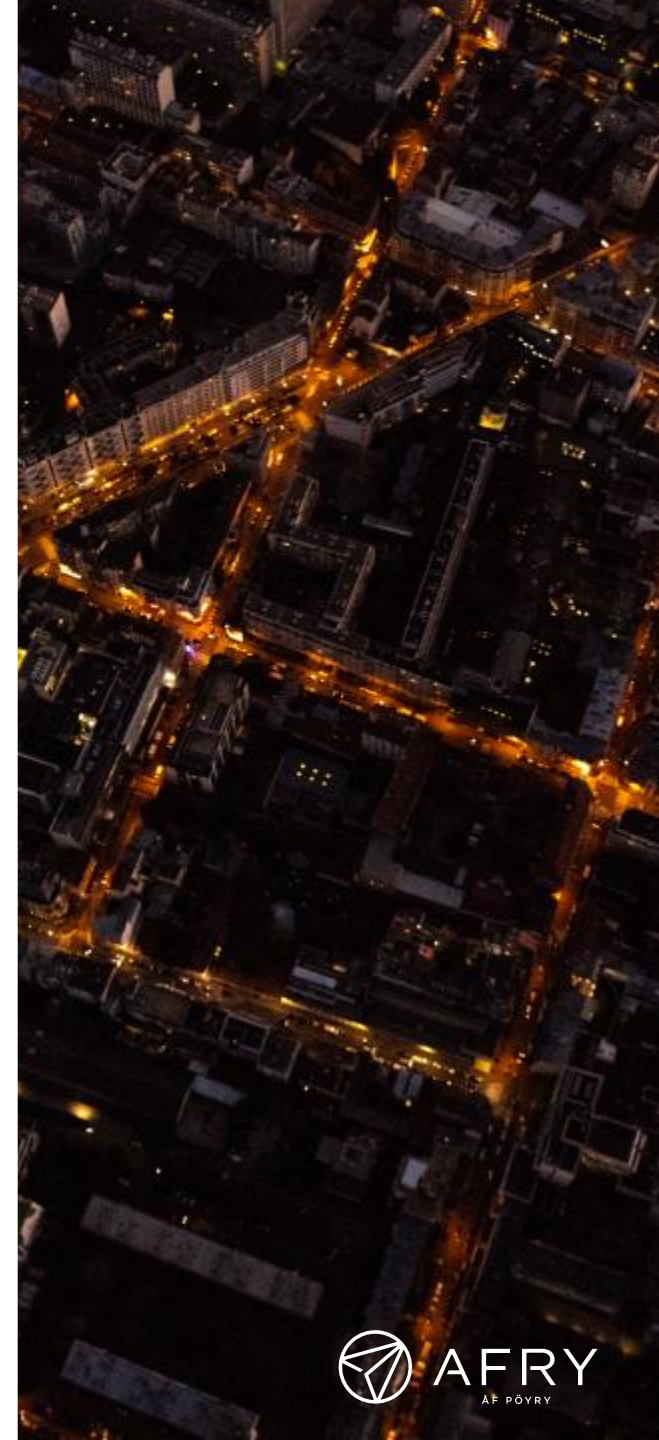
**Nettonolla-
teknologioiden
valmistuksen
lisääminen**

**Kilpailu-
kykyisen ja
resilientin
eurooppa-
laisen
nollapäästö-
teollisuuden
edistäminen**

- Tällä hetkellä tarvitaan enemmän tulevaisuuteen suuntautuvaa analyysia standardoinnista sekä erilaisia tulevaisuuden skenaarioita kartoittavia analyysejä. Esimerkiksi seuraavia aiheita olisi tarkasteltava: ylikansallinen toimija, joka voisi edistää standardointia, EU:n ohjaaman standardoinnin riskit, standardoinnin vaikutus teknologian toimittajiin, SMR-teknologian vaikutukset, uudet toimittajaverkostot EU:n ulkopuolella ja EU:n suhtautuminen EU:n ulkopuolisiin toimijoihin.
- Ranskan hallitus ajaa kaikkien ydinteknologioiden sisällyttämistä tähän uuteen teollisuussuunnitelmaan, koska kehittyneet teknologiat eivät ole vielä valmiita markkinoille.

Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
 - 3.1 Vakaan energiantuotannon tarpeet
 - 3.11 Suomi
 - 3.12 Ruotsi
 - 3.2 Sähkömarkkinoiden malli ja näkymät
 - 3.3 Vedyn kysyntä ja käyttötapaukset
 - 3.31 Vetyä koskevat EU:n ja kansalliset tavoitteet
 - 3.32 Vety- ja PtX-hankkeiden tilanne Suomessa ja Pohjois-Ruotsissa
 - 3.33 Uusiutuvaa energiaa ja ydinenergiaa koskevat EU:n asetukset PtX:n osalta
 - 3.34 Vaihtoehtoiset energiakonseptit Pyhäjoelle (mukaan lukien vety)
4. Teknologiakatsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan



EU:n ja kansallisen tason tavoitteet vedylle

Vedyn kysyntä ja käyttö

Euroopan komissio on asettanut kunnianhimoiset tavoitteet Euroopan vedyntuotannolle vetystrategiassaan ja RePowerEU-aloitteessaan

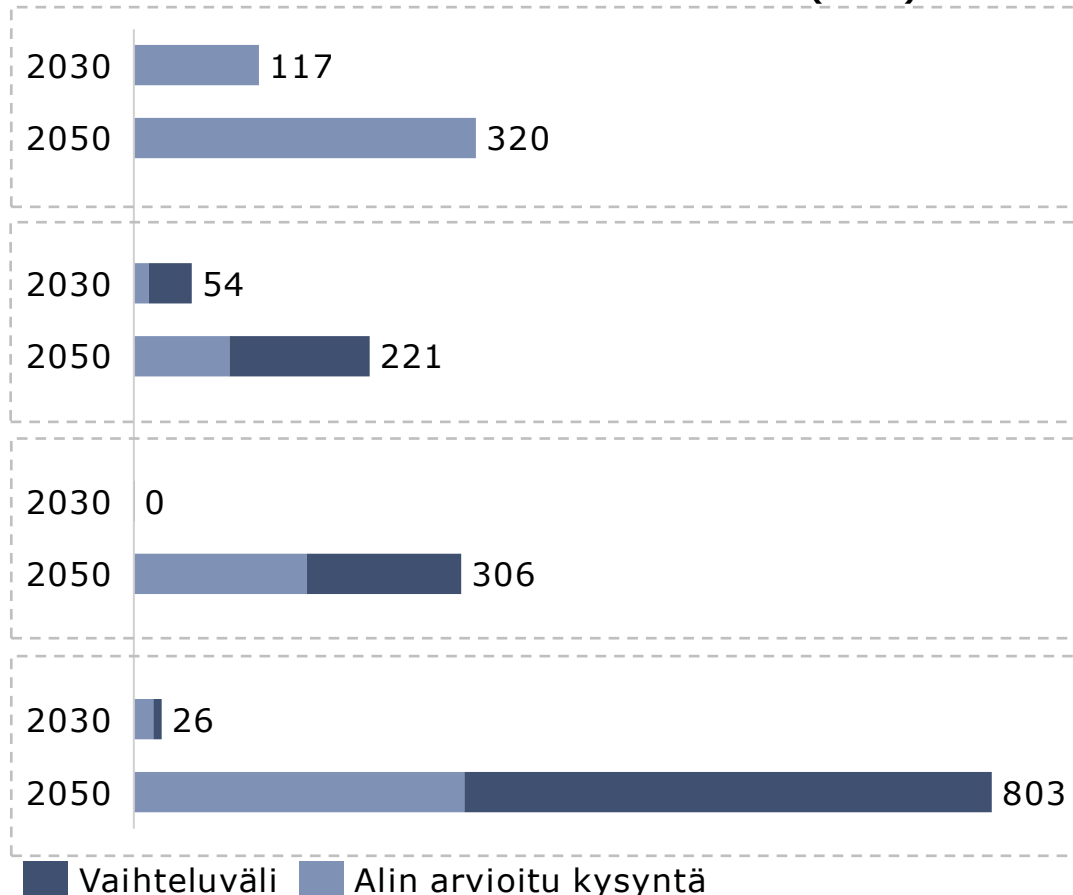
- Euroopan komission vuonna 2020 julkaiseman "**ilmastoneutraalin Euroopan vetystrategian**" mukaan EU pitää vetyä parhaiten yhteensopivana vaihtoehtona EU:n ilmastoneutraaliuden kanssa. Siksi EU:n ensisijaisena tavoitteena on kehittää uusiutuvaa vetyä, joka tuotetaan uusiutuvalla energialla. Ensimmäisessä vaiheessa, vuodesta 2020 vuoteen 2024, strategisena tavoitteena on asentaa vähintään 6 GW uusiutuvan vedyn elektrolyysereitä ja tuottaa jopa miljoona tonnia uusiutuvaa vetyä, jotta EU:n nykyinen vedyntuotanto saataisiin hiilettömäksi.
- AFRY:n arvioiden mukaan miljoonan tonnin H₂-tavoite edellyttäisi 11 GW merituulikapasiteettia.
- Toisessa vaiheessa, vuosina 2025-2030, EU:n "**vetystrategia ilmastoneutraalia Eurooppaa varten**" tähtää siihen, että vedystä tulee olennainen osa integroitua energiajärjestelmää, ja strategisena tavoitteena on asentaa vähintään 40 GW uusiutuvan vedyn elektrolyysereitä vuoteen 2030 mennessä ja tuottaa EU:ssa jopa 10 miljoonaa tonnia uusiutuvaa vetyä. REPowerEU:n tavoitteena on tuottaa EU:n sisällä 10 miljoonaa tonnia uusiutuvaa vetyä ja tuoda 10 miljoonaa tonnia uusiutuvaa vetyä vuoteen 2030 mennessä.
- Vuoteen 2030 mennessä kaikki jäsenvaltiot sisällyttävät vedyn kansallisiin energia- ja ilmastosuunnitelmiinsa.



Lähteet: REPowerEU, 2022; Vetystrategia, 2020. Huomautuksia: 1. Perustuu AFRY:n arvioihin. 2. Edellyttää verkon tasapainottamista ja/tai akkuvarastoja, jotta saavutetaan elektrolyysikapasiteettiin ja tuotantotavoitteisiin perustuvat kuormitusasteet.

Vedyn kysynnän ennustetaan kasvavan koko EU:ssa vuoteen 2050, jolloin sen osuuden energian kokonaiskysynnästä arvioidaan olevan 18-34 prosenttia¹

VEDYN KYSYNTÄ SEKTOREITTAIN EUROOPASSA (TWH)



KESKEISET AJURIT

Teollisuus



- Harmaan vedyn korvaaminen 117 TWh:n edestä vuoteen 2030 mennessä
- Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen joillakin korkeaa lämpötilaa vaativilla teollisuudenaloilla
- Uudet käyttökohteet teräs- ja kemianteollisuudessa

Liikenne



- Raskaat kuorma-autot, pitkän matkan tavaraliikenne, linja-autot ja junat.
- Merenkulku ja merirahti (ammoniakki, metanoli, metaani)
- Ilmailu (synteettiset polttoaineet)

Energia-ala



- Strateginen rooli: sähköjärjestelmiin joustavuutta ja turvallisuutta pitkän ja lyhyen aikavälin varastoinnin avulla.
- Ylimääräisen uusiutuvan energiantuotannon hyödyntäminen.
- Vedyn suoraa käyttöä sähköntuotannossa ei ole näkyvissä Pohjoismaissa.

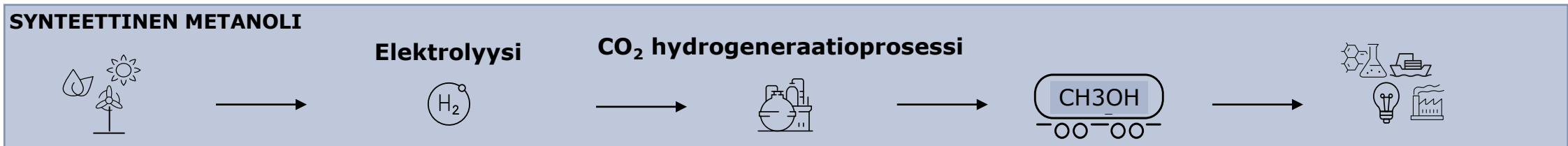
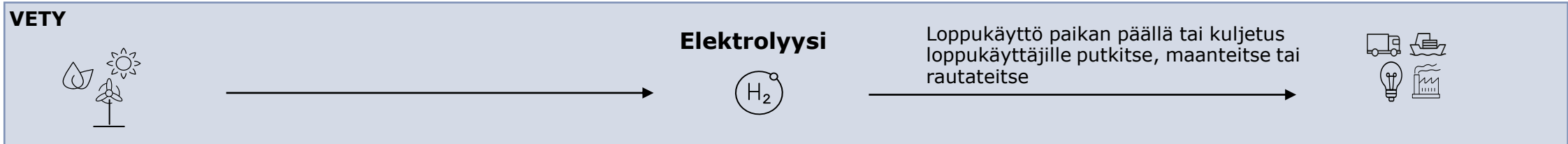
Lämmitys



- Tilojen lämmitys vetykattiloilla tai hybridilämpöpumpuilla kaasun ja muiden fossiilisten polttoaineiden korvaamiseksi.
- Tilojen lämmitys vedyllä on keskeinen epävarmuustekijä, eikä sitä ole vielä näkyvissä Pohjoismaissa.

1) Kansainvälisen energiajärjestön laatimat EU:n tason skenaariot

Vetyä voidaan käyttää suoraan teollisuusprosesseissa (teräksenvalmistus, öljynjalostus, lämmöntuotto) tai jalostettuna kemikaaleiksi/polttoaineiksi (ns. PtX)



Kansalliset vetystrategiat eroavat toisistaan Pohjoismaissa

Norja Hiilineutraalius 2030 mennessä



- Ei lopullisia tavoitteita elektrolyysierikapasiteetille
- TKI-tuki merenkulun ja raskaan maantieliikenteen hankkeille
- Yhteistyö muiden maiden kanssa

Ruotsi Hiilineutraalius 2045 mennessä



- Elektrolyysierikapasiteetti 5 GW vuoteen 2030 mennessä
- 10 GW lisää vuoteen 2045 mennessä
- Kotimaisen teollisuuden toimitusten painotus

Tanska Hiilineutraalius 2050 mennessä



- Elektrolyysierikapasiteetti 4-6 GW vuoteen 2030 mennessä
- Viennin painottaminen

Suomi Hiilineutraalius 2035 mennessä



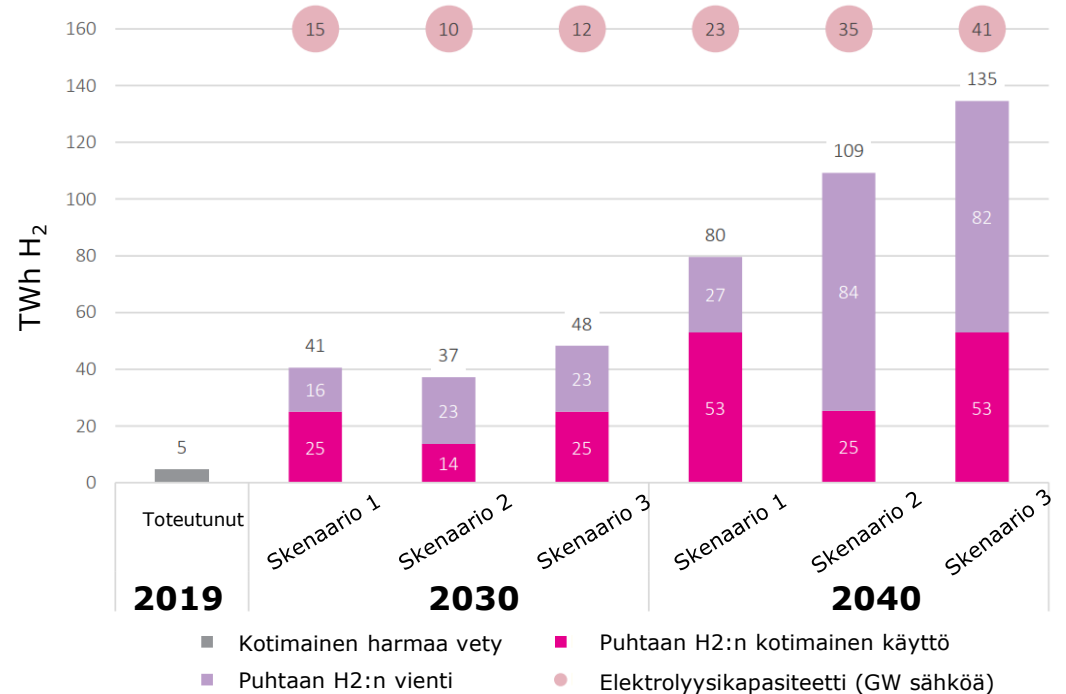
- Elektrolyysierikapasiteetti 1 GW vuoteen 2030 mennessä
- E-polttoaineiden sekoitusvelvoitteet vuodesta 2023 alkaen ja nostetaan 3 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.
- Painotetaan ensisijaisesti toimituksia kotimaiseen teollisuuteen ja toissijaisesti vientiin.
- Suomen uusi hallitus esittää päivitettyä kansallista vetystrategiaa eduskunnalle keväällä 2024.

Suomella on potentiaalia kattaa pitkällä aikavälillä maan kotimainen vedyn kysyntä sekä 10 prosenttia Euroopan PtX-markkinoista

FINGRID-GASGRID-SKENAARIOIDEN TAUSTA

- Fingrid ja Gasgrid julkaisivat toukokuussa 2023 skenaariot Suomen tulevasta energiainfrastruktuurista, joissa on huomioitu investoinnit sekä sähköistämiseen että vetytalouteen.
- Kaikkiin kolmeen julkaistuun skenaarioon sovelletaan seuraavia oletuksia:
 - Uusiutuva vety korvaa kokonaan Suomessa käytetyn harmaan vedyn ja terästeollisuus tarjoaa vedylle uuden käyttökohteen.
 - Aurora Line eli Ruotsin ja Suomen välinen sähkönsiirtolinja on käytössä.
 - Suomen ja Pohjois-Ruotsin välille otetaan käyttöön vedyn siirtoputki, niin kutsuttu Nordic Hydrogen Route, sekä useita kotimaisia vetyputkia ja vedyn varastointilaitoksia.
- Edellä esitetyn lisäksi skenaariokohtaisesti sovelletaan seuraavia oletuksia:
 - Skenaario 1. Suomi tuottaa ja vie vetyä sekä PtX:ää myös Ruotsiin
 - Skenaario 2. Suomi vie vetyä myös Ruotsiin ja Keski-Eurooppaan
 - Skenaario 3. Suomi tuottaa ja vie vetyä sekä PtX:ää myös Ruotsiin ja Keski-Eurooppaan
- Kaikissa skenaarioissa ennustetaan, että elektrolyysikapasiteetti on v. 2030 mennessä **10-15-kertainen nykyiseen 1 GW:n kansalliseen tavoitteeseen verrattuna**. Näin ollen oletettu muutosnopeus on huomattavasti nopeampi kuin mitä Suomen nykyisessä energia- ja ilmastostrategiassa oletetaan.

FINGRID- JA GASGRID-SKENAARIOT VUOTEEN 2040 ASTI



Päätelmät

- Suomella on suuri potentiaali kehittyä PtX:n ja vedyn tuottajaksi sekä kotimaiseen loppukäyttöön että vientiin.
- Fingrid- ja Gasgrid-skenaariot perustuvat oletukseen, että Suomi voisi saavuttaa 10 prosentin osuuden Euroopan vety- ja PtX-markkinoista. Tämän tason saavuttaminen on vielä epävarmaa, koska investointipäätöksiä teollisen mittakaavan vetyhankkeista ei ole vielä tehty (lukuun ottamatta P2X Solutionsin 20 MW:n hanketta Harjavallassa) ja koska on epäselvää, kuinka suuri osa ehdotetusta tuulivoimakapasiteetista voi saada toteutusluvan.
- Vaikka Suomen tulevan vedyntuotannon laajuuteen liittyy epävarmuutta, Suomella on erittäin hyvä asema kansainväliseen kilpailuun vetyhankkeista, koska Suomella on tavoitteet hiilineutraaliudelle, sen siirtoverkonhaltijat ovat sitoutuneet rakentamaan lisää infrastruktuuria tarpeen mukaan ja hiilidioksidineutraali sähköntuotanto tarjoaa valtavat kasvumahdollisuudet.
- Arvioitu ajoittaisen sähköntuotannon voimakas lisääntyminen aiheuttaa tarvetta keskustella tulevaisuuden sähköjärjestelmän tasapainottamisesta sekä vakaan sähköntuotannon roolista tässä yhteydessä.

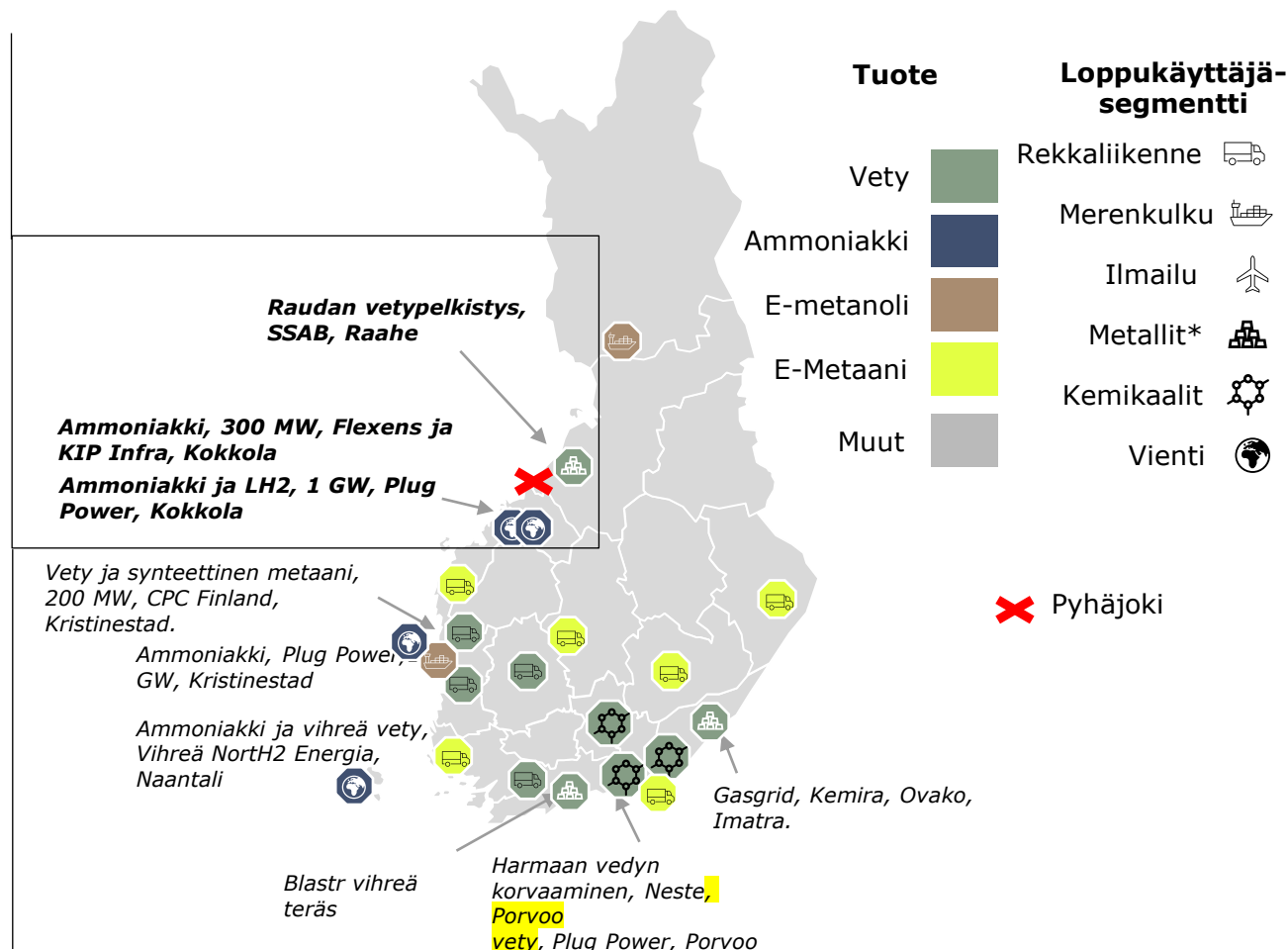
Vety- ja PtX- hankkeiden tilanne Suomessa ja Pohjois-Ruotsissa

Vedyn kysyntä ja käyttö

Suomessa julkisesti ilmoitetut hankkeet keskittyvät dekarbonisaatioon teräs- ja kemianteollisuudessa sekä ammoniakkin, vedyn, metaanin ja metanolin tuotantoon

Hankkeet Pyhäjoen ympäristössä

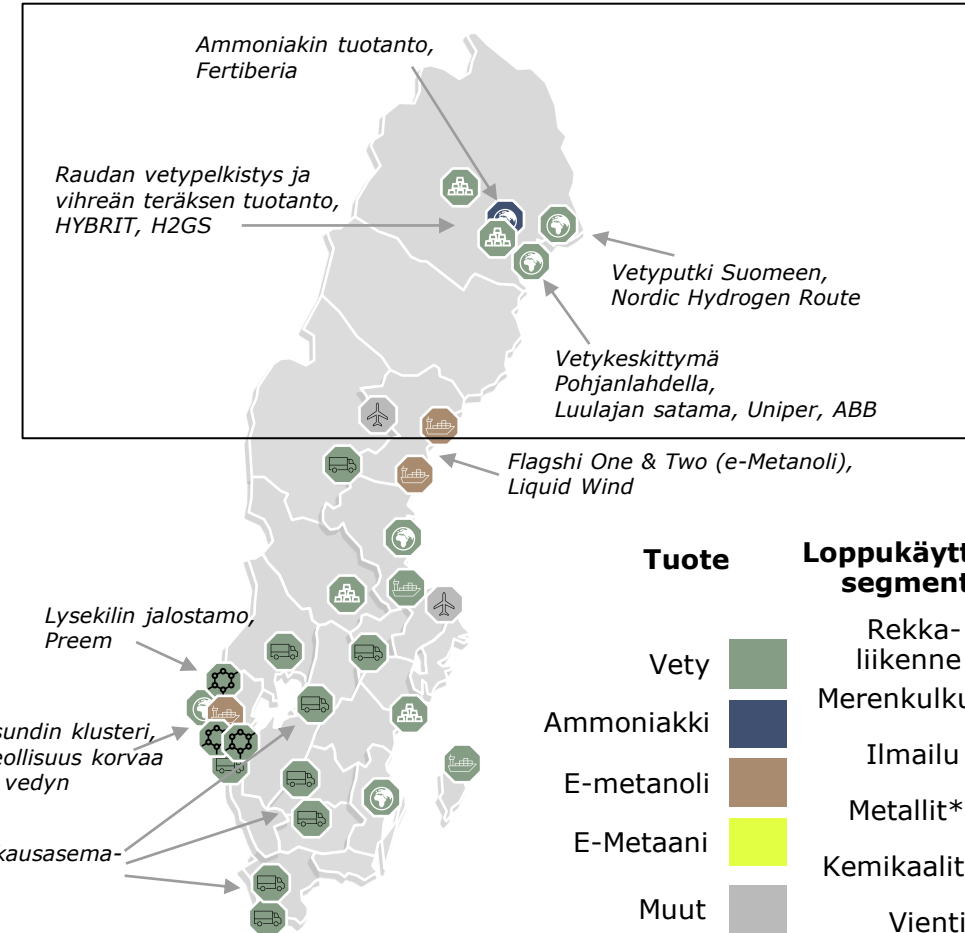
- SSAB ilmoitti 5.6.2023 käynnistävänsä FEED-tutkimuksen selvittämään vetylaitoksen rakentamista Raaheen, jossa vetyä käytettäisiin paikallisesti raudan pelkistämiseen.
- Kokkolan kemianteollisuuden ekosysteemissä on kymmeniä kemian- ja metallinjalostuslaitoksia
- Kokkolan sataman valmius, infrastruktuuri ja raskaan kemian keskittymä tekivät Kokkolasta houkuttelevan keskuksen vety- ja ammoniakkituotannolle paikalliseen käyttöön ja vientiin.
 - Flexensin (suomalainen startup) vihreän vedyn ja **ammoniakin** tuotantohanke Kokkolassa ilmoitti aloittavansa toimintansa vuoteen 2027 mennessä 300 MW:n laitospäivätyöllä, tehden siitä Suomen suurimman vetyhankkeen. Osa tuotetusta vedystä kuljetettaisiin vedynsiirtoverkon kautta **Nordic Hydrogen Routelle**, johon kuluttajat olisivat liittyneenä. Flexens ja Gasgrid aikovat kehittää tarvittavan paikallisen vetyinfrastruktuurin Kokkolassa.
 - Plug Power (USA) ilmoitti 30.5.2023 1 GW:n Kokkolan elektrolyyseri-hankkeesta, jossa tuotetaan nestemäistä vetyä ja **ammoniakkia vientiin Kokkolan sataman kautta** sekä mahdollisesti paikalliseen teollisuuskäyttöön.



Pohjois-Ruotsissa vetyhankkeet keskittyvät Luulajan ja Bodenin alueelle, jossa keskitytään vihreän teräksen tuotantoon

Pohjois-Ruotsin hankkeet

- Ruotsin pohjoiset vedyntuotantomarkkinat keskittyvät vihreään terästeollisuuteen sekä ammoniakin ja metanolin tuotantoon Luulaja-Bodenin alueella, jossa on saatavilla uusiutuvaa sähköä. Luulaja-Bodenin alue liitetään pohjoismaiseen vetyreittiin.
- HYBRIT-aloite on vauhdittanut kansainvälistä teknologiakehitystä raudan vetytelkistyksessä ja vihreän teräksen tuotannossa. **LKAB** aikoo tuottaa vetyä, jota tarvitaan rautasiemenin valmistuksessa. Rautasiementä taas jalostetaan SSAB:in toimesta vihreäksi teräkseksi. H2GS aikoo tuottaa vetyä **1GW:n** elektrolyysillä ja tuottaa samalla paikalla sekä vihreää rautaa että vihreää terästä.
- Green Wolverine -hanke, joka koskee 600 MW:n elektrolyyseria käyttävää ammoniakin tuotantolaitosta, on suunniteltu otettavaksi käyttöön vuoteen 2026 mennessä, ja siinä ammoniakkia jalostettaisiin lannoitteiksi ja muiksi teollisuustuotteiksi.
- Vetytankkausasemaverkostojen rakentaminen useisiin kuntiin, kuten pohjoisessa sijaitsevaan Trelleborgiin, on myös suunnitteilla.
- Useita e-metanolilaitoksia on jo rakenteilla.
- Joitakin pienimuotoisia vedyntuotantoa koskevia pilottihankkeita, jotka **liitetään suoraan uusiutuviin energialähteisiin**, on kehitteillä.



Gasgrid Finland kehittää aktiivisesti kotimaisia ja kansainvälisiä vetyputkihankkeita

KÄYNNISSÄ OLEVAT ESISELVITYKSET

- Suomen ja Ruotsin tärkeimmät kaasuverkko-operaattorit Gasgrid Finland ja Nordion Energi käynnistivät keväällä 2022 **Nordic Hydrogen Route -hankkeen**, jonka tarkoituksena on rakentaa noin 1000 kilometrin pituinen rajat ylittävä vetyninfrastruktuuri Perämeren alueelle.
 - NHR sijaitisi nykyisessä mallissaan Perämeren rannikolla ulottuen Ruotsin Lapissa sijaitsevaan Kiirunaan.
 - Lopullinen investointipäätös on tarkoitus tehdä vuonna 2024 ja käyttöönotto vuoteen 2030 mennessä.
- Kuusi eurooppalaista siirtoverkonhaltijaa allekirjoitti talvella 2022 yhteistyösopimuksen **Nordic-Baltic Hydrogen Corridorin** kehittämiseksi.
 - Tämä vetyputkiverkosto yhdistäisi Etelä-Suomen Baltian, Puolan ja Saksan kaasuverkkoihin.
- Talvella 2022 suomalaiset ja ruotsalaiset siirtoverkonhaltijat sekä teollisuusyritykset OX2 AB ja Copenhagen Infrastructure Partners käynnistivät **Baltic Sea Hydrogen Collector- hankkeen**.
 - Tämä 1000 kilometrin pituinen meriputki yhdistäisi vedyn offshore- ja onshore-tuotannon sisämaahan Suomessa, Ruotsissa ja Saksassa.

Lähde: Gasgrid Finland, 2023

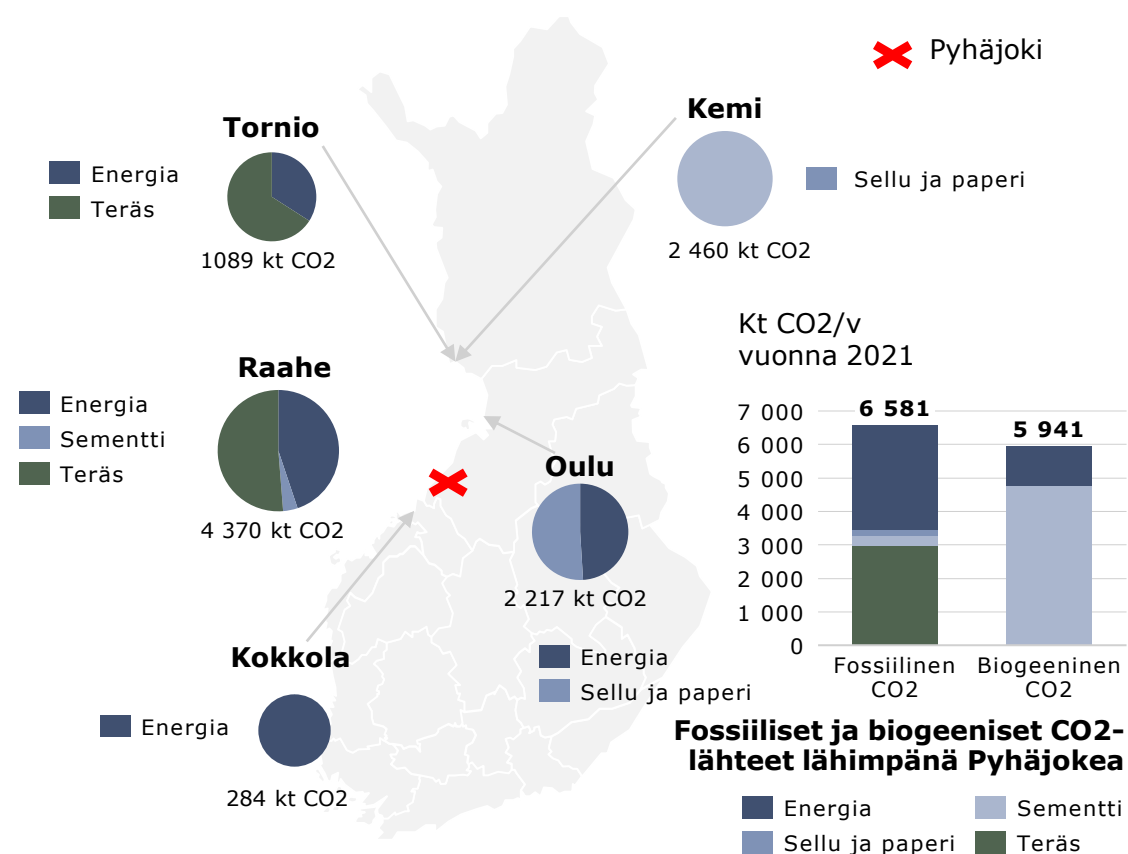
GAGRID FINLANDIN VETYPUTKIHANKKEET VUONNA 2023



Suurimmat CO₂ -lähteet löytyvät tällä hetkellä Raahesta ja Oulusta lämpöenergian tuotannosta ja teräksen valmistuksesta

- Hiilidioksidivirtojen saatavuus suurina pitoisuuksina on tärkeä parametri valittaessa lupaavinta paikkaa PtX:n tuotannolle, koska teknologiat hiilen talteenotolle ilmasta ovat vielä lapsenkengissä ja kalliimpia kuin CCU hiilidioksidilähteestä.
- Alueen suurimmat pistemäiset CO₂ -päästöjen aiheuttajat ovat:
 - SSAB Europe Oy:n terästehdas Raahessa
 - Energiantuottaja Raahen Voima Oy
 - Stora Enso Oyj:n sellu- ja paperitehdas Oulussa
 - Oulun Energia Oy:n energiantuotantolaitokset
 - Outokumpu Stainless Oy Torniossa
- Synteettisiä hiilivetypolttoaineita voitaisiin valmistaa juuri niissä paikoissa Raahessa, Oulussa ja Torniossa, joissa hiilidioksidipäästöt ovat suuria
- Pyhäjoki ei ole suuri hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja. CO₂ olisi kuljetettava putkella tai kuorma-autoilla päästökohteista (Raahes, Oulu ja Tornio) Hanhikivelle, mutta CO₂-kuljetustekniikkaa ei ole vielä käytössä.
- **CO₂-päästöjen odotetaan vähenevän asteittain:**
 - Energiantuotanto on edelleen suurimmat hiilidioksidipäästöt omaava toimiala (enimmäkseen fossiilisia). Dekarbonisaatio ei kuitenkaan perustu hiilidioksidin talteenottoon vaan päästöjen vähentämiseen fossiilivapaiden polttoaineiden avulla. Ennen vuotta 2030 energiantuotannon hiilidioksidipäästöt vähenevät.
 - Raahen ja Tornion terästuotanto aikoo luopua raaka-aineena ja polttoaineena käytettävistä fossiilisista polttoaineista ja korvata ne vedyllä ja biokaasulla.

CO₂-lähteet Pyhäjokea lähinnä olevissa kohteissa



Lähteet : AFRY:n analyysi, joka perustuu E-PRTR-tietokannasta saatuihin **vuoden 2021** päästötietoihin, CCU: Carbon Capture and Utilisation (hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen).

Päätelmät

- Suomeen on suunnitteilla toisiaan lähellä olevia vety-/PtX-hankkeita Raahessa SSAB:n toimesta ja Kokkolassa Flexensin ja Plug Powerin toimesta.
- Muita hankkeita löytyy suunnitellun Nordic Hydrogen Route- vetyputken varrelta:
 - Oulu, Kemi, Tornio (hankkeita ei ole ilmoitettu, mutta ne ovat mahdollisia, koska CO₂-päästöjä on saatavilla raaka-aineeksi)
 - Luulaja (Botnialänken H₂-hanke vedyn tuottamiseksi tuulivoimalla, Green Wolverine -hanke ammoniakkin ja vihreän lannoitteen tuottamiseksi, H₂ Green Steel -hanke vihreän vedyn ja vihreän teräksen tuottamiseksi)
 - Skellefteå (Flagship Four, joka tuottaa vetyä ilmailualalle).
 - Kiiruna (LKAB aikoo tuottaa vetyä raudan pelkistykseen)
- Vielä ei ole selvää, miten edellä mainitut hankkeet aikovat tuottaa tai hankkia tarvitsemansa sähkön ja vedyn.

EU:n uusiutuvaa energiaa ja ydinenergiaa koskevat asetukset PtX:lle

Vedyn kysyntä ja käyttö

EU:n vetyregulaatio on vielä viimeisteltävänä

VETYREGULAATIO

- Vetyä koskevaa EU-regulaatiota ei ole vielä saatu valmiiksi, vaikka Euroopan komissio on esittänyt asiaa koskevat ehdotuksensa. Tämä koskee seuraavia näkökulmia:
 - Mikä luetaan "puhtaaksi vedyksi"? Tarvittavat ohjedokumentit ovat vielä työn alla ja delegoitu säädös "vähähiilisestä vedystä" on vielä julkaisematta.
 - EU:n tavoitteet synteettisten polttoaineiden ja vedyn käytölle liikenteessä ja teollisuudessa.
 - Vetyputkistoja ja vetymarkkinoita koskeva sääntely (lakipaketti kaasuista ja vedystä valmistuu pian).
 - Vedyn alkuperätakuita koskeva standardi.

VETYYN LIITTYVÄ YDINVOIMAREGULAATIO

- Ydinvoimaa koskevissa EU:n säännöksissä on keskitytty lähinnä turvallisuusnäkökohtiin.
- Ydinvoima ei ole ollut keskeisellä sijalla vetyyn liittyvässä regulaatiossa.
 - Ydinenergiaa ei sisällytetty REPowerEU-suunnitelmaan, vaikka suunnitelman tavoitteena on vähentää riippuvuutta kaasusta sähköistämällä erinäisiä järjestelmiä.
 - Ydinvoima-alan erityismainintoja ollaan parhaillaan sisällyttämässä.
 - Ensimmäinen askel oli virallisen kestävä kehityksen aseman myöntäminen ydinenergialle.

Yhteenveto EU:n keskeisestä vetyyn liittyvästä lainsäädännöstä (1/2)

Lainsäädäntö	Tilanne	Tarkoitus	Vaikutukset vedylle ja RFNBO:ille
Direktiivi uusiutuville energialähteille (nykyinen nimi RED II)	Voimassa vuodesta 2021 alkaen	<ul style="list-style-type: none"> 32% uusiutuvaa energiaa v. 2030 mennessä, josta alatavoitteena 14% liikenteessä Alkuperätakuut pakollisia energia-alalla Uusiutuvien nestemäisten ja kaasumaisten liikennepolttoaineiden (RFNBO) käytöstä aiheutuvien GHG-päästövähennysten on oltava vähintään 70% vuodesta 2020 alkaen. 	<ul style="list-style-type: none"> Jäsenvaltioiden on asetettava polttoaineen toimittajille velvoite, jonka mukaan uusiutuvien energialähteiden osuus liikenteen energian loppukulutuksesta on vähintään 14%. Jäsenvaltiot luovat oman politiikkansa RED II -tavoitteiden saavuttamiseksi, ja niillä on vapaus asettaa korkeampia tavoitteita.
RED III	Lopullinen versio julkaistiin 31.10.2023 EU:n virallisessa lehdessä	<p>Uusiutuvan energian osuus EU:n kokonaisenergiankulutuksesta 45 prosenttiin.</p> <ul style="list-style-type: none"> Liikenneala Jäsenvaltiot voivat valita seuraavien vaihtoehtojen välillä: <ul style="list-style-type: none"> sitova tavoite vähentää liikenteen GHG-päästöjen intensiteettiä vähintään 13% uusiutuvien energialähteiden käytöllä v. 2030 mennessä, TAI Sitova tavoite, jonka mukaan uusiutuvien energialähteiden osuus liikenteen energian loppukulutuksesta on vähintään 29% vuoteen 2030 mennessä. Vähimmäisvaatimus, jonka mukaan RFNBO:n osuus liikennesektorille toimitettavasta uusiutuvasta energiasta on 1 prosentti vuonna 2030. Teollisuus <ul style="list-style-type: none"> Teollisuus lisää uusiutuvan energian käyttöä vuosittain 1,6%. 42% teollisuudessa käytetystä vedystä olisi oltava RNFBO-peräistä vuoteen 2030 mennessä ja 60% vuoteen 2035 mennessä. 	<ul style="list-style-type: none"> Jäsenvaltioiden välinen vetykauppa on ratkaisevan tärkeää, jotta jäsenvaltiot voivat saavuttaa uusiutuvalla energialle asetetut tavoitteensa. Uusiutuvia polttoaineita, myös vetyä, koskevien alkuperätakuiden keskittäminen unionin laajuiseen tietokantaan Teollisuuden ja liikenteen kunnianhimoiset tavoitteet lisäävät uusiutuvien polttoaineiden kysyntää.
Väliaikainen sopimus: FuelEU Maritime Initiative	Väli-aikainen sopimus saavutettu 23.3.2023, EU ETS:lle relevantit osat valmiina	<ul style="list-style-type: none"> Kasviuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteita sovelletaan varustamoihin: <ul style="list-style-type: none"> 50% alusten käyttämästä energiasta matkoilla, jotka suuntautuvat EU:n satamasta EU:n ulkopuoliseen satamaan ja päinvastoin. 100% alusten EU:n satamien välisillä matkoilla käyttämästä energiasta. 2% tavoite RFNBO:n käytölle tulisi voimaan vuodesta 2034 alkaen, jos vuonna 2031 RFNBO:n osuus polttoaineivalikoimasta on alle 1%. 	<ul style="list-style-type: none"> RFNBO-käytön lisääntyminen eurooppalaisissa laivoissa Vuoden 2035 jälkeisten tiukkojen tavoitteiden vuoksi RFNBO:ta edistetään FuelEU Maritime-aloitteessa. Merenkulkualalla on paljon kysynnän kasvupotentiaalia erityisesti aktiivisessa kehityksessä olevien ammoniakki- ja metanolikäyttöisten moottoreiden ansiosta

RFNBO = uusiutuvat polttoaineet, jotka eivät ole biologista alkuperää (esim. synteettiset polttoaineet tai PtX)., GHG =kasviuonekaasut, EU ETS = EU:n päästökauppajärjestelmä
Lähde: www.consilium.europa.eu

Yhteenveto EU:n keskeisistä vetyyn liittyvästä lainsäädännöstä (2/2)

Lainsäädäntö	Tila	Käyttötarkoitus	Vetyä ja RFNBO:ta koskevat vaikutukset
ReFuelEU- ilmailualoite	Kolmikanta - neuvottelut alkoivat heinä- kuussa 2022	<ul style="list-style-type: none"> - Varmistetaan tasapuoliset toimintaedellytykset EU:n lentoliikennemarkkinoilla lentopolttoaineen käytön osalta - Tavoitteena on edistää kestävien lentopolttoaineiden käyttöönottoa: kestävien lentopolttoaineiden osuuden olisi oltava vähintään 5% lentopolttoaineista vuoteen 2030 mennessä ja 63% vuoteen 2050 mennessä. - ReFuelEU Aviation kohdistuu siksi erityisesti "drop-in" nestemäisiin, kestäviin lentopolttoaineisiin. 	<ul style="list-style-type: none"> - Johdanto kaupallisiin vety- ja RFNBO-käyttöisiin lentokoneisiin. - Euroopan parlamentti kannattaa kestävän ilmailun rahaston perustamista vuosiksi 2023-2050 tukemaan investointeja kestäviin lentopolttoaineisiin tai innovatiivisiin lentokoneiden käyttövoimateknologioihin.
REPowerEU	Väliaikainen sopimus saavutettu 2023	<ul style="list-style-type: none"> - Kaasutoimitusten monipuolistaminen muilta kuin venäläisiltä toimittajilta sekä vedyn tuotannon ja käyttöönoton lisääminen - RePowerEU:ssa myös myönnettiin, että muilla fossiilivapaan vedyn muodoilla, erityisesti ydinvoimataustaisella vedyllä, on rooli maakaasun korvaamisessa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vedyntuotantoa lisätään 35 miljardiin kuutiometriin vuoteen 2030 mennessä (kaksinkertaistetaan Fit for 55 -ohjelman tavoite). Kyseessä ei ole sitova tavoite. - Rahoitus ohjataan tuotettuun vetyyn
Vetyä ja kaasumarkkinoiden dekarbonisointia koskeva paketti	Hyväksyntää odotetaan	<ul style="list-style-type: none"> - EU on luonut sääntelypuitteet vetymarkkinoiden kehityksen tukemiseksi. Nämä sääntelyt kattavat muun muassa markkinasuunnittelun, infrastruktuurin kehittämisen, turvallisuusstandardit ja sertifiointivaatimukset. 	<ul style="list-style-type: none"> - Helpotetaan vetymarkkinoiden yhdenmukaistamista standardeja yhdenmukaistamalla - Vahvistetaan säännöt vedyn turvalliselle käsittelylle edistämällä turvallisuutta ja kuluttajien luottamusta.

Vetytuotannon on täytettävä seuraavat kriteerit, jotta se voidaan luokitella uusiutuvaksi ei-biologista alkuperää olevaksi polttoaineeksi (RFNBO)

TÄYDENNETTÄVYYSVAATIMUKSET

Ei-tuettu uusiutuvan energian tuotantolaitos, joka on otettu käyttöön aikaisintaan **36 kuukautta** ennen RFNBO-laitoksen käyttöönottoa.

Siirtymäkausi

Sovelletaan vasta 1.1.2038 alkaen sellaiseen käyttö-omaisuuteen, joka on kytketty verkkoon ennen 1. tammikuuta 2028

AJALLINEN KORRELAATIO

RFNBO:n tuotanto **samana kalenterituntina kuin PPA-sopimuksen** mukainen uusiutuvista energialähteistä tuotettu sähkö (**kuukausittain** 31.12.2029 asti).

TAI

RFNBO tuotetaan sellaisen tunnin aikana, jona tarjousvyöhykkeen hinta on ≤ 20 Eur/MWh tai $< 0,36$ kertaa yhden CO₂-tonnin päästöoikeuden hinta.

MAANTIETEELLINEN KORRELAATIO



Elektrolyyseri ja RES-tuotantolaitos (PPA) sijaitsevat samalla tarjousalueella

TAI

Yhteenliitetyt tarjousalueet, kun sähkön hinta on vähintään yhtä paljon kuin sillä tarjousalueella, jossa RFNBO tuotetaan

TAI

PPA:lla hankittava uusiutuva energia, joka on peräisin RFNBO-laitokseen liitetyltä offshore-tarjousvyöhykkeeltä

-  Dedikoitu RES
-  PPA sähkön lähteenä



Suoraan verkkoon liitetty

Suoraan kytketyt laitokset¹	Sovelletaan - ei siirtymäaikaa	Ei sovelleta	Ei sovelleta
RES-sähkön osuus tarjousalueesta 90 % edellisellä kalenterivuonna²	Ei sovelleta - vedyn tuotantotunnit rajoittuvat RES-sähkön %-osuuteen, esim. 90 % * 8760	Ei sovelleta	Ei sovelleta
Verkon päästöintensiteetti¹ < 18gCO₂/MJ₂	Ei sovelleta	Sovelletaan	Sovelletaan
RES-tuotantoa alas tai uudelleensäädön tarpeen vähentäminen	Ei sovelleta	Ei sovelleta	Ei sovelleta
Kaikki muut verkkoyhteydet	Sovelletaan siirtymäkaudella	Sovelletaan	Sovelletaan

Huomautuksia: 1. Jos laitteella on verkkoyhteys, tarvitaan SMART-mittari osoittamaan, että vedyn tuottamiseen ei käytetä verkkovirtaa.

2. Sovelletaan seuraavien 5 kalenterivuoden aikana | RES = Uusiutuvan energian lähde, PPA = Sähkön ostosopimus

Suora verkkoliityntä ilman uutta RES:iä sekä suora liityntä RES:iin ovat kaksi mahdollista sähkönhankintakonseptia uusiutuvan vedyn tuotannolle Suomessa

Suomessa :



- Uusiutuvan vedyn tuotannossa voidaan käyttää sähköä **ei-tuetusta** uusiutuvan energian tuotantolaitoksesta, joka otetaan käyttöön aikaisintaan **36 kuukautta** ennen vetylaitosta, jolloin tuotannossa ei tarvitse enää olla ajallista tai maantieteellistä yhteyttä uusiutuviin energialähteisiin.



- Uusiutuvan vedyn tuotanto voi ottaa sähköä sähköverkosta, koska Suomen sähköverkko täyttää päästöjen intensiteettikriteerit **<18 gCO₂/MJ** Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitoksen tullessa täyteen toimintaan.
 - Tuotannossa on edelleen käytettävä uusiutuvien energialähteiden sähkönhankintasopimusta, ja sen on oltava ajallisesti sekä maantieteellisesti sidoksissa uusiutuvien energialähteiden tuotantoon.

- Dedikoitu RES
- PPA sähkön lähteenä

TÄYDENNETTÄVYYSVAATIMUKSET

Ei-tuettu uusiutuvan energian tuotantolaitos, joka on otettu käyttöön aikaisintaan **36 kuukautta** ennen RFNBO-laitoksen käyttöönottoa.

AJALLINEN KORRELAATIO

RFNBO:n tuotanto **samana kalenterituntina kuin PPA-sopimuksen** mukainen uusiutuvista energialähteistä tuotettu sähkö (**kuukausittain** 31.12.2029 asti).

MAANTIETEELLINEN KORRELAATIO

Elektrolyyseri ja RES-tuotantolaitos (PPA) sijaitsevat samalla tarjousalueella



Suoraan kytketyt laitokset¹

Sovelletaan - ei siirtymäaikaa

Ei sovelleta

Ei sovelleta



Verkkoyhteys: Verkon päästöintensiteetti¹ < 18 gCO₂/MJ²

Ei sovelleta

Sovelletaan

Sovelletaan

Ydinvoimalla tuotettua sähköä ei tunnusteta selkeästi EU:n lainsäädännössä, erityisesti kun on kyse ydinsähköstä tuotetusta vedystä



Ydinvoima vähähiilisenä energialähteenä ei ole ollut EU:n lainsäädännön painopisteenä. Tätä puutetta pyritään kuitenkin parhaillaan korjaamaan

- Euroopan komissio arvioi parhaillaan ydinvoiman ekosysteemiä. Euroopan komission vuonna 2023 tekemä tutkimus "Euroopan ydinenergiaekosysteemi: soveltuuko se EU:n ilmastotavoitteisiin?".
- "Ydinvoima-allianssiin" osallistuvat 16 Euroopan maata valmistelevat etenemissuunnitelmaa integroidun eurooppalaisen ydinvoimateollisuuden kehittämiseksi siten, että ydinvoimakapasiteetti EU:n sähköntuotantovalikoimassa olisi **150 GW** vuoteen 2050 mennessä (nykyinen asennettu kapasiteetti on 100 GW).
- Eri maiden välinen kiista ydinvoimataustaisesta vedystä on ollut yksi syy siihen, että neuvottelut EU:n uusista uusiutuvan energian tavoitteista ovat viivästyneet.



Suoraan ydinvoimasta tuotettua vetyä pidetään vähähiilisenä, samoin kuin tästä vähähiilisestä vedystä tuotettuja polttoaineita tai tuotteita, kuten terästä tai kemikaaleja

- Euroopan komission vastausten (Delegoitu säädös RFNBO:sta) mukaan "ydinvoimaa ei ole listattu uusiutuvien energialähteiden joukkoon..... komissio on esittänyt **vähähiilisen vedyn** määritelmän, jonka mukaan sen tulee olla peräisin uusiutumattomista lähteistä, jotka tuottavat vähintään 70% vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin fossiiliset energialähteet".
- Ydinvoiman asemaa EU:n uudessa lainsäädännössä ei ole määritelty, ja siitä käydään kiivasta keskustelua. Jännitteitä on Ranskan ja muiden Euroopan maiden (etunenässä Saksa ja Belgia) välillä, sillä jälkimmäiset suosivat uusiutuvan vedyn tuontia sen sijaan, että ne tuottaisivat vähähiilistä vetyä Euroopassa.
- EU:n puheenjohtajavaltio Tšekki ehdotti kaasu- ja vetydirektiiviin muutosta, josta nyt keskustellaan. Muutos antaa jäsenvaltioille mahdollisuuden harkita vähähiilistä vetyä sitovan vetytavoitteen täyttämiseksi teollisuudessa sekä harkita vähähiilistä vetyä ja sen johdannaisia sitovan vetytavoitteen täyttämiseksi liikenteessä (molemmat asetetaan tulevassa REDIII-lainsäädännössä).

Päätelmät

- Vetyä koskeva sääntely määritellään ensimmäistä kertaa EU:ssa vuosina 2023-2024. Vaikka lainsäädäntöehdotuksia koskevat neuvottelut ovat jo nyt vieneet odotettua enemmän aikaa, niihin on odotettavissa uudistuksia myös tulevaisuudessa.
- Yksi syy debattiin on se, että uusiutuvaa sähköä ja vedyntuotantoa on vaikea yhdistää, koska teollisuusprosessit edellyttävät vakaata resurssivirtaa korkeiden käyttötuntien saavuttamiseksi.
 - Suoraan kytkettyjen laitosten osalta tämä tarkoittaa tuotantokonseptin merkittävää ylimitoitusta, johon lisätään vielä vetyä sisältävä välivarasto, jotta loppukäyttäjille voidaan taata tasainen vedyntoimitus.
 - Verkkoon liitettyjen laitosten osalta RFNBO-asetuksessa edellytetään, että uusiutuvista energialähteistä saatavan sähkön on oltava tasapainossa vedyn tuotantoon käytetyn sähkön kanssa (kuukausittain tai tunneittain). Tällä on samanlaiset vaikutukset kuin suoraan verkkoon liitettyjen laitosten osalta.
- Toinen keskustelun kohteena tällä hetkellä oleva asia on vähähiilisen vedyn ja ydinvoiman rooli tässä yhteydessä. Ydinvoiman tasainen toimitusprofiili soveltuisi erinomaisesti vedyntuotannon palvelemiseen ilman, että sähköjakelua tai laitteita tarvitsee ylimitoitaa. Ydinvoiman suurin haitta uusiutuviin energialähteisiin verrattuna on sähkön hinta, mutta se on mahdollista kompensoida muilla tekijöillä konseptista riippuen. Suurille 24/7 toimiville teollisuuslaitoksille toimitusvarmuus on erittäin tärkeää.

The background image shows a large, white, multi-level offshore platform, likely a wind turbine or hydrogen production facility, situated in the ocean. The platform has a complex structure with railings, ladders, and various equipment. In the background, several wind turbines are visible on the horizon under a sky with soft, pinkish clouds. A semi-transparent white box is overlaid on the center of the image, containing the main title text. The logo 'Hydrogen Energy' is also visible on the platform's structure.

Vedyntuotantokonseptit ja sähkön hankinta vedylle Pyhäjoella

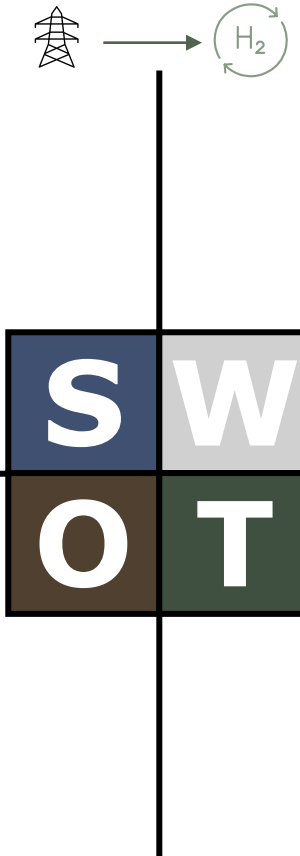
Täysin verkkoon kytketty uusiutuvan vedyn konsepti on sidottu uusiutuvan energian sähkönhankintasopimukseen vedyn tuotannon varmistamiseksi

VAHVUUDET

- Hanhikivellä on suunnitelmat ja luvat 400 kv:n yhteyttä varten. Sijainti on leikkauksen P1 pohjoispuolella, mikä voi olla hyödyllistä vedyn tuotantolaitokselle siirtoverkon näkökulmasta. Siitä olisi hyötyä myös vetyä raaka-aineena käyttävälle teollisuuslaitokselle, kuten ammoniakki-, metanoli- tai rauta- ja terästehtaalle.
- Veden ja maa-alueen saatavuus mahdollistaa vetyä kuluttavan teollisuuslaitoksen rakentamisen.
- Koko vedyntuotanto voisi täyttää RFNBO-vaatimukset
- Ilman suurta ydinvoimalaa paikalla olisi käytettävissä suuri alue teollisuuslaitoksen rakentamiseen esimerkiksi vedyn jalostamiseksi synteettisiksi polttoaineiksi tai vedyn hyödyntämiseksi paikan päällä, esimerkiksi kemian tai metallin jalostuslaitoksessa.

MAHDOLLISUUDET

- Hanhikiven laitoksella tuotettu vety voidaan myydä putkistoa pitkin jollekin tietylle teollisuuden taholle, kuten SSAB Raahelle tai Kokkolan ammoniakkitehtaalle.
- Tuotettua vetyä voidaan myydä Pohjanlahtea pitkin kulkevan Nordic Hydrogen Routen kautta.
- Vetyä voidaan käyttää raaka-aineena ja polttoaineena paikan päällä
- Tuotannon aloittaminen verkkovirralla ja myöhemmin suora liittäminen ydinvoimaan tai uusiutuviin energialähteisiin laitosalueella tai sen läheisyydessä, kun ydinvoima tai uudet uusiutuvat energialähteet voidaan ottaa käyttöön.



HEIKKOUEDET

- Tuotantoa sitovat uusiutuvan energian sähkönhankintasopimuksessa määritellyt ehdot.
- Sähkön loppukäyttö vedyn tuotannossa on tasapainotettava kuukausitasolla vuoteen 2029 asti ja sen jälkeen tuntitasolla.

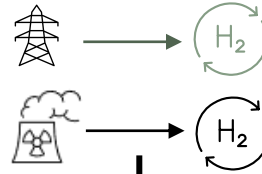
UHKAT

- Vedyn tuotantopaikkaa rajoittavat saatavilla olevat sähkönhankintasopimustyyppit ja -hinnat.

Osittain verkkovirtaan ja osittain paikalliseen ydinvoimaan perustuvalla vedyntuotannolla on useita etuja, mutta se on sidottu uusiutuvan energian PPA-sopimukseen uusiutuvien energialähteiden osuuden varmistamiseksi tuotannossa

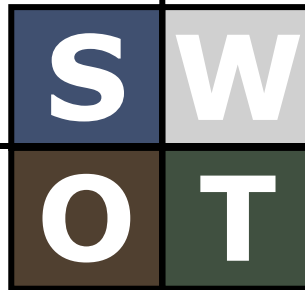
VAHVUUDET

- Hanhikivellä on suunnitelmat ja luvat 400 kv:n yhteyttä varten. Sijainti on P1-leikkauksen pohjoispuolella, mikä voi olla hyödyllistä vedyn tuotantolaitokselle siirtoverkon näkökulmasta². Siitä on hyötyä myös teollisuuslaitokselle, joka käyttää vetyä raaka-aineena, kuten ammoniakki-, metanoli- tai rauta- ja terästeollisuuslaitokselle.
- Veden ja maa-alueen saatavuus mahdollistaa vetyä kuluttavan teollisuuslaitoksen rakentamisen.
- Ydinvoiman kannatus alueella on suuri, ja uusi toimija voisi hyötyä siitä.
- Ydinvoiman mitoittaminen **vähähiilisen vedyn** tuotantoon on joustavaa, kun taas muu sähkö hankitaan sähkönhankintasopimuksista RFNBO:n tuottamiseksi.



HEIKKOUEDET

- Ydinvoimalla tuotettu osuus vedystä olisi **vähähiilistä vetyä**, eikä vähähiilistä vetyä koskevia EU:n säännöksiä ole vielä määritelty.



MAHDOLLISUUDET

- Hanhikivellä tuotettu vety voidaan myydä putkistoa pitkin tietyille teollisuudelle, kuten SSAB Raahelle tai Kokkolan ammoniakitehtaalle.
- Tuotettua vetyä voidaan myydä Pohjanlahtea pitkin kulkevan Nordic Hydrogen Routen kautta.
- Vetyä voidaan käyttää raaka-aineena ja polttoaineena paikan päällä.
- Ylimääräinen sähkö voidaan myydä verkkoon
- Ydinvoiman paikallinen hyväksyntä voi viitata mahdollisuuteen hyväksyä paikallisesti myös muita teollisia toimintoja.

UHKAT

- Uusiutuvan vedyn tuotantoa paikan päällä rajoittaa saatavilla oleva sähkönhankintasopimuksen tyyppi ja hinta, mutta altistuminen markkinoiden epävarmuustekijöille on vähäisempää, koska sähkönhankintasopimuksesta saatavan sähkön tarve on pienempi.

Vety, joka on tuotettu suoralla yhteydellä uusiutuvaan energialähteeseen, lasketaan täysin uusiutuvaksi vedyksi

VAHVUUDET

- Tuotettu vety on RFNBO:ta koskevan delegoidun säädöksen mukaista, joten se voidaan luokitella **RFNBO**:ksi.
- Hanhikiven toimipaikka sijaitsee alueella, jolla on potentiaalia merituulivoiman ja maatuulivoiman hyödyntämiseen ja jolla on käynnissä useita hankkeita. Puskakorven tuulivoimapuisto ja Siikajoen tuulivoimahanke ovat rakenteilla ja Pyhäjoen Polusjärven tuulivoimapuisto on hiljattain valmistunut.
- Uutta tuulivoimaa voitaisiin mahdollisesti liittää suoraan Hanhikiven kohteeseen

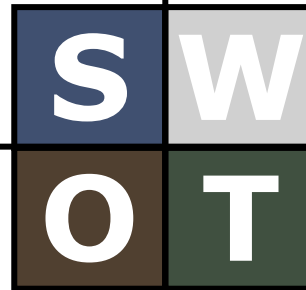


HEIKKOUDET

- Tuulivoimatuotannon katkonaisuuden kompensoimiseksi tarvitaan lisäinvestointeja ylimääräisen tuulivoimakapasiteettiin, ylimääräiseen elektrolyysikapasiteettiin ja/tai vedyn varastointiin.

MAHDOLLISUUDET

- Vetytuotantoon käyttämätön ylimääräinen sähkö voidaan myydä verkkoon.
- Hanhikiven laitoksella tuotettu vety voidaan myydä putkistoa pitkin tietyille teollisuudelle, kuten SSAB Raahelle tai Kokkolan ammoniakkitehtaalle.
- Tuotettua vetyä voidaan myydä Suomen ja Ruotsin välisen Nordic Hydrogen Routen kautta.
- Vetyä voidaan käyttää paikan päällä teollisuuslaitoksessa raaka-aineena tai polttoaineena.



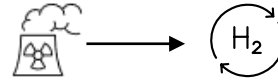
UHKAT

- Hallan merituulivoimapuisto h (12 TWh:n vuosituotanto) on jo suunnitellut liittymistä SSAB:hen. Tällöin Hanhikiven pitäisi kehittää omaa uusituvan energian tuotantoa.

Paikalliseen ydinvoimaan perustuvalla vedyntuotannolla on useita vahvuuksia, mutta suuri haittapuoli on se, että lopputuloksena on vähähiilistä eikä uusiutuvaa vetyä

VAHVUUDET

- Ydinvoima tuottaa tasaisesti ja suurella kapasiteetilla **vähähiilistä** sähköä.
- Ydinvoiman kannatus alueella on suuri, ja uusi toimija voisi hyötyä siitä.
- Käyttämällä paikallista tuotantolähdettä paikallinen teollisuus-käyttäjä voi vähentää tai poistaa pääverkkoon tukeutumiseen liittyviä kustannuksia.

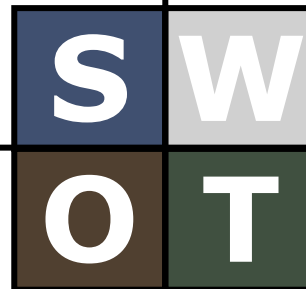


HEIKKOUEDET

- Tuotettu vety olisi **vähähiilistä vetyä**, eikä vähähiilistä vetyä koskevia EU:n säännöksiä ole vielä määritelty.
- Ydinvoimalla tuotettua ylimääräistä lämpöä ei voida myydä kaukolämpönä, koska kunnat ovat kaukana alueesta.

MAHDOLLISUUDET

- Vetytuotantoon käyttämätön ylimääräinen sähkö voidaan myydä verkkoon.
- Hanhikiven laitoksella tuotettu vety voidaan myydä putkiston kautta mihin tahansa liitettyyn teollisuuslaitokseen, kuten SSAB Raahen tai Kokkolan ammoniakkitehtaalle.
- Vetyä voidaan käyttää paikan päällä, jos paikalle saataisiin uusi teollisuustaho.
- Infrastruktuuria on rakennettu ydinvoimaa varten, ja Hanhikivelle on suunniteltu 400 KV:n verkkoyhteyttä.
- Ydinvoimakapasiteetti voidaan mitoittaa suuremmaksi kuin elektrolyysin kapasiteetti, jotta voidaan hyötyä ylimääräisen sähkön myynnistä.



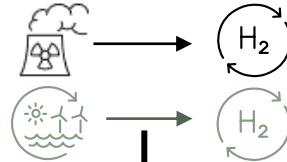
UHKAT

- SMR:ää (jos se valittaisiin konseptiksi) koskevaa sääntelyä ei ole vielä viimeistelty Suomen lainsäädännössä. Suomen ydinenergialakia ollaan parhaillaan uudistamassa, jotta uudet teknologiat, kuten SMR, voitaisiin ottaa paremmin huomioon.

Osittain paikalliseen ydinvoimaan perustuva ja osittain uusiutuviin energialähteisiin suoraan kytketty vedyntuotanto tuottaa sekä vähähiilistä että uusiutuvaa vetyä

VAHVUUDET

- Ydinvoima tuottaa tasaisesti ja suurella kapasiteetilla **vähähiilistä** sähköä.
- Ydinvoiman kannatus alueella on suuri, ja uusi toimija voisi hyötyä siitä.
- Käyttämällä paikallista tuotantolähdettä paikallinen teollisuuskäyttäjä voi vähentää tai poistaa pääverkkoon tukeutumiseen liittyviä kustannuksia.
- Mahdollistaa vedyn jatkuvan virtauksen paikalliselle teollisuuslaitokselle paikan päällä tai putkiston kautta ilman välivarastointia.
- Tämä vaihtoehto mahdollistaa elektrolyysikapasiteetin mitoittamisen siten, että sähkön saanti on tasaista ympäri vuoden. Tällä yhdistelmällä voidaan **tuottaa suuria määriä vetyä**.
- Uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön vaihtelua voidaan hallita ydinvoimana peruskuormana tuottaman sähkön avulla.



HEIKKOUDET

- Vety on **osittain RFNBO:ta ja osittain vähähiilistä**. Uusiutuvista energialähteistä tapahtuva vedyntuotanto on todennäköisesti erotettava muusta vedyntuotannosta.
- RFNBO:n virtaus ei ole yhtä tasaista kuin vähähiilisen vedyn virtaus.
- Ydinvoimalla tuotettua ylimääräistä lämpöä ei voida myydä kaukolämpönä, koska kunnat ovat kaukana alueelta.

MAHDOLLISUUDET

- Vedyntuotannosta ylijäävä sähkö voidaan myydä verkkoon.
- Hanhikiven laitoksella tuotettu vety voidaan myydä putkistoa pitkin teollisuudelle, kuten SSAB Raahelle tai Kokkolan ammoniakkitehtaalle.
- Tuotettua vetyä voidaan myydä Suomen ja Ruotsin välisen Nordic Hydrogen Routen verkoston kautta.
- Vetyä voidaan käyttää paikan päällä
- Ydinvoimalla tuotettua lämpöä voidaan käyttää paikallisessa teollisuuslaitoksessa.
- Infrastruktuuria on rakennettu ydinvoimaa varten, ja Hanhikivelle on suunniteltu 400 KV:n verkkoyhteyttä.
- Ydinvoimakapasiteetti voidaan mitoittaa suuremmaksi kuin elektrolyyserikapasiteetti, jolloin ylimääräinen sähkö päästään myymään.
- RFNBO:ta ja vähähiilistä vetyä koskevat vaatimukset voidaan täyttää.

UHKAT

- SMR:ää (jos se valittaisiin konseptiksi) koskevaa sääntelyä ei ole vielä viimeistelyt Suomen lainsäädännössä. Suomen ydinenergialakia ollaan parhaillaan uudistamassa, jotta uudet teknologiat, kuten SMR, voitaisiin ottaa paremmin huomioon.

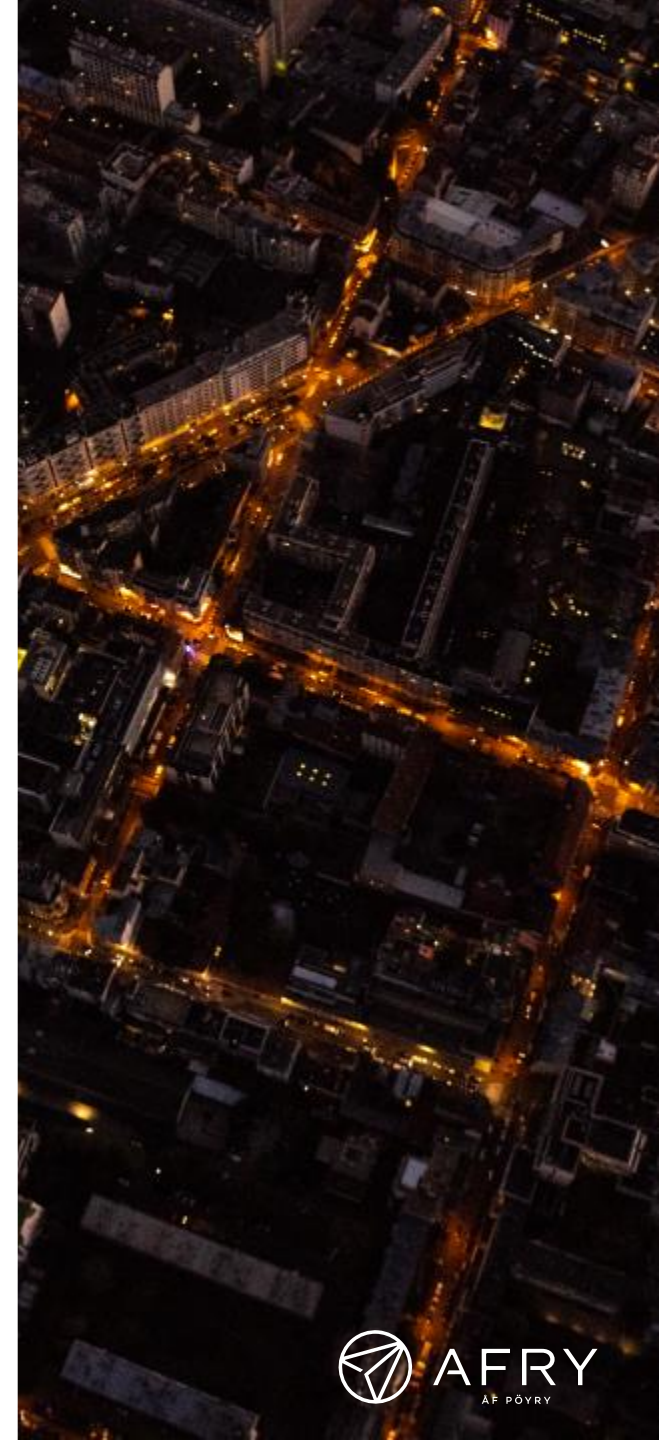


Päätelmät

- Hanhikiven alue soveltuu hyvin ydinvoiman tuotantoon. Sähköä voitaisiin myydä sähkönhankintasopimuksilla tai muunlaisilla sopimuksilla mille tahansa sähkönkäyttäjälle, myös PtX-liiketoimintaa harjoittaville tahoille.
- Vetyä voitaisiin tuottaa myös paikan päällä suoralla yhteydellä ydinvoimalaan. Tästä olisi etuna vähähiilinen sähkönlähde ilman, että sähkönsiirrosta tarvitsee maksaa, tasainen sähköntoimitus ilman, että tarvitsee investoida vedyn varastointiin ja elektrolyysikapasiteetin ylimitoittamne niin, että ylimääräinen sähkö myydään verkkoon.
 - Lämmön integrointimahdollisuuksien puuttuminen ei vaikuta merkittävästi Hanhikiven hankkeeseen, koska kaukolämmön lämmöntarve olisi joka tapauksessa kausiluonteista ja suurin osa Suomen kaukolämpöverkoista on jo nyt fossiilivapaita.
- Pyhäjoella mahdollistaisi esimerkiksi evolutiivisen vedyntuotantokonseptin, jossa ensimmäisessä vaiheessa uusiutuvaa vetyä tuotetaan suoralla yhteydellä verkkoon (sähkönhankintasopimuksella, kuten RFNBO:ta koskevassa delegoidussa säädöksessä edellytetään) (ennen kuin ydinvoimala on käytössä) ja toisessa vaiheessa vedyn lisätuotanto tapahtuu suoralla yhteydellä ydinvoimaan laitosalueella. Toisessa vaiheessa tuotetaan kahta erilaista vetyä: vähähiilistä vetyä, joka tuotetaan ydinsähköstä, ja uusiutuvaa vetyä, joka saadaan verkkosähköstä. Tämän konseptin etuna on vedyntuotannon nopea käynnistys ja kapasiteetin nosto myöhemmin vähähiilisellä vedyllä kun ydinvoimala on saatu toimintaan.
- CO₂-tuottajien alueelta puuttumisen vuoksi hiilivetyjen, kuten e-metaanin, e-metanolin ja e-kerosiinin, tuotanto ei todennäköisesti ole kilpailukykyisin ratkaisu Hanhikivelle verrattuna paikkoihin, joissa voitaisiin hyödyntää paikan päällä olevaa hiilidioksidia, kuten Raahen ja Oulun toimipaikat.
- Paikan päällä tapahtuva vähähiilinen ja/tai uusiutuva ammoniakkituotanto voisi olla toteuttamiskelpoinen vaihtoehto, koska tarvittava tyyppi saadaan talteen ilmasta. Tämä edellyttäisi investointeja Hanhikiven satamatoimintoihin ammoniakkin laivausta varten.

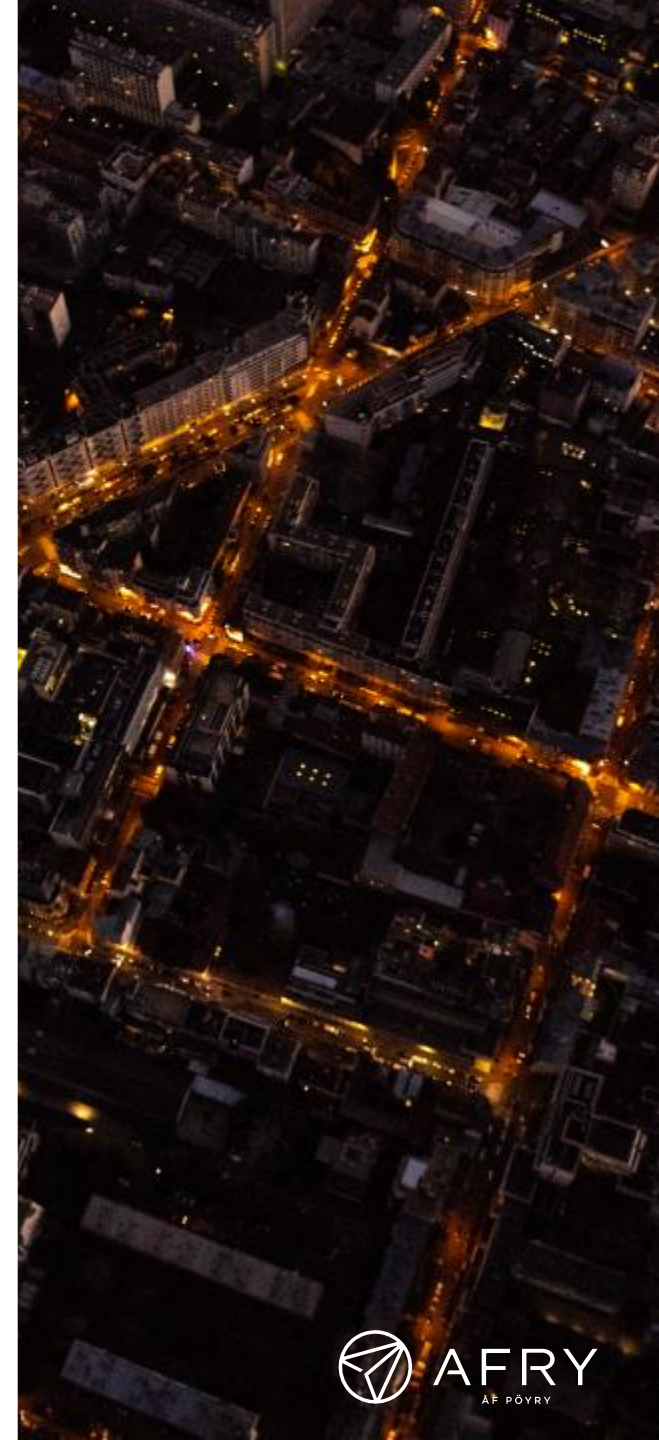
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



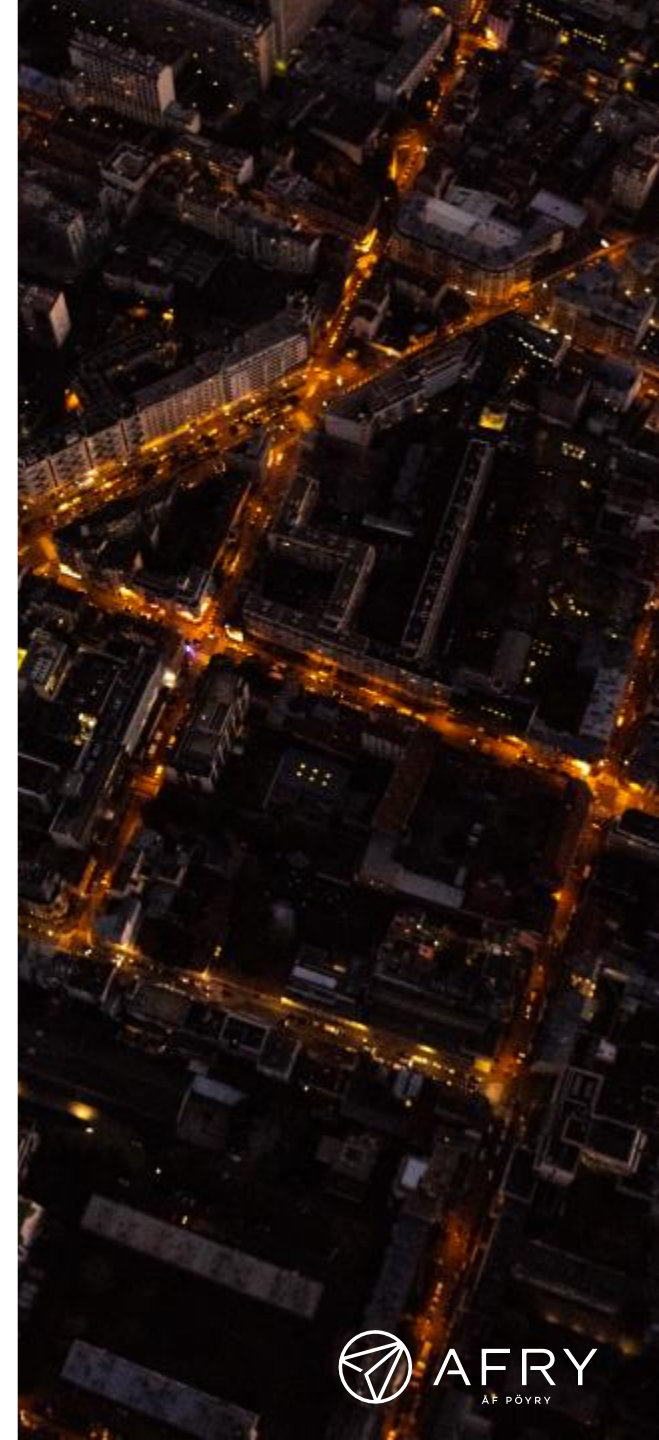
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologiakatsaus
 - 4.1 Teknologian kartoitus
 - 4.2 Alueellisen infrastruktuurin arviointi
 - 4.3 Teknologian toteutettavuuden ja potentiaalin arviointi
 - 4.4 Toimittajakartoitus ja toimitusvalmiuden arviointi
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologiakatsaus
 - 4.1 Teknologian kartoitus
 - 4.2 Alueellisen infrastruktuurin arviointi
 - 4.3 Teknologian toteutettavuuden ja potentiaalin arviointi
 - 4.4 Toimittajakartoitus ja toimitusvalmiuden arviointi
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



Nelivaiheinen lähestymistapa teknologian tarkasteluun muodostaa perustan raportin myöhemmissä osissa esitettäville lisäanalyysille

LUKU

SISÄLTÖ

4.1 Relevanttien teknologioiden kartoitus

- Teknologian kypsyys ja yleisyys
- Kustannustasot
- Markkinapotentiaali
- Hankkeen aikataulu
- Teknologiaan yleisesti liittyvät riskit, edut ja haitat

4.2 Alueellisen infrastruktuurin arviointi

- Laitosalueen infrastruktuuri
- Alueen sijainnin yleinen soveltuvuus
- Mahdollisuus yhdistää eri vaihtoehtoja alueella
- Alueeseen liittyvät riskit / edut / haitat verrattuna muihin harkittaviin teknologioihin

4.3 Teknologian toteutettavuuden ja potentiaalın arviointi

- Teknologian toteutettavuuden ja potentiaalın arviointi Hanhikiven laitosalueella yhdistämällä teknistaloudellinen soveltuvuus ja laitosalueeseen liittyvä soveltuvuus

4.4 Mahdollisten toimittajien kartoitus ja toimitusvalmiuden arviointi

- Potentiaalisten toimittajien kartoitus, jossa keskitytään pääasiassa ydinvoimaan

Relevanttien teknologioiden kartoitus tehdään valitsemalla vertailukelpoisia tekijöitä kullekin teknologialle

- AFRY on laatinut teknologiakartoituksen asiaankuuluville energiateknologioille raportin aikaisemman analyysin ja yleisen Hanhikiven alueeseen liittyvän kelpoisuuden perusteella.
- Jatkoanalyysiin valitut teknologiat ovat suuren mittaluokan ydinvoima, pienet modulaariset ydinreaktorit (SMR), vihreä ammoniakki, vedyn nesteytys, kaasumaisen vedyn puristus sekä vedyn tuotanto ALK-, PEM- ja SOEC-elektrolyysereillä.
- Kullekin teknologialle on tehty samankaltainen arviointi, jossa on otettu huomioon seuraavat keskeiset näkökulmat:
 - Teknologian kypsyys ja yleisyys
 - Kustannustasot
 - Markkinapotentiaali
 - Hankkeen aikataulu
 - Tekniikkaan yleisesti liittyvät riskit, edut ja haitat
- Analyysin perusteella teknologiat on asetettu paremmuusjärjestykseen niiden teknistaloudellisen soveltuvuuden mukaan.

Sähköntuotannon kannalta relevanttien ydinteknologioiden kartoittaminen niiden teknistaloudellisen potentiaalin mukaan



Suuren mittakaavan ydinvoimalaitos	++	-	-	Kypsä teknologia. Sähkön kysyntä kasvaa markkinoilla. Kustannuskilpailukyky on epävarma ja budjettien ylitykset ovat olleet runsaita viimeaikaisissa projekteissa. Projektin kesto on pitkä ja viivästykset merkittäviä.
Pienet modulaariset reaktorit (SMR)	-	-	-	Tulevaisuuden teknologia, jolla on yleisesti ottaen korkea markkinapotentiaali. Teknologian kypsyysaste, kustannustaso ja hankkeen kesto ovat epävarmoja.

Relevanttien elektrolyyserien kartoitus niiden teknologisen potentiaalin mukaan



Alkalielektrolyysi	++	+/-	+	Kypsä teknologia ja saatavilla laajassa mittakaavassa. Vaatii kuitenkin vedyn lisäpuhdistuksen ennen jatkokäyttöä.
Protoninvaihtokalvo	+	-	+/-	Suuri toiminnallinen joustavuus ja pieni tilantarve. Myös erittäin puhdas, mutta kalliimpi kuin alkalielektrolyysi.
Kiinteän oksidin elektrolyysi	-	+	-	Epäkypsä teknologia, joka on vielä T&K-vaiheessa. Tuotannolla korkea tehokkuus ja puhtaus, mutta saatavilla vain pienessä mittakaavassa.

Relevanttien vedynkuljetusteknologioiden kartoitus niiden teknistaloudellisen potentiaalin mukaan



Vihreä ammoniakki

++

+

++

++

Ammoniakin kansainväliset markkinat ovat suuret, mutta halukkuus maksaa vihreästä ammoniakista on epävarmaa. Ammoniakin tuotanto- ja kuljetusteknologia on jo kehittynyttä.

Nesteytetyn vedyn laivakuljetus

+/-

-

+

+

Kallis kuljetustapa, koska nesteytetty vety vaatii hyvin alhaisia lämpötiloja.

Kaasumaisen vedyn kuljetus putkistossa

+/-

+

++

+/-

Nordic Hydrogen Route on suuri etu, jos se toteutuu ainakin Pyhäjoelta joillekin suurille loppukäyttäjille lähistöllä.

1) Lopputuotteen, vedyn tai ammoniakin, markkinapotentiaali

Suuren mittakaavan ydinvoima on hyväksi todettu teknologia, mutta uusien hankkeiden aikataulu ja kustannustaso aiheuttavat suurta epävarmuutta

SUUREN MITTAKAAVAN YDINVOIMA

- Ydinenergia tuottaa noin 10 prosenttia maailman sähköstä noin 440 reaktorin avulla. Länsi-Euroopassa on noin 100 toiminnassa olevaa ydinvoimalaa.
- Suurin osa nykyisistä reaktoreista perustuu painevesireaktoritekniikkaan, ja toiseksi yleisin reaktorityyppi on kiehutusvesireaktorit.
- Ydinvoimakapasiteetti lisääntyy koko maailmassa tasaisesti, ja rakenteilla on noin 55 reaktoria. Suurin osa tilatuista tai suunnitteilla olevista reaktoreista sijaitsee Aasiassa, vaikka myös Venäjällä on merkittäviä suunnitelmia uusista yksiköistä. Euroopassa on rakenteilla vain vähän ydinvoimaloita.
- Yleiset päästötavoitteet, Ukrainan sota ja eurooppalaisen energialähdetaksonomian viimeaikainen päivitys saattavat kääntää Euroopan poliittisen näkemyksen enemmän ydinvoiman kannalle, sillä energiaomavaraisuutta on pyrittävä lisäämään ja hiilidioksidipäästöjä vähentämään.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyys ja markkinapotentiaali

+

- Teknologia, jota on käytetty vuosikymmeniä laajasti sähköntuotantoon Suomessa ja maailmanlaajuisesti

Edut

- Toteutuskelpoinen teknologia, jota on käytössä maailmanlaajuisesti. Länsimaiset teknologiatoimittajat saatavilla. Varma sähköntuottaja, kun tuotanto saatu käyntiin.

++

Haitat

- Kustannustaso on korkea ja merkittäviä budjetin ylityksiä on tapahtunut viimeaikaisissa projekteissa niin Suomessa kuin monissa muissakin länsimaissa

+/-

Hankkeen aikataulu, riskit ja epävarmuustekijät

- Aikaisemmat suuret hankkeet ovat osoittaneet, että suuriin ydinvoimaloihin liittyy aikataulu- ja kustannusriskejä. Uuden hankkeen aikataulun arvioidaan olevan vähintään 10 vuotta. Uuden hankkeen rahoitus on haastavaa, ja omistajien enemmistön tulisi olla suomalaisia.

AVAINLUVUT

Mittari	Arvo
CAPEX	Korkea (~5000 €/kWe - ~8000 €/kWe*) ¹
OPEX	Keskisuuri/korkea
LCOE-ARVIO	~50-100 €/MWh ^{1,2,**}
HANKKEEN KESTO	10+ vuotta

ESIMERKKEJÄ TEKNOLOGIAN TOIMITTAJISTA



1. [World Nuclear Association –Economics of Nuclear power 2.](#) IEA *perustuu Olkiluoto 3:n ja Flamanville 3:n pääomakustannusarvioihin **Kun kapasiteettikerroin >80 %.

Pienet modulaariset reaktorit voivat tarjota tulevaisuudessa ketterän ja vakaan vaihtoehdon sähköntuotantoon

SMR-YLEISKATSAUS

- Pienet modulaariset reaktorit ovat kehittyvää teknologiaa, jonka tavoitteena on helpottaa ydinenergian saatavuutta ja käyttöönottoa. Pienten ydinreaktorien vahvuuksia ovat hajautettu toiminta ja ketteryys verrattuna perinteiseen laajamittaiseen ydintuotantoon.
- Tällä hetkellä on muutamia merkittäviä länsimaisia kehittäjiä, joilla on kaupallisia tavoitteita ensimmäisille reaktoreilleen vielä tällä vuosikymmenellä.
- Pohjoismaissa pienten modulaaristen reaktoreiden odotetaan saavuttavan kaupallisen kannattavuuden aikaisintaan vuosina 2030-2035.

MAHDOLLISUUDET JA HAASTEET



SMR on kestävä energialähde, joka aiheuttaa vain Scope 3-luokan kasvihuonepäästöjä. Ydinjätteestä on kuitenkin huolehdittava.



SMR-voimalat voivat tarjota vakaata sähköntuotantoa suurten ydinvoimaloiden tavoin, mutta niitä voidaan tarvittaessa operoida joustavammin.



Kustannuksia ja teknologian teknistä valmiutta on vaikea ennustaa, koska käyttökokemusta on hyvin vähän.



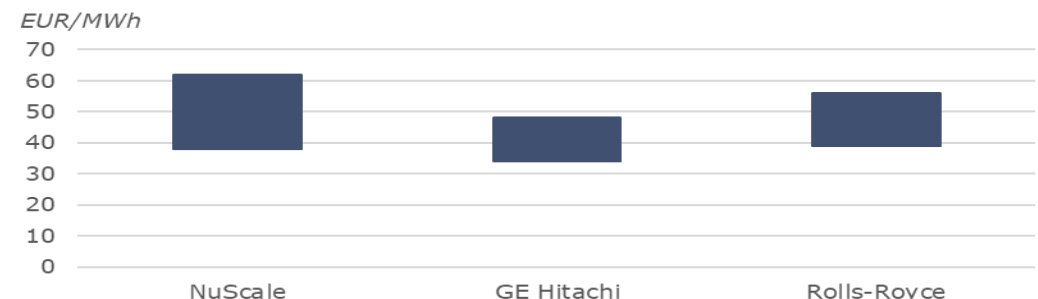
Politiikkaan ja lupamenettelyihin liittyvät esteet on voitettava, jotta SMR:n ketteryys todella toteutuisi.

1. Esitetyt arvot ovat kehittäjien omia arvioita. Arvioiden taustalla olevia analyyskejä ei ole annettu.

TEKNOLOGISET YKSITYISKOHDAT

- Kehitteillä on useita reaktorityyppejä, jotka voidaan luokitella käytettävän jäähdytysmateriaalin mukaan.
- Ensimmäisen aallon teknologioissa käytetään vettä jäähdytykseen ja samankaltaisia polttoaineita kuin perinteisessä ydinvoimassa. Näin ollen polttoaineen hankinta ja jätahuolto katsotaan samanlaisiksi kuin perinteisissä ydinvoimaloissa.
- SMR:t mahdollistavat erillisen sähköntuotannon sekä lämmön ja sähkön yhteistuotannon.
- Vesijäähdytteisten reaktoreiden saavuttamia lämpötiloja ei voida käyttää prosessilämpönä esimerkiksi teräksen valmistuksessa tai muissa korkean lämpötilan teollisuusratkaisuissa.
- Niin sanotuissa toisen aallon SMR-reaktoreissa (advanced reactors) käytetään erilaisia polttoaineita ja jäähdytysaineita kuin perinteisissä ydinvoimaloissa. Ne tuottavat myös korkeampia lämpötila- ja painetasoja, mikä mahdollistaisi näiden reaktoreiden hyödyntämisen myös korkean lämpötilan teollisuusprosesseissa.

SMR LCOE:LLE ESITETTY TAVOITE¹, KOLME KEHITTÄJÄÄ



SMR-teknologia ei ole vielä kaupallisessa vaiheessa, mutta se voisi tarjota skaalautuvia ratkaisuja energiantuotantoon tulevaisuudessa

PIENET MODULAARISET REAKTORIT

- Perinteisesti ydinreaktorit tuottavat sähköä, mutta pienreaktorit soveltuvat myös lämmön ja sähkön yhteistuotantoon, pelkkään lämmöntuotantoon ja muihin ei-sähköisiin sovelluksiin.
- Maailmanlaajuisesti on olemassa yli 70 SMR-mallia ja -konseptia¹. Useimmat niistä ovat eri kehitysvaiheissa, ja joidenkin väitetään olevan lähitulevaisuudessa käyttöönotettavissa.
- Argentiinassa, Kiinassa ja Venäjällä on tällä hetkellä rakenteilla pitkälle kehitettyjä pienydinvoimalaitoksia, ja useat olemassa olevat ja uudet ydinenergiamaat tekevät SMR-tutkimus- ja kehitystyötä.
- 2030-luvulla voi hyvinkin olla toiminnassa monia SMR-reaktoreita, mutta tällä vuosikymmenellä ei välttämättä vielä kaupallisessa mielessä.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyys ja markkinapotentiaali	+
- Skaalautuva ratkaisu, jolla on potentiaalia olla teollisen mittakaavan energiantuottaja. Teknologia on kehitysvaiheessa kohti kaupallistamista. Markkinapotentiaali oletetaan vahvaksi sen jälkeen, kun ensimmäiset laitokset ovat osoittautuneet kaupallisesti kannattaviksi.	
Edut	
- Skaalautuvuus tarjoaa mahdollisuuksia erilaisiin ratkaisuihin (sähköntuotanto, kaukolämpö, suolanpoisto, kaupallisen mittakaavan vedyntuotanto ja muut prosessilämpösovellukset).	++
Haitat	
- Ei vielä kaupallista ratkaisua, joten ei varmuutta esim. hankevaiheen ja käyttövaiheen kustannustasosta.	-
Hankkeen aikataulu, riskit ja epävarmuustekijät	
- Hankkeiden kestoon liittyy epävarmuutta, koska vertailulaitoksia ei ole. SMR-laitosten rakentamisaikojen on kuitenkin arvioitu olevan 2-5 vuotta, mikä on selvästi vähemmän kuin suurilla ydinvoimaloilla ^{2,3} . Kokonaisuikataulun odotetaan olevan paljon lyhyempi kuin suurilla ydinvoimaloilla heti kun ensimmäisten laitosten sääntelyyn liittyvät haasteet on ratkaistu.	+/-

1. IAEA 2. Idtech 3. ansto.gov.au * Perustuu kehittäjien itse tekemiin arvioihin. Arvioiden taustalla olevia analyysejä ei ole annettu.

AVAINLUVUT

Mittari	Arvo
CAPEX	Korkea (arviot vaihtelevat 3300-5500 €/kWe ensimmäisten hankkeiden osalta ja 1900-4900 €/kWe myöhempien kaupallisen vaiheen hankkeiden osalta)
OPEX	Keskisuuri/korkea
Tavoite-LCOE	~35-65 €/MWh*
HANKKEEN KESTO	Yhteensä 5+ vuotta (rakennusaika 2-5 vuotta)

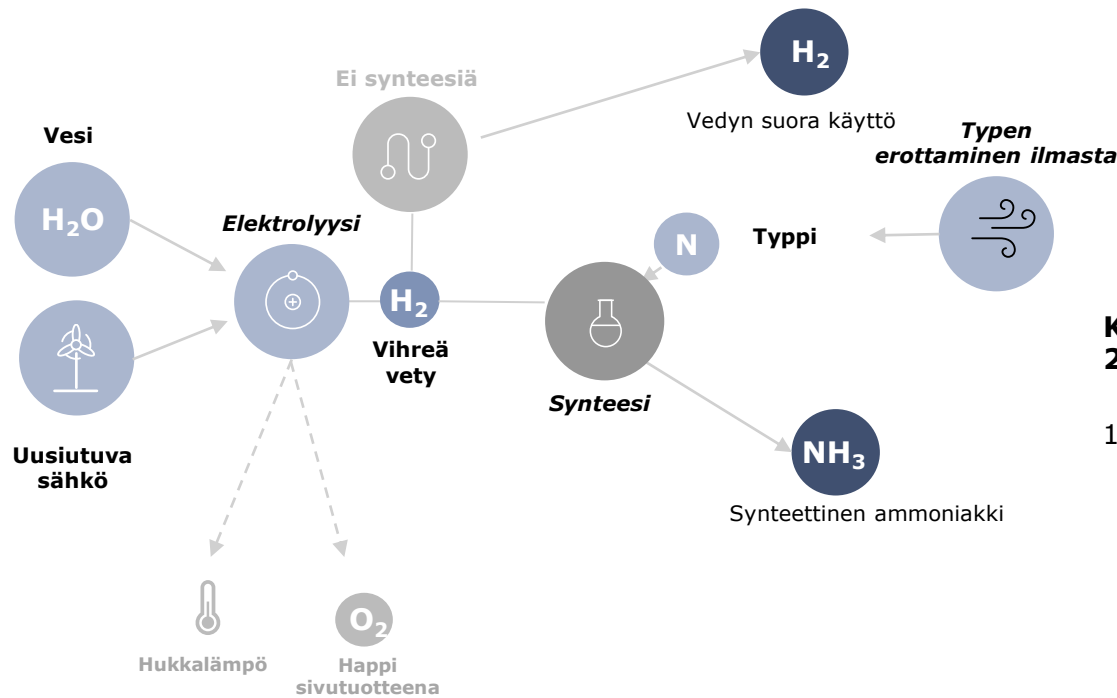
ESIMERKKEJÄ TEKNOLOGIAN TOIMITTAJISTA



Vihreää vetyä ja ammoniakkia tuotetaan elektrolyysillä ja synteesisprosessilla - Vedyn tuotanto aiheuttaa suurimman osan kokonaiskustannuksista

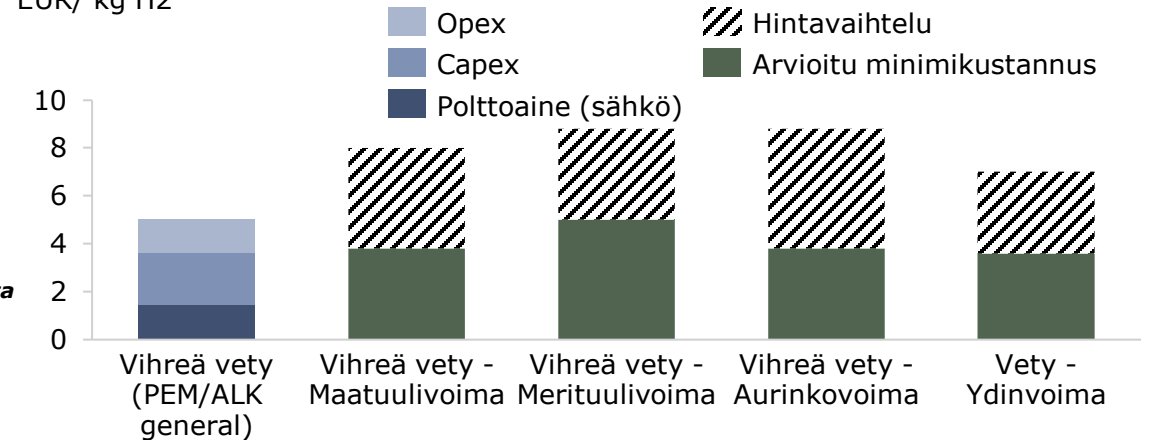
VEDYN JA SYNTEETTISEN AMMONIAKIN TUOTANTOPROSESSI

Vihreää vetyä tuotetaan elektrolyysillä vettä ja uusiutuvaa sähköä käyttäen. Vetyä voidaan käyttää sellaisenaan tai yhdistää typeen synteettisen ammoniakkin tuottamiseksi.



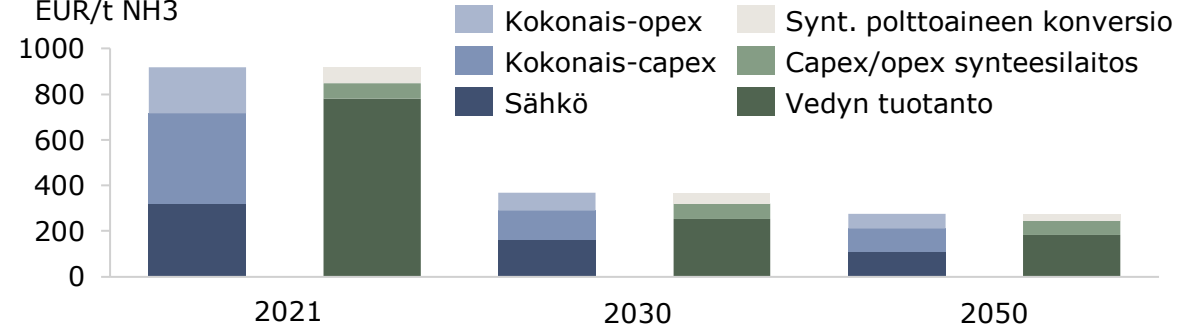
KORKEAN TASON ARVIOT LCOH:LLE (VUOSI 2021)¹

EUR/ kg H₂



KORKEAN TASON ARVIOT LCOA-KEHITYKSESTÄ (2021, 2030, 2050).^{1*}

EUR/t NH₃



LCOH : vedyn tasoitetut kustannukset LCOA : ammoniakkin tasoitetut kustannukset 1. IEA - Global Hydrogen Review 2022 *Luvut sisältävät elektrolyysiprosessin ja ammoniakkin synteesisprosessin.

On olemassa kolme merkittävää elektrolyysitekniikkaa erilaisine vahvuuksineen ja heikkouksineen



Alkalielektrolyysi (ALK)

- Kypsin teknologia
- Ei tarvetta jalometalleille
- Saatavilla suuressa mittakaavassa
- Pisin todistettu kennon käyttöikä

Protoninvaihtokalvo (PEM)

- Suurin toiminnallinen joustavuus
→ soveltuu hyvin epäsäännöllisille energialähteille
- Saatavilla suuressa mittakaavassa
- Pienin tilantarve
- Korkea vedyntuotannon puhtaus
- Mahdollisuus merkittäviin CAPEX-vähennyksiin, jos jalometalleja pystytään korvaamaan jollain muulla.

Kiinteäoksidielektrolyysi (SOEC)

- Voi toimia käänteisesti polttokennona
- Korkea vedyntuotannon puhtaus
- Joustava polttoainekäyttö (H₂, CH₄)
- Mahdollisuus integroida CO₂ sisääntuloon ja synteetikaasu tuotokseen
- Korkea hyötysuhde
- Mahdollisuus sektori-integraatioon



- Ei sovellu katkonaisiin energialähteisiin
- Lipeän kierto vaatii enemmän prosessilaitteita
- Emäksinen käyttöympäristö on syövyttävä
- Vaatii vedyn lisäpuhdistusta jatkokäyttöä varten

- Kalliit katalysaattorimateriaalit

- Edelleen saatavilla vain pienessä mittakaavassa
- Vaatii lämmönlähteen
- Korkea käyttölämpötila → materiaalin käyttökään liittyvät haasteet
- Pitkä käynnistysaika
- Esikaupallisessa vaiheessa
- Aiheuttaa merkittävää lämmönhukkaa, jos sitä ei hyödynnetä

Alkalelektrolyysi (ALK) on kehittynein elektrolyysiteknologia ja käytettävissä suuressa mittakaavassa

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- Alkalelektrolyysit käyttävät nestemäistä alkaliliuosta, joka sisältää natrium- tai kaliumhydroksidia. Ne toimivat siten, että hydroksidi-ionit (OH⁻) kulkeutuvat elektrolyytin läpi katodilta anodille, jolloin katodin puolella syntyy vetyä.
- ALK-elektrolyysit toimivat yleensä peruskuormalla.
- ALK, jonka käyttöikä on 12 vuotta, on nykyään suosituin ratkaisu suuren mittaluokan sovelluksissa. Kun koko pino (stack) on vaihdettu kennojen hajoamisen vuoksi, ALK-elektrolyysierien käyttöikä pitenee 20 vuoteen.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyyys ja markkinapotentiaali ++

- ALK on ollut kaupallisesti saatavilla jo vuosia. Sen TRL on 8, ja Euroopassa on sille useita teknologiatoimittajia, kuten Nel Hydrogen, Green Hydrogen Systems ja Enapter.

Edut ++

- Uudet ALK-mallit kehittyvät nopeasti joustavuuden osalta.
- ALK ei sisällä jalometalleja, ja on näin ollen halvin elektrolyysityyppi sekä vähemmän altis materiaalien toimitusriskeille.
- ALK on kypsä elektrolyysiteknologia, sillä on pitkä käyttöikä ja alhaisimmat investointikustannukset elektrolyysityypeistä.

Haitat +

- ALK on muita teknologioita vähemmän joustava ja myös niistä tehottomin.
- Toimitusaika on lähes 3 vuotta tilauksesta.

Lähteet: IRENA 2020, Hydrogen tech world

TRL : Technology Readiness Level on systemaattinen mittari, jota käytetään teknologian kypsyyden ja valmiuden arvioimiseen. 1 on alhaisin ja 9 on korkein taso onnistuneesti käyttöönotetulle teknologialle. 1) Vedyn tasoitettut kustannukset, arvot edustavat LCOH-arvoja, jotka on määritetty sähkön hinnoilla 30 ja 60 EUR/MWh. 2) Yksi toimittaja: Stargate hydrogen

88 6.3.2024 COPYRIGHT AFRY MANAGEMENT CONSULTING OY | ESISELVITYS PYHÄJOEN ENERGIANTUOTANNON KEHITTÄMISESTÄ

KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	~ 500 EUR/KW
OPEX	Keskisuuri (sähkö on suurin käyttökustannus)
LCOH ¹	3,2-4,6 EUR/kg
HANKKEEN kesto	Mittakaavasta riippuen voidaan tilata 12 ² - 36 kuukauden toimitusajalla.

TEKNOLOGIAN TOIMITTAJIEN ESIMERKKEJÄ



Protoninvaihtokalvoelektrolyysit (PEM) ovat myös saatavilla suuressa mittakaavassa, mutta kalliit katalyysaattorimateriaalit nostavat niiden hintaa

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- PEM-elektrolyysissä elektrolyytti on kiinteää erikoismuovia. Vesi reagoi anodilla muodostaen happea ja positiivisesti varautuneita vetyioneja katodilla; vetyionit yhdistyvät ulkoisesta virtapiiristä tulevien elektronien kanssa muodostaen vetykaasua. PEM:n käyttölämpötila on 70-90 °C.
- Useat toimittajat ovat tuoneet markkinoille kaupallisia MW-mittakaavan PEM-elektrolyysereitä niiden joustavuuden vuoksi.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyys ja markkinapotentiaali	+
– PEM on suhteellisen uusi teknologia, joka on kaupallisesti saatavilla mutta vähemmän kehittynyt kuin ALK (TRL 7). Eurooppalaisia teknologiatoimittajia, kuten Nel Hydrogen, McPhy Energy Systems ja Enapter, on saatavilla.	
Edut	++
– PEM on joustavin tarkastelluista teknologioista ja soveltuu hyvin vaihtelevaan energiantuotantoon.	
– PEM:llä on pieni tilantarve, ja sen CAPEX-kulut laskevat jatkuvasti.	
Haitat	+/-
– Kallis teknologia sen sisältämien materiaalien vuoksi, ja sitä on käytetty vähemmän teollisuudessa kuin ALK:ta.	
– Joidenkin PEM:ssä käytettävien materiaalien (iridium, skandium ja yttrium sekä jossain määrin titaani) toimituksiin saattaa tulevaisuudessa liittyä merkittäviä riskejä toisin kuin alkali-elektrolyysin materiaaliessa.	

KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	~ 750 EUR/kW (korkeampi kuin ALK CAPEX)
OPEX	Keskisuuri (sähkö on suurin käyttökustannus)
LCOH¹	3,9-5,4 EUR/kg (korkeampi kuin ALK kaikilla sähkön hinnoilla)
HANKKEEN KESTO	Odotettavissa samankaltainen aikataulu kuin ALK:n kohdalla

ESIMERKKEJÄ TEKNOLOGIAN TOIMITTAJISTA



Lähteet: IRENA 2020, Hydrogen tech world 1) Vedyn tasoitettut kustannukset, arvot edustavat LCOH-arvoja, jotka on määritetty sähkön hinnoilla 30 ja 60 euroa/MWh. TRL = Teknologian valmiustaso (Technology Readiness Level)

Kiinteäoksidielektrolyysin (SOEC) hyötysuhde on korkea, mutta sitä on edelleen saatavilla vain pienessä mittakaavassa

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- SOEC-elektrolyysissä käytetään yleensä elektrolyytinä kiinteää keraamista materiaalia, joka johtaa valikoivasti negatiivisesti varautuneita happi-ioneja (O^{2-}) korkeissa lämpötiloissa (700-800 °C).
- SOEC on kolmesta esitellystä elektrolyysiteknikasta vähiten kehittynyt

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyys ja markkinapotentiaali	-
<ul style="list-style-type: none">- SOEC on kolmesta esitellystä elektrolyysiteknikasta vähiten kehittynyt. SOEC-teknologia on pääasiassa T&K-vaiheessa, ja kaupallistaminen on vasta alkamassa.	
Edut	+
<ul style="list-style-type: none">- SOEC voi tuottaa erittäin puhdasta vetyä- SOEC toimii korkealla hyötysuhteella	
Haitat	+/-
<ul style="list-style-type: none">- SOEC on edelleen saatavilla vain pienessä mittakaavassa- Erittäin korkeiden käyttölämpötilojen vuoksi SOEC vaatii lämmönlähteen, ja lämpöhukkaa syntyy merkittävästi.	

KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	~ 800 EUR/kW (korkeampi kuin ALK ja PEM)
OPEX	Keskisuuri (sähkö on suurin käyttökustannus)
LCOH¹	3,19-4,3 EUR/kg (edullisempi kuin ALK kaikilla sähkön hinnoilla).
HANKKEEN KESTO	Teknologian kypsyttyä voidaan odottaa samanlaista aikataulua kuin ALK:n kohdalla.

ESIMERKKEJÄ TEKNOLOGIAN TOIMITTAJISTA

Bloomenergy[®]

HALDOR TOPSOE 

Lähteet: IRENA 2020, Hydrogen tech world 1) Vedyn tasoitettut kustannukset, arvot edustavat LCOH-arvoja, jotka on määritetty sähkön hinnoilla 30 ja 60 euroa/MWh.

Ammoniakki on maailmanlaajuinen hyödyke, jolla on useita mahdollisia käyttötarkoituksia tulevaisuudessa

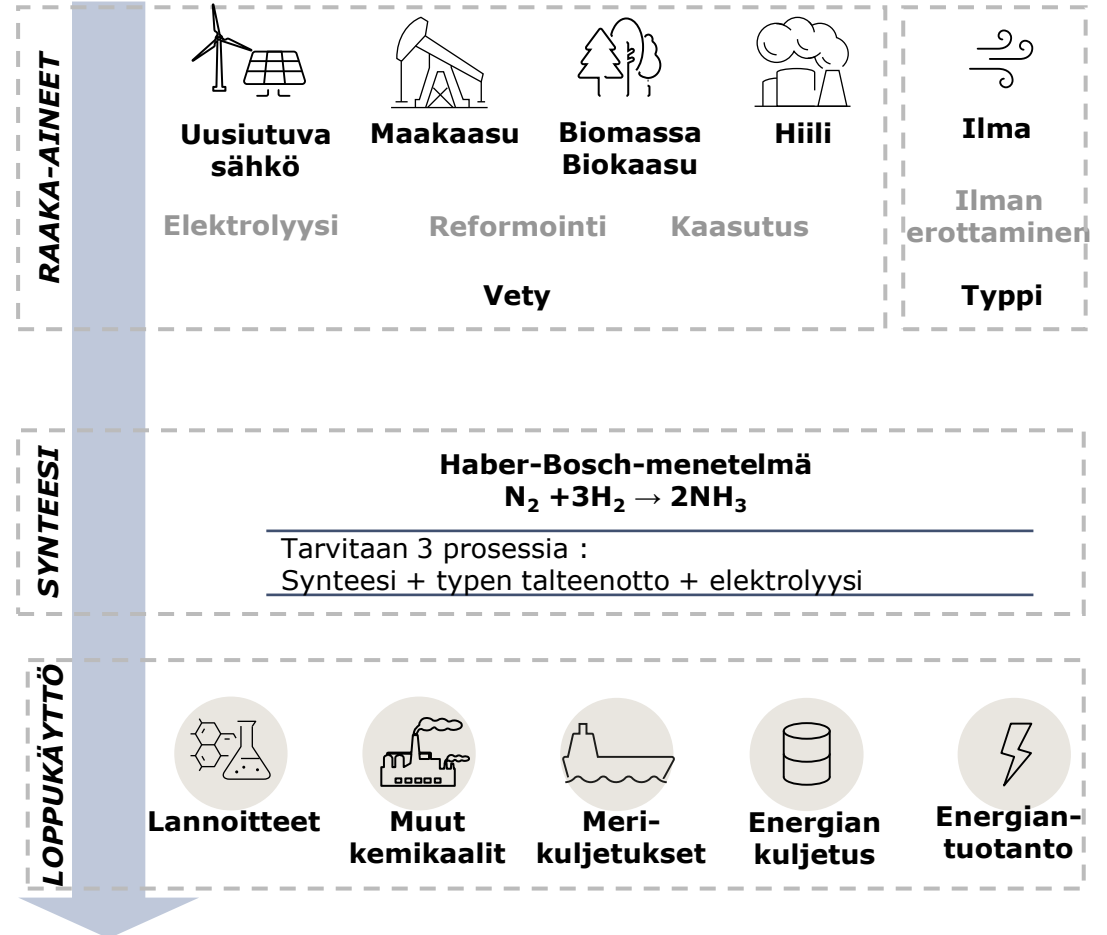
- 1 Ammoniakki on tärkeä maailmanlaajuinen hyödyke**

 - Ammoniakki on kemiallinen hyödyke, jota käytetään pääasiassa **lannoitteiden** valmistukseen. Se on nestemäistä alle -33,3 °C:n lämpötilassa normaalissa ilmanpaineessa. Nestemäisen ammoniakkin varastoinnissa ei tapahdu haihtumista.
- 2 Ammoniakin osuus vedyn kulutuksesta on suuri**

 - Maailmanlaajuinen kulutus on noin 183Mt. Ammoniakkia johdetaan vedystä, ja sen osuus vedyn maailmanlaajuisesta kulutuksesta on tällä hetkellä noin 34%. Ammoniakkia muodostuu spontaanisti korkeissa lämpötiloissa (400-500 °C) ja paineessa (100-250 bar) katalyytin (yleensä raudan) läsnä ollessa.
- 3 Synteettinen ammoniakki**

 - Ammoniakilla on potentiaalia puhtaana polttoaineena meriliikenteessä sekä vedyn kantajana ja kiinteässä energiantuotannossa.
- 4 Turvallinen käsittely on ammoniakkin keskeinen haaste**

 - Vaikka uusiutuvan ammoniakkin odotetaan olevan taloudellisin ja energiatihein puhdas polttoaine, ammoniakilla on edessään turvallisuus- ja sääntelyhaasteita ennen kaupallisen toteutettavuuden saavuttamista.



Vihreän ammoniakkin tuotanto Haber-Bosch-menetelmällä on kaupallisen tason teknologia, jonka investointikustannukset ovat suhteellisen alhaiset

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- Ammoniakkia syntetisoidaan reagoimalla vetyä ja typpeä korkeassa paineessa ja lämpötilassa katalyytin avulla ('Haber-Bosch-prosessi').
- Uusiutuva ammoniakkisynteesi on kypsä teknologia, joka perustuu samaan prosessiin kuin nykyinen fossiilinen Haber-Bosch-prosessi, jossa käytetään maakaasun reformoinnilla tuotettua fossiilista vetyä. Uusiutuvassa ammoniakissa fossiilinen vety korvataan vihreällä vedyllä.
- Prosessissa tarvitaan typpeä, jota tuotetaan ilmanerotusyksiköllä (ASU).

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyys ja markkinapotentiaali

- Haber-Bosch-prosessi on vakiintunut kaupallinen teknologia, jonka TRL on 9. Useita eurooppalaisia teknologiatoimittajia on saatavilla. Vihreän ammoniakkin tuotannon markkinapotentiaalia pidetään melko suurena uusiutuvan energian kysynnän kasvun vuoksi. **++**

Edut

- Ammoniakki on kustannustehokkain synteettisen polttoaineen teknologiareitti korkean hyötysuhteen ansiosta, sillä tyypillisesti saavutetaan 97 prosentin muuntotehokkuus. Ammoniakki tuotetaan tiivistettynä nestemäisessä tilassa, joten ammoniakkin muuntamisesta kuljetuskelpoiseen tilaan ei aiheudu lisäkustannuksia. **++**

Haitat

- Haber-Bosch-prosessi vaatii toimiakseen huomattavan määrän energiaa. Teknologia on suunniteltu suuren mittakaavan tuotantoa varten, ja sen skaalaaminen pienemmäksi uusiutuvan sähkön ja uusiutuvan vedyn saatavuuden perusteella voi olla haastavaa. Ammoniakista tulee myrkyllistä, kun se vuotaa tai palaa. **+**

Hankkeen aikataulu, riskit ja epävarmuustekijät

- Ammoniakin tuotantolaitosten arvioidut projekti aikataulut vaihtelevat 3-4 vuoden välillä*. **+**

KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	Matala (~100€ ammoniakkitonnia kohti, kun otetaan huomioon vain Haber-Bosch-laitos, ~400€ ammoniakkitonnia kohti koko prosessissa, mukaan lukien elektrolyysi ja synteasilaitos). ¹
OPEX	Keskisuuri
LCOA	~1000€ ammoniakkitonnia kohti, mukaan lukien elektrolyysi ja synteasilaitos (Haber-Bosch-prosessin odotetaan aiheuttavan ~15% kustannuksista). ¹
HANKKEEN KESTO	~3-4 vuotta*

ESIMERKKEJÄ AMMONIAKIN TUOTANTOON TARKOITETUN TEKNOLOGIAN TOIMITTAJISTA

TOPSOE



OCI Global

TRL : Technological Readiness Level; järjestelmällinen mittari, jota käytetään teknologian kypsyyden ja valmiuden arvioimiseen. 1 on alhaisin ja 9 korkein taso teknologialle, joka on otettu onnistuneesti käyttöön LCOA: Ammoniakin tasoitettujen kustannukset 1. EIA - Global Hydrogen Review 2022 * Perustuu julkisesti ilmoitettuihin arvioihin teollisen mittakaavan osalta, joita ovat tehneet esimerkiksi Yara, Saipem ja Flexens.

Vedyn nesteytys merikuljetusta varten on kallista, koska sen vaatii erittäin alhaisen lämpötilan

YHTEENVETO TEKNIIKASTA

- Vedyn nesteytys on prosessi, jossa vetykaasu tiivistetään nestemäiseen tilaan laskemalla sen lämpötila alle -253C asteeseen. Tässä nestemäisessä muodossa vedyn energiatiheys on paljon suurempi, tehden siitä käytännöllisemmän varastointia ja pitkiä kuljetuksia varten.
- Suurimmat kaasunjalostusteknologiayritykset toimittavat vetyjen nesteytysteknologiaa. Kustannustehokkuus on alhainen prosessin äärimmäisten olosuhteiden tehdessä siitä erittäin energiaintensiivisen.
- Kuljetus nestemäisenä kryogeenisten rekkojen avulla on uusi menetelmä, joka ei ole vielä saavuttanut kaupallista kypsyyttä tarpeellisen infrastruktuurin puutteen vuoksi.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyyys ja markkinapotentiaali

- Vedyn nesteytyksen TRL on 7, mutta nestemäistä vetyä kuljettavien alusten kaupallinen saatavuus on tällä hetkellä rajallista tämän kryogeenisen aineen käsittelyyn ja varastointiin liittyvien haasteiden ja kustannusten vuoksi. +

Edut

- Nestemäistä vetyä voidaan kuljettaa pidempiä matkoja ja varastoida pidempiä aikoja, mikä mahdollistaa suuremman joustavuuden vaihtelevan kysynnän tyydyttämiseksi tai toimitusvajaiden täyttämiseksi. +

Haitat

- Vedyn alhaisen tiheyden vuoksi tarvitaan suuria säiliökapasiteetteja. -
- Jäähdytykseen kuluu 30 prosenttia vedyn alkuperäisestä määrästä, mikä vaikuttaa nesteytyksen kustannuksiin ja käytännöllisyyteen.
- Vedyn loppukäytössä tarvitaan uudelleenkaasutuslaitteita.
- Vetyä kiehuu pois toimituksen aikana noin 0,2-1 % päivässä ja se on myös on syttyvää.

Vedyn nesteytyksen CAPEX- ja OPEX-luvut voivat vaihdella hankkeen laajuuden, teknologian, sijainnin ja muiden tekijöiden mukaan. TRL : Technological Readiness Level; järjestelmällinen mittari, jota käytetään teknologian kypsyyden ja valmiuden arvioimiseen siten, että 1 on alhaisin ja 9 korkein taso onnistuneesti käyttöönotetulle teknologialle.

KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX (vain nesteytyslaitos, lukuun ottamatta vedyn tuotantolaitosta)	Korkea: 1 000-5 000€ nesteytetyn vedyn tuotantokapasiteettitonniä kohti
OPEX	Korkea: 100-500 €/tonni/vuosi

ESIMERKKEJÄ TEKNOLOGIAN TOIMITTAJISTA



Kaasumaisen vedyn puristaminen putkikuljetusta varten on kannattavampaa, mutta riippuu putkistojen toteutuksista

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- Kaasumaista vetyä pidetään paineen alaisena säiliöissä tai putkistoissa. Puristaminen vaatii vähemmän laitteita ja energiaa kuin nesteyttäminen, mutta vaatii suuria kompressoreita suhteellisen alhaisen energiatihedyyden vuoksi.
 - Rekkakuljetukset: 200-500 bar
 - Putkisto: enemmistö <100 bar
- Vetyputkistojen avulla voidaan toimittaa suuria määriä paineistettua vetyä pitkien matkojen päähän, ja sitä voidaan kuljettaa myös rekoilla.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyys ja markkinapotentiaali ++

- Toteutuskelpoinen teknologia, jolla on todistetusti käytössä olevia laitoksia ja eurooppalaisia teknologiatoimittajia, kuten Linde ja Siemens Energy.

Edut

- Kaupallisesti saatavilla oleva vaihtoehto, joka on houkutteleva, jos putkisto toteutetaan ja vedyn loppukäyttäjä on tiedossa. +

Haitat

- Putkistot edellyttävät laajaa rakenteellista testausta. Vety voi haurastuttaa teräspankistojä ja lisätä vuotojen riskiä. +/-
- Rekoilla kuljetettavan vedyn määrä on yleensä rajoitettu tieliikennelainsäädännön vuoksi, ja myös vedyn varastointi edellyttää suuria säiliökapasiteetteja.
- Kompressoriluotettavuus on haastavaa. Lisää myös turvallisuusriskejä, koska vety palaa paljon nopeammin kuin maakaasu lisäten liekkien leviämiskiskiä.

KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

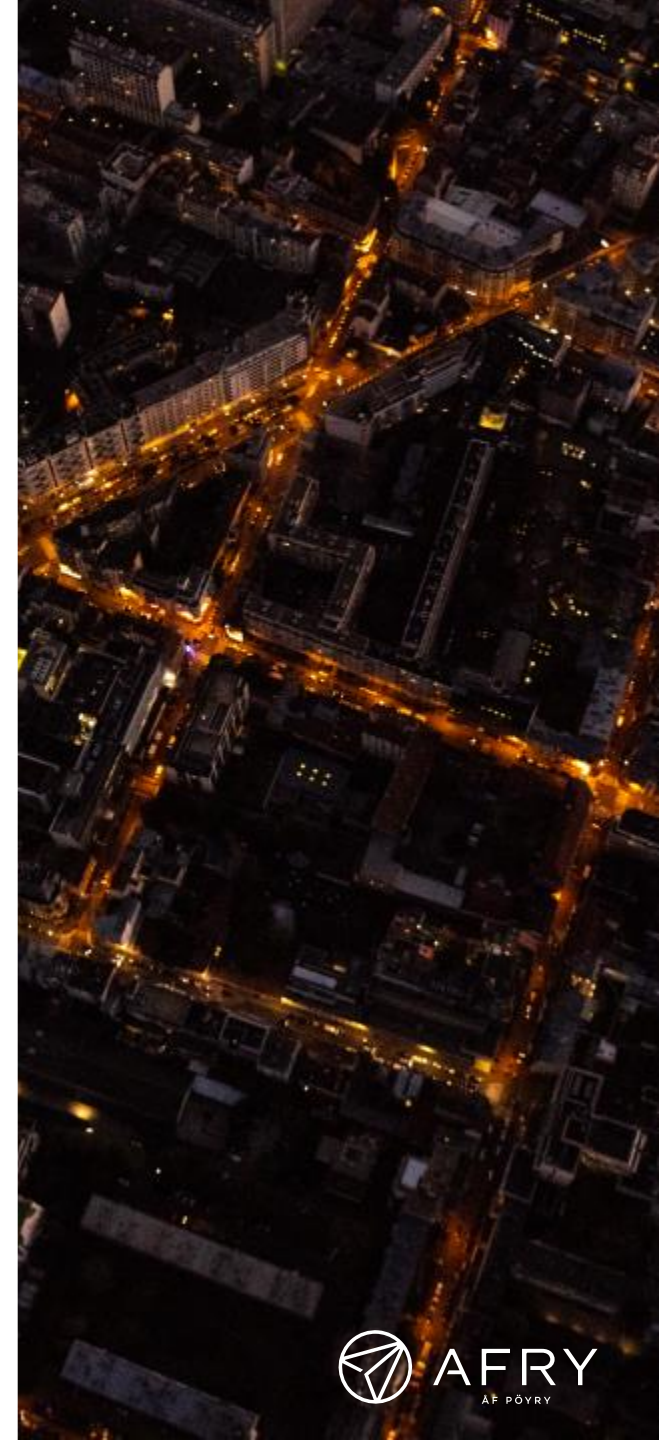
Mittari	Arvo
CAPEX	Keskisuuri: noin 500-2000€ vetytonnin kompressointikapasiteettia kohden
OPEX	Keskisuuri: 50-150€ vuodessa tuotettua vetytonnia kohti (alhaisempi kuin nesteytyksessä, koska kompressointi ei edellytä vedyn olomuodon muuttamista)

ESIMERKKEJÄ TEKNOLOGIAN TOIMITTAJISTA



Sisältö

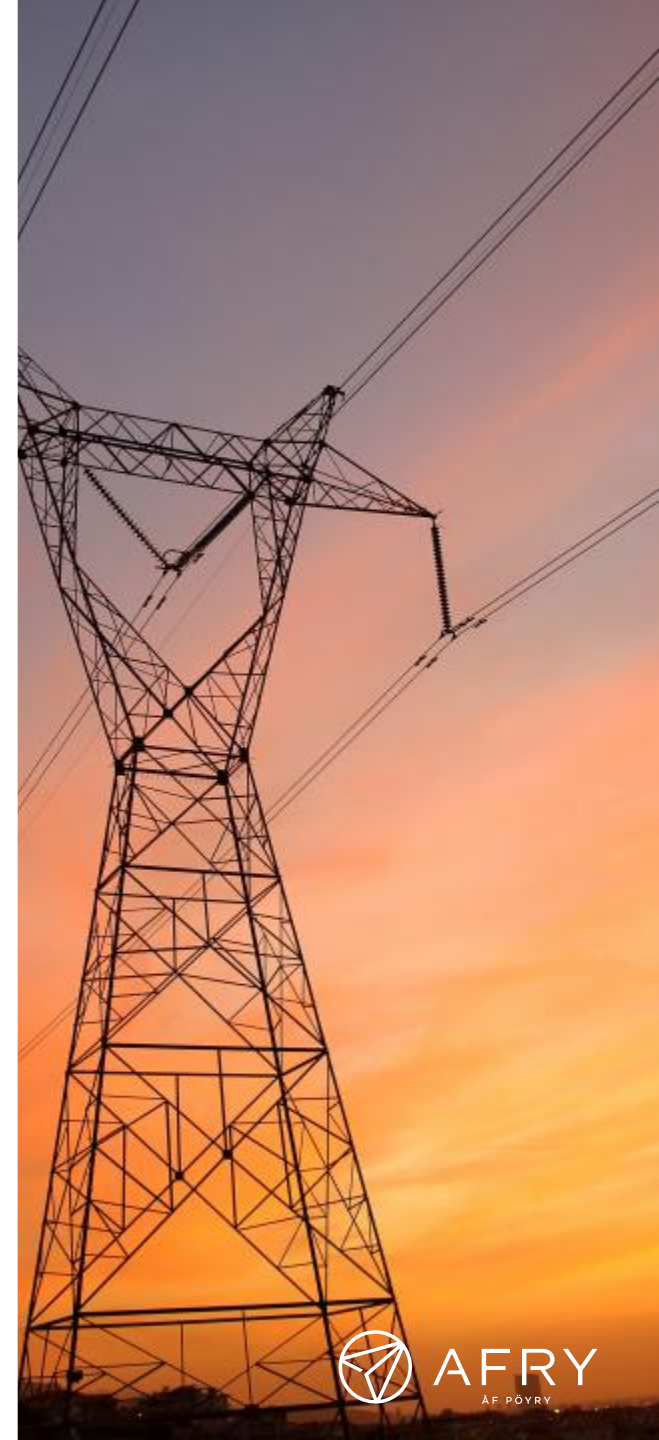
1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
 - 4.1 Teknologian kartoitus
 - 4.2 Alueellisen infrastruktuurin arviointi
 - 4.3 Teknologian toteutettavuuden ja potentiaal arviointi
 - 4.4 Toimittajakartoitus ja toimitusvalmiuden arviointi
5. Sidosryhmien kiinnostuksen ja valmiuden arviointi uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyky arviointi
7. Päätelmät



4.3 ALUEELLISEN INFRASTRUKTUURIN ARVIOINTI

Toimipaikan infrastruktuuria, sijaintia ja kykyä yhdistää eri teknologioita pidetään eri teknologioiden keskeisinä arvon tuottajina

- Alueellisen infrastruktuurin arviointi suoritettiin valitsemalla muutamia keskeisiä elementtejä ja tutkimalla niiden merkitystä kyseisten teknologioiden kannalta.
- Arvioinnissa otettiin huomioon neljä pääpiirrettä, joilla kullakin on omat alaluokkansa.
 - **Alueen infrastruktuuri;** maa-alue, rakennustyöt, rakennukset, satama, vesiliittymä, verkkoyhteys, kaavoitus ja luvat
 - **Alueen sijainnin yleinen soveltuvuus;** Alueen sijainti yleensä (esim. rannikon läheisyys, lähellä oleva teollisuus, melko maaseutumainen sijainti)
 - **Mahdollisuus yhdistää eri vaihtoehtoja alueella;** Voidaanko kyseinen teknologia yhdistää muihin teknologioihin samassa kohteessa?
 - **Alueeseen liittyvät riskit / edut / haitat verrattuna muihin harkittaviin tekniikoihin**

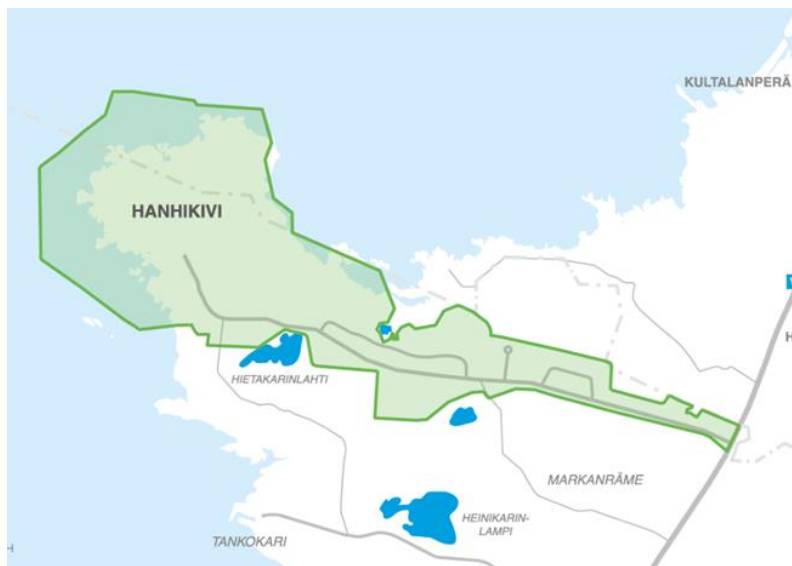


TAUSTA

Hanhikivi on suuri alue, jossa on valmius ydinvoimalakäyttöön

Hanhikiven aluetta on valmisteltu ydinvoimalan käyttöön. Merkittäviä tehtyjä töitä ovat mm. seuraavat:

- Suuret maanrakennustyöt, tiet ja valmistelut
- Rakennukset
- Satama (pääasiassa vedenalaiset työt)
- Sähköverkkoon liittymisen valmistelut
- Kaavoitus ja lupamenettelyt



Fyysiset

Alue: Fennovoiman omistama maa- ja vesialue yhteensä 557 ha.

Rakennustyöt: Teiden rakennusta, maanrakennustöitä ja valmisteluita ~115 ha:n alueella.

Rakennukset: Yhteensä 3 pysyvää rakennusta: koulutusrakennus 1167 m², turvaporttirakennus 1147 m² ja hallinto-/toimistorakennus 9665 m².

Satama: Sataman vedenalaiset työt on saatu päätökseen, maarakennukset ovat kesken. Vesiväylän syvyys on 8 m ja leveys 80 m.

Yhteydet

Vesiliitäntä: Nykyinen makean veden ottokapasiteetti max 1200 t/vrk.

Verkkoyhteys: Jakeluverkkoyhteys tällä hetkellä 5 MW:n kapasiteetilla, 2x5,5 MW varalla. Perussuunnittelu, kaavoitus ja lupamenettelyt valmiina 2x400 kV + 2x110 kV siirtoverkkoyhteyksiä varten.

Muut

Kaavoitus: Kaavoitus on tarkoitettu energiantuotantoa ja tukitoimintoja varten, ja se on tarkemmin määritelty ydinvoimalalle.

Luvat: Vesilupa 3200 MW:n jäähdytyslämpökuormaa varten mereen ja sataman rakentaminen. Ydinvoimalan ympäristölupa. Kemikaalilupa.

TAUSTA

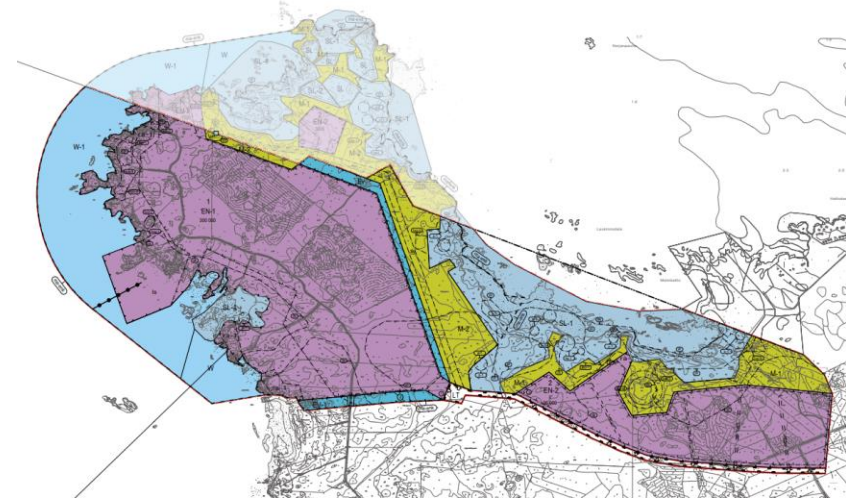
Olemassa olevia lupia ei voi sellaisenaan hyödyntää uutta toimintaa varten Hanhikivellä, mutta ne tarjoavat hyvän lähtökohdan uusille projekteille

Hanhikiven kaavoitus

- Hanhikiven pääalue on tällä hetkellä kaavoitettu energiantuotantoon tarkoitetuksi alueeksi, tarkempana määritelmänä ydinvoimala.
 - Käytännössä mikä tahansa muu toiminta edellyttäisi kaavamuutosta.
 - Kaavoituksen muuttaminen ei todennäköisesti ole vaikeaa, mutta se vie normaalisti aikaa. Riski valituksista tai luonnonsuojeluhavainnoista on pienempi kuin koskemattomalla alueella, mutta riski on silti olemassa.
- Verkkoysteysuunnitelmat sisältyvät alueelliseen maankäyttösuunnitelmaan, eivätkä ne edellytä maankäyttösuunnitelman muuttamista.

Hanhikiven ympäristöluvut





- Tällä hetkellä ydinvoimalalla on ympäristölupa, sataman ja jäähdytysveden vesilupa sekä kemikaalilupa.
- Nykyisiä lupia ei voida sellaisenaan käyttää uuteen toimintaan alueella vaan sitä varten tarvitaan uudet luvat ja uusi YVA (jos uusi toiminta edellyttää YVA:aa).
 - Se, että nämä olemassa olevat luvat on myönnetty, voi antaa uudelle rakennuttajalle jonkinlaista varmuutta, varsinkin jos uuden toiminnan aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat samankaltaisia kuin ydinvoimalan aiheuttamat.
 - Luvat arvioidaan kuitenkin tiettynä ajankohtana, ja esimerkiksi ympäristön tila on voinut muuttua sen jälkeen, kun voimassa olevat luvat on myönnetty.



Alueella tehdyt rakennustyöt saattaisivat tuottaa arvoa myös alueen uudelle käyttäjälle

	Kuvaus	Potentiaalia uudelle käyttäjälle
Maa-alue	Maanhankinta	Maa-aluetta tarvitaan kaikkeen toimintaan, vaikka Hanhikivi on suuri alue verrattuna moniin käyttötarkoituksiin. Kustannukset ovat kaiken kaikkiaan pienet.
Rakennustyöt	Maanrakennustyöt, tiet, perustukset jne.	Kaikki teollinen toiminta edellyttää valmisteluja alueella, mutta vain tarvittavan alueen osalta. Hanhikivessä valmisteltu alue on moniin käyttötarkoituksiin nähden hyvin suuri.
Rakennukset	Ydinvoimalaitoksen rakentamiseen ja käyttöön tarvitaan huomattava määrä henkilöstöä. Rakennuksia tarvitaan vastaava määrä.	Monet alueen mahdolliset muut käyttötarkoitukset edellyttävät huomattavasti vähemmän henkilöstöä, mikä vähentää rakennustilojen tarvetta.
Satama	Vedenalaiset työt tehty. Satamarakenteita, tukitoimintoja jne. tarvitaan edelleen.	Noin puolet kustannuksista on jo toteutunut, mutta sataman valmiiksi saaminen edellyttää vielä merkittäviä investointeja.
Vesiliitäntä	Kustannukset sisältyvät kohtaan "Rakennustyöt". Makean veden enimmäisottokapasiteetti 1200 t/vrk.	Makean veden ottokapasiteetti voisi rajoittaa runsaasti vettä käyttävää teollisuutta.
Verkkoyhteys	Liittyminen siirtoverkkoon on hyvin valmisteltu, rakentamista ei ole aloitettu.	Siirtoverkkoyhteyttä tarvitaan moniin mahdollisiin käyttötarkoituksiin, joko tuotantoon tai kulutukseen. Hanhikiven suunniteltu siirtokapasiteetti hyvin suuri verrattuna useimpiin muihin käyttötarkoituksiin. Vain pieni osuus tarvittavista kustannuksista on toistaiseksi toteutunut.
Kaavoitus & luvat	Kaavoitus energiantuotantoa varten. Ympäristöluvat, suurin vaikutus on jäähdytysveden käytöllä.	Käytännössä kaikki luvat on haettava uudelleen uutta toimintaa varten. Uudet toiminnot, joilla on nykyisiä lupia pienemmät ympäristövaikutukset, ovat todennäköisesti vahvoilla uusissa lupaprosesseissa. Esim. ympäristön tilassa tapahtuneet muutokset voivat kuitenkin vaikuttaa lupien saantiin.

Toimipaikan infrastruktuuria, sijaintia ja kykyä yhdistää eri teknologioita pidetään eri teknologioiden keskeisinä arvon tuottajina

	 Alueen infrastruktuuri	 Alueen sijainnin yleinen soveltuvuus	 Mahdollisuus yhdistää eri vaihtoehtoja alueella	 Riskit / edut / haitat
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Luokitus ++ Erittäin positiivinen + Positiivinen +/- Neutraali - Negatiivinen </div>			
Ydinvoima - suuri mittakaava	++	++	+/-	Alue on alustavasti valmisteltu suuren mittakaavan ydinvoimalaa varten.
Ydinvoima - SMR	+	+	+	Alue voisi tarjota tilat useille pienydinreaktoreille tai pienydinreaktoreille yhdistettynä muihin teknologioihin.
Vihreä vedyntuotanto - Kaikki elektrolyysiteknologiat	++	++	++	Alue soveltuu hyvin kaikille kolmelle elektrolyysiteknikalle; ne eivät eroa toisistaan merkittävästi laitosalueen vaatimusten kannalta.
Vihreä ammoniakki	+	+	++	Haber-Bosch-laitos voitaisiin yhdistää alueella vihreän vedyn tuotantolaitokseen. Vaatii sataman.
Vedyn nesteytys	+	+	+	Vaatii sataman.
Vedyn puristus	+	+	+	Vaatii vetyputken.

Hanhikivi soveltuu suurelle ydinvoimalalle tai yhdelle tai useammalle SMR-voimalalle

YLEISET VAATIMUKSET YDINVOIMALAN SIJOITUSPAIKALLE



Veden saatavuus

Riittävästi vettä käytettäväksi reaktorin jäähdytysnesteenä ja muuna prosessivetenä



Lopullisen jäähdytyselementin saatavuus

Perimmäinen jäähdytyselementti, joka siirtää pois voimalaitoksen tuottaman lämmön (yleensä suuri vedenotto- ja poistojärjestely)



Etäisyys asutusta alueesta

Turvallisuussyistä (esim. pelastussuunnittelu ja paikallinen kaavoitussuunnittelu) suurille ydinvoimaloille on arvioitava 5 km:n suojavyöhyke ja 20 km:n varautumisalue.



Liikenne ja saavutettavuus

Erityisesti rakennusvaiheessa tarvitaan raskaita kuljetuksia. Käyttövaiheessa ydinpolttoaineen turvalliset kuljetukset asettavat vaatimuksensa.



Sähköverkkoliitännä

Voimalaitos tarvitsee sähköverkkoliitännän sähkön siirtoa varten ja sähkön saamiseksi omiin tarkoituksiinsa.



Maa-alue

Tarpeeksi tilaa itse laitokselle sekä kaikkien laitoksen tukitilojen järjestämiseen.



Ulkoisten uhkien huomioon ottaminen

Yleinen geologinen sijainti on arvioitava turvalliseksi ympäristövaarojen ja laitoksen turvallisuustoimenpiteiden järjestämismahdollisuuksien kannalta.

HANHIKIVEN SOVELTUVUUS YDINVOIMALLE



Makean veden liitännä saatavilla 1200 m³ päivittäiseen käyttöön. Prosessiveden tuotantolaitos ja muut tukitilat rakennetaan laitoksen tarpeiden mukaan.



Sijainti Suomen rannikolla mahdollistaa meriveden lopulliseksi jäähdytyselementiksi. Lupa 3200 MWth:n lämpökuormalle (45 m³/s) on olemassa/saatavilla.



Hanhikivenniemi sijaitsee melko syrjäisellä alueella. Noin 500 ihmistä asuu suojavyöhykkeen sisällä ja 11-12 tuhatta varautumisalueella.



Laitosalue sijaitsee valtatie 8:n välittömässä läheisyydessä ja sillä on oma satama, josta on 8 metriä syvä vesiväylä mereen. Satamarakenteet eivät ole täysin valmiita.



Alueella ei ole vielä vaadittua 400kV liitännää, mutta ympäristövaikutusten arviointi, esisuunnittelu, sekä alueellinen maankäyttösuunnitelma ottavat huomioon kyseisen liitännän tulevaisuudessa.



Alustava maa-alueen suunnittelu on tehty 1200MWe ydinvoimalan tarpeita ajatellen. Maa-alue voidaan nähdä sopivaksi ydinvoimalalle.



Ulkoiset uhat kuten ympäristöilmiöt on otettu huomioon, kun aluetta suunniteltiin Fennovoiman käyttöön ja Fennovoiman hakiessa rakentamislupaa. Suomi voidaan yleisesti ottaen nähdä turvallisenä sijaintina ydinvoimalalle.

Suuri ydinvoimala olisi optimaalinen ratkaisu alueen hyödyntämisen kannalta

+ Arvo ○ Ei sovelleta/ei arvoa □ Deal breaker

KOHDEALUEEN ARVO		
Infrastruktuuuri		
Jäähdytysvesi	++	Lupa ja alustava rakenne suuren ydinvoimalan jäähdytystarkoituksiin (~3200 MWth jäähdytyslupa).
Satama	+	Satamaa voitaisiin hyödyntää lähinnä ydinvoimalahankkeen rakennusvaiheessa, mutta myöhemmin sille on hyvin vähän käyttöä.
400 kV:n suunnitelma	++	Suuri ydinvoimala edellyttää 400 kV:n verkkoyhteyttä.
Rakennustyöt	++	Tehdyt rakennustyöt on suunniteltu ydinvoimalaitoksen käyttöön.
Rakennukset	++	Jo rakennetut rakennukset voisivat tarjota tilat ainakin alueen omistajan henkilökunnalle.
Kaavoitus & luvat	++	Kaava-suunnitelma ja ympäristöluvut valmisteltu suuren mittakaavan ydinvoimalalle.

MUUT TEKIJÄT		
Sijainti	++	Alueen sijainti on suunniteltu suuren mittakaavan ydinvoimalalle.
Alue	++	Alustavien suunnitelmien mukaan alue on sopiva ja riittävän suuri ydinvoimalan käyttöön.
Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja		
Pinta-ala	○	-
Sähköverkkoyhteys	○	-
Yhteenveto		
<p>Hanhikiven laitosalue soveltuu erinomaisesti suurelle ydinvoimalalle, koska se on alun perin suunniteltu sitä varten. Laitosalueen valmius (maanrakennustyöt yms.) tarjoaa säästöjä uuden ydinvoimalan rakentamiseen.</p>		

Hanhikiven aluetta voitaisiin hyödyntää SMR-voimaloille yhtäläillä kuin suurelle ydinvoimalalle

+ Arvo ○ Ei sovelleta/ei arvoa □ Deal breaker

KOHDEALUEEN ARVO		
Infrastrukturi		
Jäähdytysvesi	++	Jäähdytysvettä riittää mahdollisesti useammalle SMR-voimalalle
Satama	+	Satamaa voitaisiin hyödyntää lähinnä ydinvoimalahankkeen rakennusvaiheessa, myöhemmin sille on hyvin vähän käyttöä.
400 kV:n suunnitelma	++	Suunniteltua verkkoyhteyttä voidaan pitää arvokkaana erityisesti, jos rakennettavien SMR-voimaloiden mittakaava on satoja megawatteja.
Rakennustyöt	+	Tehdyt rakennustyöt voisivat tukea suurempaa teollisuushanketta, kuten SMR-projektia.
Rakennukset	+	Rakennukset voisivat tukea SMR-hanketta kuten mitä tahansa muutakin suurempaa projektia erityisesti hankevaiheessa.
Kaavoitus & luvat	+	SMR-projekti voisi hyötyä nykyisistä suurelle ydinvoimalalle suunnatuista kaavoituksista ja luvista

MUUT TEKIJÄT		
Sijainti	+	Yleisesti ottaen hyvä sijainti, koska SMR:n jäähdytys on alueella varmistettu. Kaukolämpökäyttöä ajatellen kunnat ovat melko kaukana laitosalueelta.
Alue	+	Todennäköisesti soveltuu useammalle SMR-laitokselle.
Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja		
Pinta-ala	+	Tulevaisuudessa SMR-voimaloiden tuottamaa sähköä ja/tai lämpöä voitaisiin hyödyntää samassa alueella sijaitsevan teollisen energiankäyttäjän toimesta.
Sähköverkkoyhteys	○	-
Yhteenveto		
SMR-laitosten perustarpeet (erityisesti jäähdytys) voidaan tyydyttää Hanhikiven alueella.		

SMR = pienydinreaktori (Small Modular Reactor)

Sähkön saatavuus ja lopputuotteiden logistiikka ovat vihreän vedyn tai ammoniakin tuotannon tärkeimmät vaatimukset

YLEISET VAATIMUKSET VEDYN JA SYNTEETTISEN AMMONIAKIN TUOTANTOPAIKALLE



Vihreän vedyn tuotanto

- Suuren kapasiteetin sähköntarjonta
- Suuren kapasiteetin makean veden tarjonta
- Jäähdytysvesi tai muu ratkaisu hukkalämpöä varten
 - Kaukolämpöverkko tai muu lämmön tarve voisi hyödyntää hukkalämpöä.
- Tuotetun vedyn logistiikka
- Jäteveden käsittely



Synteettisen ammoniakin tuotanto

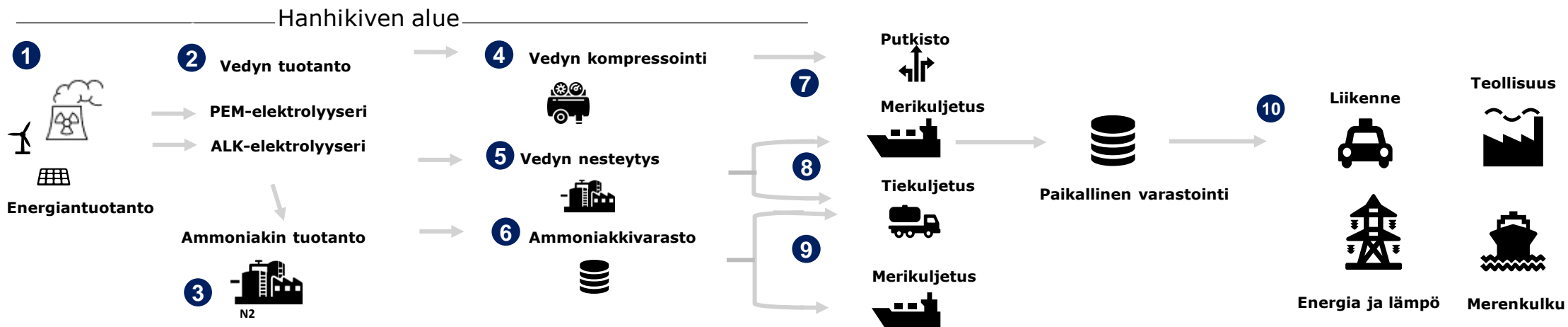
- Ilmasta otettava kaasumainen typpi
- Prosessi edellyttää korkeita lämpötiloja ja painetta ja siten huomattavaa energiamäärää.
- Nestemäisen ammoniakin logistiikka, rekoilla tai sataman kautta.



Yleistä

- Sopiva teollisuusalue, suhteellisen suuri pinta-alavaatimus
- Vaarallisten kemikaalien lupa
- Tiukat turvallisuusvaatimukset ammoniakin myrkyllisyyden ja vedyn helpon syttyvyyden vuoksi.

Useita PtX-arvoketjun vaiheita voitaisiin toteuttaa Hanhikiven alueella vihreän vedyn ja ammoniakin tuottamiseksi sekä kuljettamiseksi



Tuotanto	Käsittely	Kuljetus	Loppukäyttö
<p>1 <u>Energiantuotanto</u> Aurinko- tai tuulivoimalla tuotettu uusiutuva sähkö. Ydinvoimalla tuotettu vähähiilinen sähkö.</p> <p>2 <u>Vihreän vedyn tuotanto</u> Alkali- tai PEM-elektrolyysillä tuotettu vety</p> <p>3 <u>Vihreän ammoniakin tuotanto</u> Vihreä ammoniakki, joka on tuotettu Haber-Bosch-menetelmällä käyttäen ilmasta erotettua vihreää vetyä ja typpeä.</p>	<p>4 <u>Vedyn kompressointi</u> Vety puristetaan korkeaan paineeseen (esim. 350-700 bar) korkeapainesylintereihin varastointia sekä kuljetusta varten.</p> <p><u>Vedyn nesteytys</u></p> <p>5 Vety puristetaan ja jäädytetään kryogeeneen lämpötilaan (noin -253 °C) nestemäisen tilan saavuttamiseksi.</p> <p>6 <u>Ammoniakin varastointi</u> Ammoniaki varastoidaan säiliöön nestemäisenä -33 °C:n lämpötilassa ja normaalissa ilmanpaineessa.</p>	<p>7 <u>Kompressoitun vedyn kuljetus</u> Putkistot ovat tehokas tapa siirtää suuria määriä vetyä pitkien matkojen päähän.</p> <p>8 <u>Nestemäisen vedyn kuljetus</u> Nestemäinen vety kuljetetaan erityisissä kryogeenisissä säiliöissä, jotka on tyhjiöeristetty kaksoisseinän vuotojen estämiseksi ja sen varmistamiseksi, että vety pysyy nestemäisessä tilassaan.</p> <p>9 <u>Ammoniakin kuljetus</u> Loppukäyttäjän sijainnista riippuen kuljetus voidaan suorittaa laivalla tai rekoilla.</p>	<p>10 Ammoniakin kantaja-aineesta ja loppusovelluksesta riippuen voidaan tarvita dekonversio- tai krakkausinfrastruktuuria. Ammoniakilla on useita käyttökohteita:</p> <p><u>Vedyn ja ammoniakin nykyiset käyttökohteet</u> Teollisuuden alat, mukaan lukien kemikaalit, tekstiilikuitujen valmistus, lasi, elektroniikka ja metallurgia.</p> <p><u>Muut mahdolliset käyttökohteet</u> Liikennepolttoaine, mukaan lukien suorapolttomootori/turbiini Energiavarasto sähköntuotannolle</p>

Hanhikivi on sopiva paikka vihreän vedyn tuotantoon - suunnitellun vetyputken läheisyys on merkittävä etu

+ Arvo ○ Ei sovelleta/ei arvoa □ Deal breaker

KOHDEALUEEN SOVELTUVUUS

Infrastrukturi		
Jäähdytysvesi	+	Elektrolyysi tarvitsee jäähdytysvettä, vaikkakin huomattavasti vähemmän kuin ydinvoimala.
Satama	+	Satamaa voitaisiin käyttää nestemäisen vedyn kuljetukseen
400 kV:n suunnitelma	++	Suuren mittakaavan elektrolyysi vaatii suuritehoisen sähkönsyötön.
Rakennustyöt	+	Elektrolyysi ja sitä tukevat toiminnot kohteessa vaativat suhteellisen suuren pinta-alan, joskaan ei läheskään niin paljon kuin Hanhikivellä olisi tarjota.
Rakennukset	+	Suuren mittakaavan vety- tai synteettisen polttoaineen tuotanto edellyttäisi henkilökuntaa, ja rakennuksia tarvittaisiin siten useisiin käyttötarkoituksiin.

MUUT TEKIJÄT

Sijainti	++	<ul style="list-style-type: none"> Suunnitellun vetyputken (Nordic Hydrogen Route) läheisyys on merkittävä etu vedyntuotannolle. Lähelle suunnitellut merituulivoimalat voivat tuoda synergiaetuja. Ei kaukolämpöverkkoa elektrolyysin hukkalämmön hyödyntämiseksi
Makean veden ottokapasiteetti	○	Nykyinen makean veden ottokapasiteetti kunnalta on 1200 tonnia päivässä, mikä rajoittaa elektrolyysin koon noin 100 MW:iin, joka tuottaa 15 000 tonnia vetyä vuodessa . ¹
Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja		
Pinta-ala	+	Vedyn tuotanto jättäisi paljon aluetta muuhun käyttöön.
Sähköverkkoysteys	+	Elektrolyysi edellyttää suurta syöttökapasiteettia. Kapasiteettia saatavilla sähköntuotannolle, esim. merituulivoima.
Yhteenveto		
<p>Vihreän vedyn tuotanto on erittäin potentiaalinen käyttökohde alueelle, suunnitellun vetyputkijonon tuodessa merkittävää etua. Jos vetyä kuljetettaisiin putkistossa, se olisi kompressoitua muodossa. Makean veden ottokapasiteetti rajoittaa vuotuisen vedyntuotannon noin 15 000 tonniin vuodessa.</p>		

1 : olettaen 8000 käyttötuntia vuodessa ja 70 prosentin hyötysuhteen

Hanhikivi on sopiva paikka vihreän ammoniakin tuotantoon, satama tarjoaa mahdollisuuden tuotetun ammoniakin laivaamiseen

+ Arvo ○ Ei sovelleta/ei arvoa □ Deal breaker

KOHDEALUEEN SOVELTUVUUS

Infrastrukturi		
Jäähdytysvesi	+	Elektrolyysi-, Haber-Bosch- ja ilmanerotusprosessit tarvitsevat jäähdytysvettä, joskin huomattavasti vähemmän kuin ydinvoimala.
Satama	+	Satamaa voitaisiin käyttää ammoniakin kuljetukseen. Sataman 8m syvyys voisi sallia matalan syvyyksen LNG-kuljetusaluksia, mutta tätä olisi tutkittava tulevan kuljetuskumppanin kanssa.
400 kV:n suunnitelma	++	Suuren mittakaavan Haber-Bosch-prosessi vaatii suuritehoisen sähkönsyötön.
Rakennustyöt	+	Elektrolyysi-, Haber-Bosch- ja ilmanerotusprosessit laitosalueella vaativat suhteellisen paljon pinta-alaa, joskaan ei läheskään niin paljon kuin Hanhikivellä olisi tarjota.
Rakennukset	+	Vety- ja ammoniakkituotanto edellyttäisivät henkilökuntaa, ja rakennuksia tarvittaisiin siten useisiin käyttötarkoituksiin.

MUUT TEKIJÄT

Sijainti	+	Suunnitellun vetyputken läheisyys on ammoniakin tuotannon kannalta eduksi, sillä se mahdollistaisi putkessa kuljetettavan vedyn käytön. Mahdolliset ammoniakin käyttäjät lähellä: Yara International Kokkolassa, Kemiran teollisuuslaitokset Oulussa, Fertiberian viherlannoitteiden tuotantolaitos Luulajassa.
Makean veden otto-kapasiteetti	○	Nykyinen makean veden ottokapasiteetti rajoittaa laitoksella tuotetun vedyn määrän 15 000 tonniin vuodessa ja sen seurauksena tuotetun ammoniakin määrän 85 000 tonniin vuodessa . Haber-Bosch ja ilmanerotusyksikkö eivät kuluta suoraan makeaa vettä.
Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja		
Pinta-ala	+	Vety- ja ammoniakkituotanto jättäisivät aluetta vapaaksi muihin käyttötarkoituksiin, kuten sähköntuotannolle ja teollisuuslaitokselle.
Sähköverkkoysteys	+	Elektrolyysi, ilmanerotus ja Haber-Bosch vaativat suurta syöttökapasiteettia. Kapasiteettia saatavilla sähköntuotannolle, esim. merituulivoima.
Yhteenveto		
<p>Alue soveltuu hyvin ammoniakin tuotannolle, joka hyötyisi suuresti olemassa olevasta satamasta. Sataman syvyys voisi kuitenkin asettaa rajoituksia kuljetusalusten koolle, ja sataman vaatima kunnostus on analysoitava.</p>		

Hanhikivi on sopiva paikka alueella tuotetun vedyn kompressoimiseen – nesteytys on myös mahdollista jos se todetaan toteuttamiskelpoiseksi

+ Kohteen arvo ● Ei sovelleta/ei arvoa □ Deal breaker

KOHDEALUEEN SOVELTUVUUS

Infrastruktuuuri

Jäähdytysvesi	+	Nesteytys- ja kompressointiprosessit tarvitsevat jäähdytysvettä.
Satama	+	Satamaa voitaisiin käyttää nestemäisen vedyn pitkän matkan kuljetukseen, mutta paineistettua vetyä kuljetetaan yleisesti putkistoissa.
400 kV:n suunnitelma	++	Nesteytys- ja kompressointiprosessit vaativat suuritehoisen sähkönsyötön.
Rakennustyöt	+	Nesteytys tai kompressointi kohdealueella vaativat suhteellisen suuren pinta-alan, joskaan ei läheskään niin paljon kuin Hanhikivellä olisi tarjota.
Rakennukset	+	Nesteytys- tai kompressiotoiminta alueella vaatisi henkilökuntaa, jolloin rakennuksia tarvittaisiin useita käyttötarkoituksia varten.

MUUT TEKIJÄT

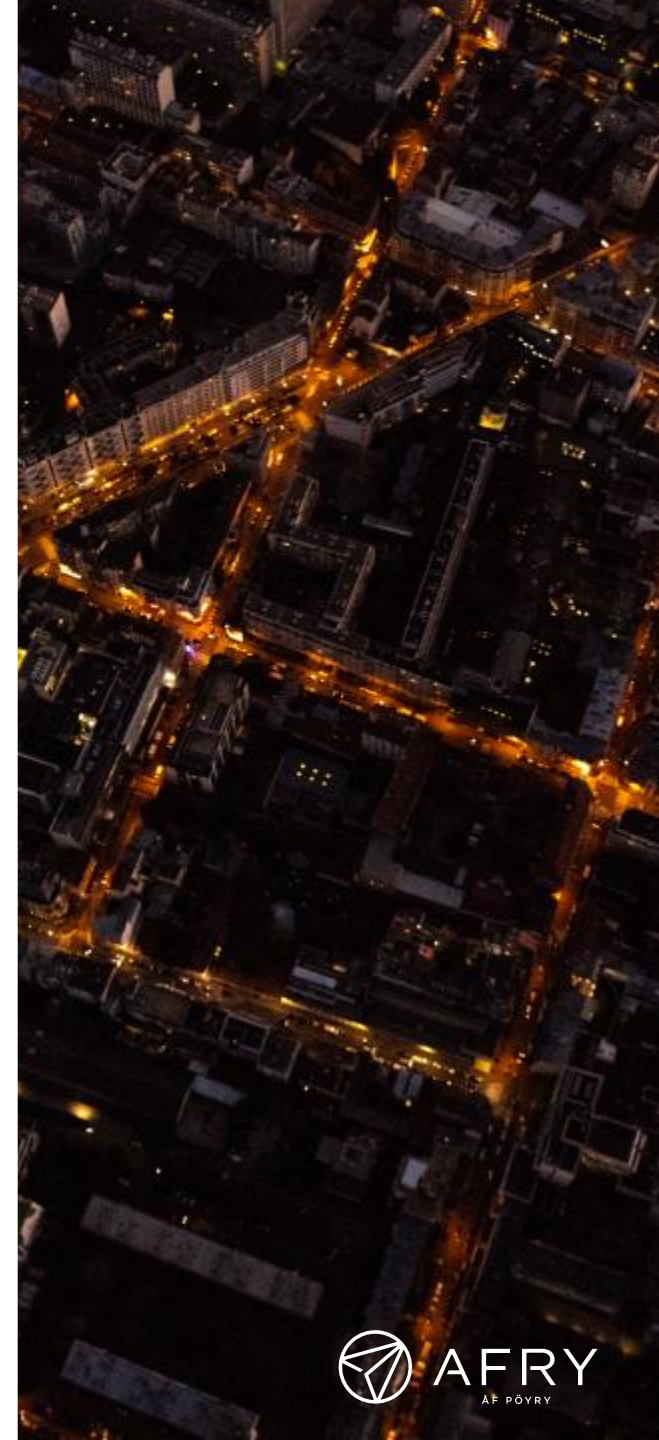
Sijainti	++	Suunnitellun vetyputken (Nordic Hydrogen Route) läheisyys on merkittävä etu paineistetun vedyn osalta, mutta ei yhtä merkityksellinen nesteytetyn vedyn kannalta.
Tieyhteydet	+	Tieyhteydet ovat ratkaisevan tärkeitä paineistetun tai nesteytetyn vedyn rekkakuljetuksille. Hanhikivellä on hyvät logistiset mahdollisuudet valtatie 8:n läheisyyden vuoksi.
Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja		
Pinta-ala	++	Kompressoio- tai nesteytyslaitos jättäisi paljon aluetta muille käyttökohteille.
Sähköverkkoysteys	+	Sekä nesteytys että puristus vaativat suurta syöttökapasiteettia.

Yhteenveto

Vetykompressiolaitos on erittäin potentiaalinen käyttökohte alueelle, ja vetyputkisto on merkittävä etu. Nesteytyslaitos on myös mahdollinen käyttökohte, ja sataman (mahdollinen) olemassaolo on tälle selvä etu, koska vetyintensiivinen teollisuus sijaitsee Suomen ulkopuolella. **Tällä hetkellä nestemäisen vedyn kaupallinen laivakuljetus on kuitenkin rajallista ja kallista.** Pitkän matkan rekkakuljetukset (paineistettu tai nesteytetty vety) ovat myös kalliita.

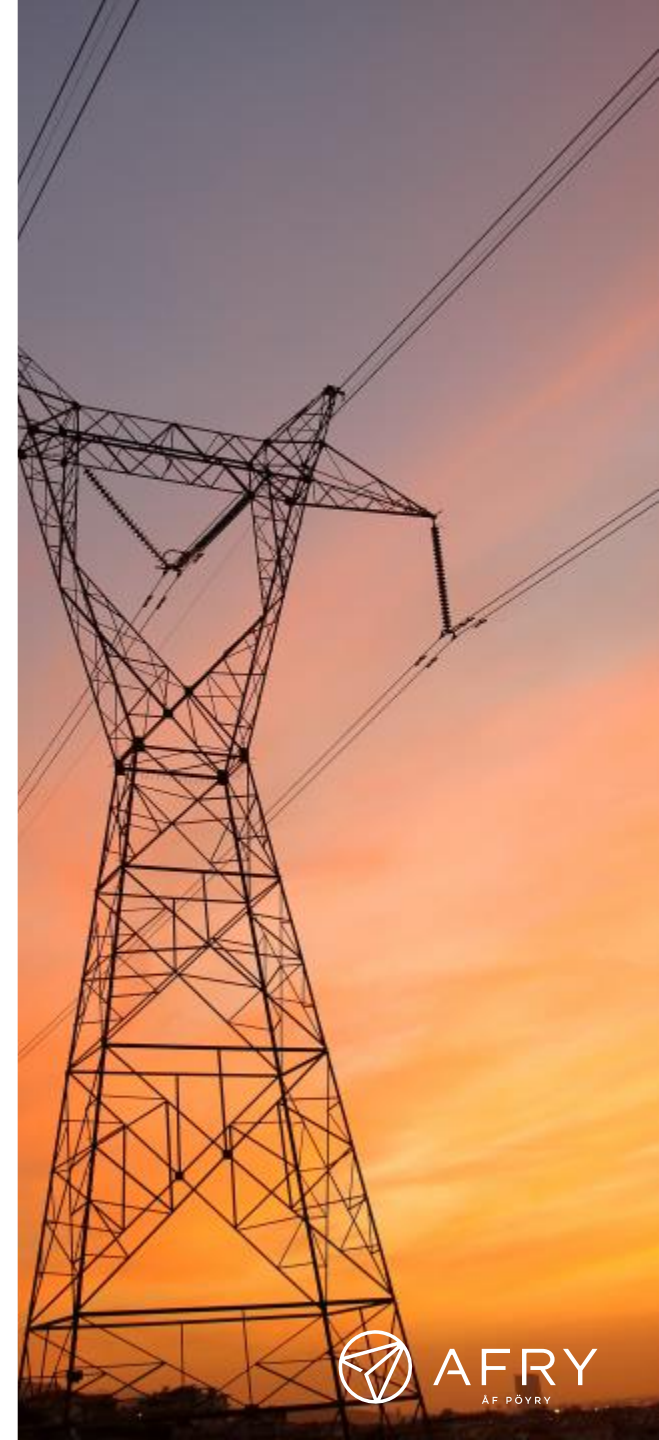
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologiakatsaus
 - 4.1 Teknologian kartoitus
 - 4.2 Alueellisen infrastruktuurin arviointi
 - 4.3 Teknologioiden toteutettavuuden ja potentiaalin arviointi
 - 4.4 Toimittajakartoitus ja toimitusvalmiuden arviointi
5. Sidosryhmien kiinnostuksen ja valmiuden arviointi uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



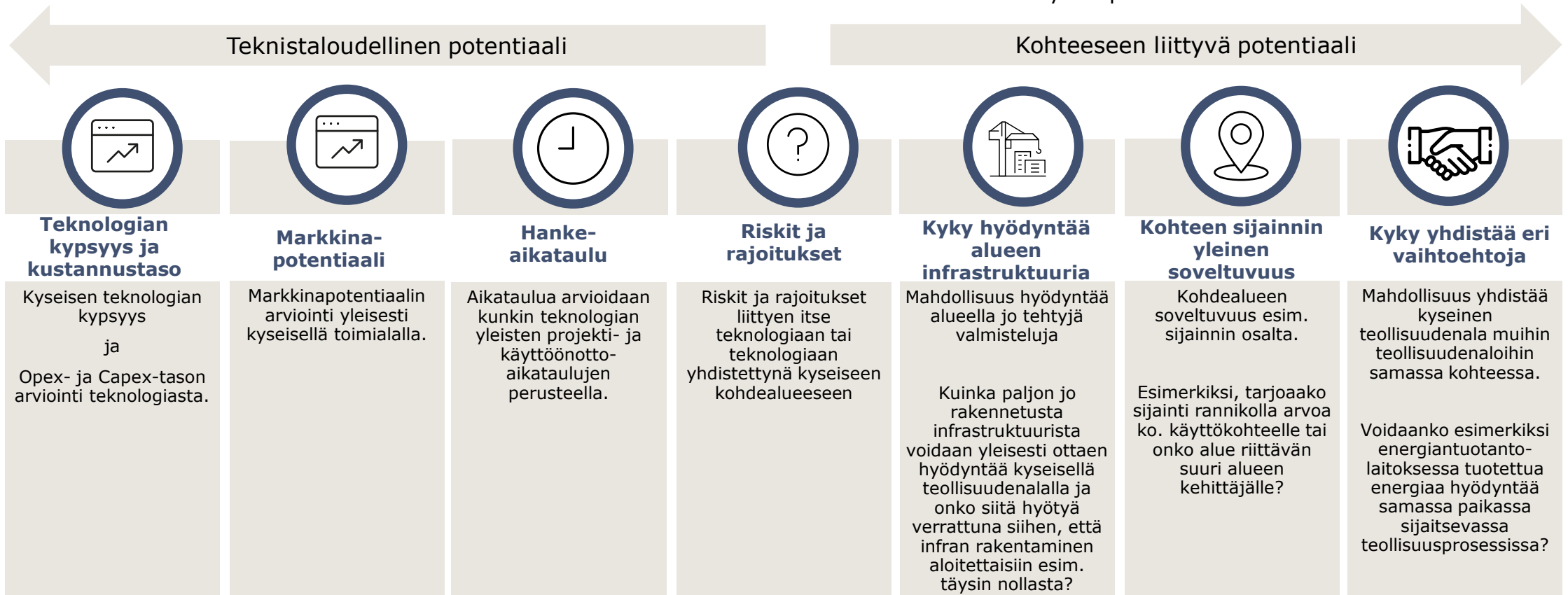
Teknologioiden toteutettavuuden ja potentiaalin arviointi

- Teknologioiden toteutettavuuden ja potentiaalin kokonaisarviointi Hanhikiven alueella suoritetaan yhdistämällä teknistaloudellinen soveltuvuus ja laitospaikkaan liittyvä soveltuvuus.
- Eri teknologiat on luokiteltu niiden teknistaloudellisten ominaisuuksien perusteella;
 - **Teknologian kypsyys ja kustannustaso**
 - **Markkinapotentiaali**
 - **Hankkeen aikataulu**
- Ja niiden Hanhikiven alueeseen liittyvät mahdollisuudet
 - **Kyky hyödyntää infrastruktuuria alueella**
 - **Alueen sijainnin yleinen soveltuvuus**
 - **Kyky yhdistää eri vaihtoehtoja**
- Tärkeimmät riskit, edut ja haitat arvioidaan myös teknologiakohtaisesti, vaikuttaen kyseisen teknologian kokonaispotentiaaliin.



Teknologiapotentiaalin arvioinnissa yhdistyvät paikka- ja aluekohtaiset seikat sekä teknologinen ja markkinasoveltuvuus

- Eri teknologioiden ja teknologiayhdistelmien kokonaisteknologiapotentiaalia Hanhikiven laitosalueella arvioidaan valittujen avainnäkökulmien avulla ottaen huomioon sekä teknistaloudellisen että laitosalueeseen liittyvän potentiaalin.



Hanhikiven alueelle voidaan rakentaa ydinvoimala, jos Suomessa alkaisi uusi suuren mittaluokan ydinvoimaprojekti

TEKNOLOGIAN KYPSYYSASTE JA KUSTANNUSTASO, MARKKINAPOTENTIAALI JA HANKKEEN AIKATAULU

Teknologian kypsyys ja kustannustaso

Suuret ydinvoimalat on toimivaksi todettu teknologia, ja maailmassa on käynnissä satoja voimaloita. PWR-teknologia on viime aikoina ollut suosituin reaktorityyppi, ja BWR-reaktoreilla on toiseksi suurin osuus kokonaiskapasiteetista. Viime aikoina rakennettujen suurten ydinvoimayksiköiden kustannustaso on ollut hyvin korkea.

Markkinakasvupotentiaali

Ydinvoimakapasiteetti kasvaa maailmanlaajuisesti. Ilmastonmuutoksen torjunta antaa yleisesti hyvän pohjan uudelle ydinvoimakapasiteetille.

Teknologian yleinen projektiaikataulu

Suuren mittakaavan ydinvoiman rakentamis- ja käyttöönottoaika on käsitellyistä teknologioista pisin. Jo tehdyt laitosalueen valmistelut auttavat suuren mittakaavan ydinvoimalahankkeen rakennusvaihetta.

KOHTEEN ARVO, SIJAINTI JA MAHDOLLISUUDET YHDISTÄÄ VAIHTOEHTOJA

Kyky hyödyntää alueella olevaa infrastruktuuria

Hanhikiven alue on suunniteltu ydinvoimalaa varten. Vertailtavista teknologioista suuren mittakaavan ydinvoimala hyötyisi eniten alueen infrastruktuurista, koska aluetta on valmisteltu ydinvoimalaa varten.

Alueen yleinen soveltuvuus

Sijainti lähellä rannikkoa ja valtatie 8:n välittömässä läheisyydessä tarjoavat hyvät yhteydet logistiikan kannalta. Siitä huolimatta alue sijaitsee suhteellisen syrjässä ja soveltuu siksi suuren mittakaavan ydinvoimalalle.

Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja

Maa-aluetta jäisi muullekin toiminnalle, vaikka ydinvoimalan rakentamisen aikana tarvitaankin enemmän aluetta. Ydinvoimalaitos käyttäisi täysin nykyisen jäähdytysvesi- ja verkkoyhteykskapasiteetin.

Riskit ja rajoitukset

Laitoksen lämpökuorman nykyinen rajoitus on noin 3200 MW, koska meriveden ottolupa on 3200 MWth:lle (~45 m³/s). Lupaa suuremmalle lämpökuormalle on kuitenkin mahdollista hakea tarvittaessa. Uusiin suuriin ydinvoimahankkeisiin liittyy Suomessa yleisesti suuria epävarmuustekijöitä, ja rakentamisen kustannustaso voi olla hyvin korkea.

Yhteenveto

Alue on suunniteltu ydinvoimalakäyttöön, ja jos Suomeen harkitaan rakennettavan uutta suuren mittakaavan ydinvoimaa, Hanhikiven alue voisi olla houkutteleva paikka hankkeelle. Ydinvoimahankkeisiin yleisesti liittyvät epävarmuustekijät ja suhteellisen korkea kustannustaso on otettava huomioon.

SMR ei yksinään voisi hyötyä alueen infrastruktuurista suuren ydinvoimalan tavoin, ellei alueelle rakenneta useita reaktoreita

TEKNOLOGIAN KYPSYYS, KUSTANNUSTASO, MARKKINAPOTENTIAALI JA HANKEAIKATAULU

Teknologian kypsyys ja kustannustaso

Pienydinreaktorit ovat kehittyvää teknologiaa, minkä vuoksi teknologian kysyydestä on saatavilla vain arvioita. Myös kustannustason arviointi on haastavaa, koska kaupalliseen käyttöön rakennettuja vertailulaitoksia ei ole.

Markkinakasvupotentiaali

Ilmastonmuutoksen torjunta, lupaukset skaalautuvuudesta, laajoista käyttömahdollisuuksista ja suurista ydinvoimaloista alhaisemmista kustannuksista ovat lupaavat tekijöitä. Ennen laajempaa kaupallistamista olisi kuitenkin saatava joitakin takeita teknologian toteutettavuudesta ja kustannustasosta.

Hankeaikataulu

Rakentamisajan ja koko hankeaikataulun odotetaan olevan lyhyempi kuin suurilla ydinvoimaloilla. Ensimmäisillä SMR-hankeilla kesto on todennäköisesti pidempi.

KOHDEALUEEN ARVO, SIJAINTI JA MAHDOLLISUUDET YHDISTÄÄ VAIHTOEHTOJA

Kyky hyödyntää alueen infrastruktuuria

Hanhikiven alue on suunniteltu ydinvoimalaa varten. SMR:t voisivat hyödyntää osittain, mutta eivät täysin, suurelle ydinvoimalalle suunniteltua infrastruktuuria.

Kohdealueen yleinen soveltuvuus

Sijainti lähellä rannikkoa ja valtatie 8:n välittömässä läheisyydessä tarjoaa hyvät yhteydet logistiikan kannalta. Sijainti on melko syrjäinen, minkä vuoksi SMR-voimaloita voitaisiin hyödyntää vain sähköntuotantoon, ellei samalle alueelle rakenneta lämpöä tarvitsevaa teollisuustoimintaa.

Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja

SMR-tuotanto ja jokin teollisuuden energiankäyttäjä voisivat löytää mahdollisuuksia hyödyntää aluetta täysimääräisesti yhdessä.

Riskit ja rajoitukset

SMR:n riskit liittyvät yleisiin kaupallistamiseen liittyviin epävarmuustekijöihin (teknologian kypsyys, lainsäädäntö, kustannustaso). Vielä on epäselvää, milloin ja miten SMR-laitokset saavuttavat kaupallisen kannattavuuden Suomessa ja mihin niiden kokonaiskustannustaso asettuu. Ainoana selkeänä sijaintipaikkaan liittyvänä rajoitteena SMR-laitosten osalta pidetään Hanhikiven melko syrjäistä sijaintia, jonka takia kaukolämmön tuottaminen SMR-laitoksella ei tule kysymykseen.

Yhteenveto

Tärkein tarkasteltava aihe on SMR:ään liittyvä epävarmuus. Jos teknologiaa sekä Suomen lainsäädäntöä kehitetään tehokkaasti ja kohtuullinen kustannustaso saavutetaan, SMR-laitokset voivat olla erittäin potentiaalisia kohdealueen hyödyntäjiä. SMR-laitosten yhdistäminen muuhun teknologiaan samalla alueella voisi tarjota kannattavia mahdollisuuksia.

Ammoniakin tuotanto olisi selkeä lyhyen aikavälin ratkaisu alueen hyödyntämiseksi. Teknologiayhdistelmät tarjoavat lisävaihtoehtoja tulevaisuudessa

TEKNOLOGIAN KYPSYYS, KUSTANNUSTASO, MARKKINAPOTENTIAALI JA HANKEAIKATAULU

Teknologian kypsyys ja kustannustaso

Itse ammoniakin tuotanto Haber-Bosch-menetelmällä on täysin kypsä teknologia. Pelkän ammoniakkituotannon kustannustaso on melko alhainen. Kustannusten odotetaan olevan kilpailukykyisiä myös yhdistettynä vihreän vedyn tuotantoon.

Markkinakasvupotentiaali

Yleisesti ottaen hyvä markkinapotentiaali, erityisesti uusiutuvan energian kysynnän kasvun vuoksi.

Hankeaikataulu

Ammoniakkituotanto on tarkasteltavista teknologioista nopein ratkaisu käyttökohteen löytämiseksi laitosalueelle. Ammoniakin tuotantolaitos voisi olla toiminnassa jo parin vuoden sisällä investointipäätöksestä.

KOHDEALUEEN ARVO, SIJAINTI JA MAHDOLLISUUDET YHDISTÄÄ VAIHTOEHTOJA

Kyky hyödyntää alueen infrastruktuuria

Laitosalueen infrastruktuuria voitaisiin hyödyntää jossain määrin, mutta ei täydessä mittakaavassa kuten ydinvoiman tapauksessa. Satama, toimistorakennukset, vesiliitäntä ja verkkoyhteysuunnitelmat voivat olla hyödyksi.

Kohdealueen yleinen soveltuvuus

Sijainti rannikolla voisi olla hyödyllinen ammoniakin laivauksen kannalta. Myös lähistöllä sijaitsee yrityksiä, joilla voisi olla kysyntää tuotetulle ammoniakille.

Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja

Hyvä potentiaali eri teknologioiden yhdistämiseen paikan päällä. Ammoniakin tuotannossa tarvittava vety voitaisiin tuottaa paikan päällä tai hankkia esimerkiksi PPA-sopimuksella. Samalle paikalle voitaisiin tulevaisuudessa rakentaa tukitiloja ja esim. SMR-tuotantoa.

Riskit ja rajoitukset

Sataman syvyys voi rajoittaa kuljetusalusten kokoa, ja sataman vaatimaa kunnostusta on analysoitava.

Yhteenveto

Ammoniakin tuotanto olisi nopein ratkaisu laitosalueen hyödyntämiseksi. Ammoniakkituotantoa tukevaa teknologiaa voitaisiin rakentaa samalle alueelle, ja sataman kautta on mahdollisesti hyvät kuljetusyhteydet. Sataman syvyys ja yleinen soveltuvuus voisivat asettaa rajoituksia ammoniakin kuljetukselle.

Vedyn tuotanto on toteuttamiskelpoinen ratkaisu, ja se voitaisiin käynnistää suhteellisen nopeasti - kuljetuskapasiteetti on epävarmuustekijä

TEKNOLOGIAN KYPSYYS, KUSTANNUSTASO, MARKKINAPOTENTIAALI JA HANKEAIKATAULU

Teknologian kypsyys ja kustannustaso

Eri elektrolyysiteknologioiden kypsyys vaihtelee, mutta vedyn tuotannossa ei yleisesti ottaen ole mitään uutta. Myös eri teknologioihin liittyvät kustannukset vaihtelevat. Suuri osa kustannuksista aiheutuu sähkön hankinnasta.

Markkinakasvupotentiaali

Markkinapotentiaali lopputuotteen (vety) kautta. Katso seuraava sivu.

Hankeaikataulu

Elektrolyysereitä on erilaisissa kokoonpanoissa ja mittakaavoissa. Konttimuodossa oleva "plug-and-play"-ratkaisu saatetaan toimittaa kohteeseen vuoden kuluessa tilauksesta, kun taas laajempi toteutus voi kestää muutaman vuoden.

KOHDEALUEEN ARVO, SIJAINTI JA MAHDOLLISUUDET YHDISTÄÄ VAIHTOEHTOJA

Kyky hyödyntää alueen infrastruktuuria

Laitosalueen infrastruktuuria voitaisiin hyödyntää jossain määrin, mutta ei täydessä mittakaavassa kuten ydinvoiman tapauksessa. Satama, toimistorakennukset, vesiliitântä ja verkkoyhteysuunnitelmat voivat olla hyödyksi.

Kohdealueen yleinen soveltuvuus

Kohde on hyvin valmisteltu minkä tahansa kolmen elektrolyysiteknologian käyttöönottoon.

Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja

Hyviä mahdollisuuksia eri teknologioiden yhdistämiseen alueella, koska elektrolyyserien tilantarve ei ole suuri. Ydinvoimalla tuotettua sähköä voitaisiin hyödyntää vedyn tuotannossa. Myös vedyn kompressointia tarvittaisiin tuotetun vedyn kuljettamiseksi pois laitosalueelta.

Riskit ja rajoitukset

Sähkön hinta on yksi tärkeimmistä vihreän vedyn tuotantokustannuksiin vaikuttavista tekijöistä. Näin ollen sähkön hintojen tulevaisuus on merkittävä tekijä vetytuotannon kannattavuudelle. Sähkön lisäksi vihreän vedyn tuotanto edellyttää merkittävää määrää makeaa vettä, josta voi tulla rajoittava tekijä tuotantokapasiteetista riippuen.

Yhteenveto

Vedyntuotanto on toteuttamiskelpoinen ratkaisu sekä teknistaloudellisesti että Hanhikiven alueen näkökulmasta - elektrolyysiteknikat ovat yleisesti ottaen kehittyneitä. Tuotettua vetyä on kuitenkin käsiteltävä ennen sen kuljettamista pois laitosalueelta, mitä rajoittaa myös vetyputkiston olemassaolo. (Katso seuraava sivu.)

Vedyn kompressointi on potentiaalinen vaihtoehto vedyn kuljettamiseksi pois laitosalueelta - se on kuitenkin täysin riippuvainen putkiston toteuttamisesta

TEKNOLOGIAN KYPSYYS, KUSTANNUSTASO, MARKKINAPOTENTIAALI JA HANKEAIKATAULU

Teknologian kypsyys ja kustannustaso

Vedyn kompressio- ja nesteytystekniikat ovat kehittyneitä. Nesteytys on selvästi kalliimpi vaihtoehto, koska se edellyttää erittäin alhaisia lämpötiloja.

Markkinakasvupotentiaali

Kaasumaisen vedyn markkinapotentiaali on korkea erityisesti uusiutuvan energian kysynnän kasvun vuoksi.

Hankeaikataulu

Jotta vedyn kompressointi olisi toteuttavissa, tarvitaan laitosalueelle vetyputkisto. Tämä määrittää käytännössä projekti aikataulun. Nesteytys olisi satamakuljetusten ansiosta nopeampi vaihtoehto, mutta myös kalliimpaa.

KOHDEALUEEN ARVO, SIJAINTI JA MAHDOLLISUUDET YHDISTÄÄ VAIHTOEHTOJA

Kyky hyödyntää alueen infrastruktuuria

Laitosalueen infrastruktuuria voitaisiin hyödyntää jossain määrin, mutta ei täydessä mittakaavassa kuten ydinvoiman tapauksessa. Satama, toimistorakennukset, vesiliitäntä ja verkkoyhteysuunnitelmat voivat olla hyödyksi.

Kohdealueen yleinen soveltuvuus

Alueen soveltuvuus riippuu pitkälti tulevasta vetyputkesta.

Mahdollisuus yhdistää vaihtoehtoja

Hyviä mahdollisuuksia eri teknologioiden yhdistämiseksi alueella. Olisi toteutettava paikan päällä tapahtuvan vedyn tuotannon rinnalla.

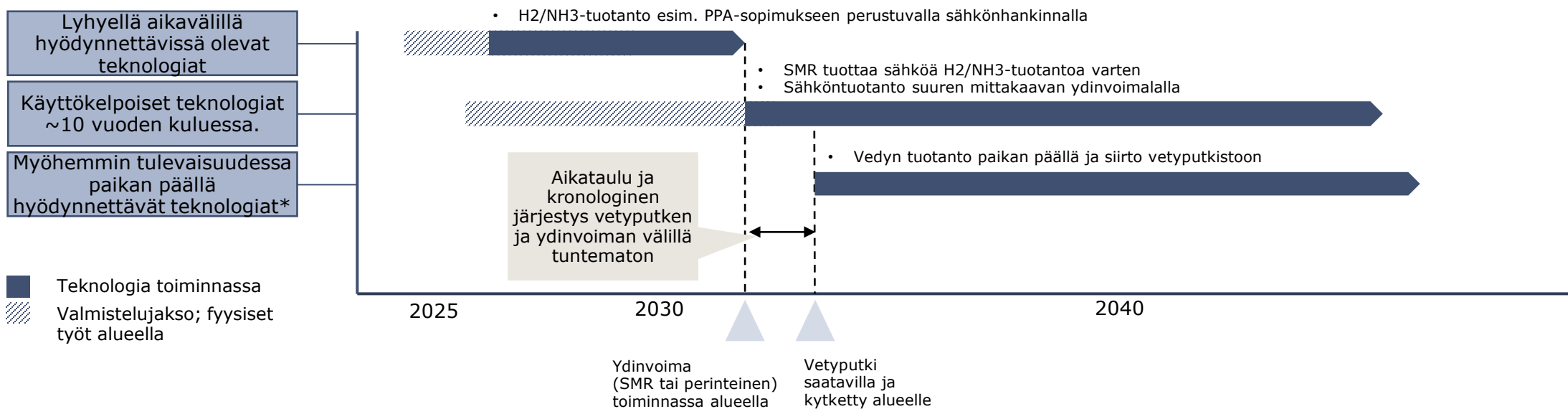
Riskit ja rajoitukset

Nordic Hydrogen Routen tai jonkin muun vetyputken toteuttamisaikataulu on tärkein rajoittava tekijä.

Yhteenveto

Jos laitosalueella tuotettaisiin vetyä ja se myös kuljetettaisiin vetynä laitosalueelta pois, se on joko kompressoitava putkikuljetusta varten tai nesteytettävä merikuljetuksia varten. Nesteytys ei ole kustannustasonsa vuoksi kannattava ratkaisu. Kompressointi on potentiaalinen vaihtoehto, mutta täysin riippuvainen tulevasta putkistosta.

Ammoniakkituotanto vaikuttaa hyvältä vaihtoehdolta lyhyellä aikavälillä. Tulevaisuudessa vetyputkisto ja ydinvoima tarjoavat lisävaihtoehtoja



- Kun otetaan huomioon teknologian toteutettavuuden aikataulu, ammoniakkin tuotanto uusiutuvalla energialla ja vedyn tuotanto paikan päällä tapahtuvaa teollisuusprosessia varten vaikuttavat järkeviltä vaihtoehdoilta, jos suositetaan verrattain nopeaa ratkaisua. Tuotettu ammoniakki voitaisiin kuljettaa markkinoille laivoilla.
- Vety-/ammoniakkituotanto yhdistettynä SMR-sähköntuotantoon tai pelkkä sähköntuotanto suuressa ydinvoimalassa nousevat varteenotettaviksi vaihtoehdoiksi, jos laitosalueen hyödyntämisaikataulu venytetään noin 10 vuoden päähän.
- Vetyputkiston kehityksestä riippuen myös laajamittainen vedyntuotanto näyttäytyy toteuttamiskelpoisena vaihtoehtona alueen hyödyntämiselle tulevaisuudessa. Tuotettu vety voidaan siirtää suoraan kytkettyyn vetyputkistoon. Vetyputkistoon liittyy samanlaisia aikataulu- ja epävarmuustekijöitä kuin ydinvoimaan.

*Mahdollisuus, että esim. vetyputki on käytettävissä aikaisemmin kuin ydinvoima paikan päällä.

Tarkasteltujen teknologiayhdistelmien odotetaan tuovan synergiaetuja ja hyödyntävän laitosalueen infrastruktuuria paremmin verrattuna vain yhteen teknologiaan alueella

- Aikaisemman teknologian kokonaispotentiaalin arvioinnin perusteella Hanhikiven alueen hyödyntämiseksi esitetään muutamia lupaavia teknologiayhdistelmiä:

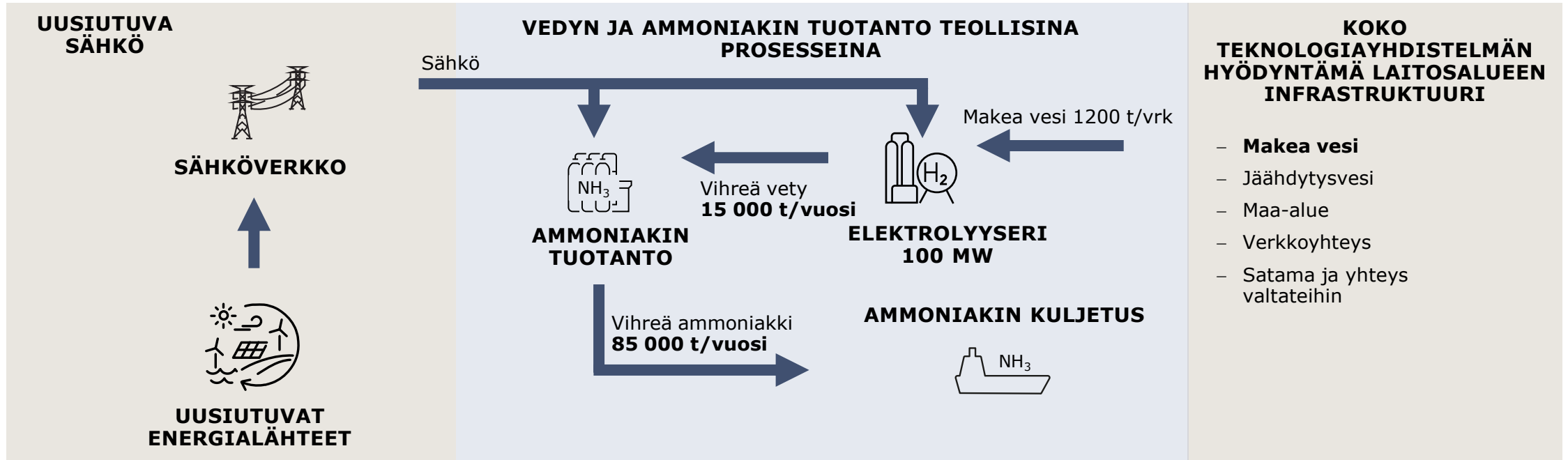
 – **Vihreän ammoniakkin ja vihreän vedyn tuotanto samalla laitosalueella**

 – **Vähähiilisen ammoniakkin tuotanto vähähiilisellä vedyllä, joka tuotetaan samalla laitosalueella olevan ydinvoimalan sähköllä**

 – **Suuren mittakaavan vedyntuotanto, joka on liitetty vetyputkistoon. Sähkö tuotetaan ydinvoimalla ja/tai uusiutuvilla energialähteillä.**



Vuotuinen vihreän ammoniakin tuotanto voisi olla noin 85 000 tonnia samalla alueella tuotetun vihreän vedyn määrän perusteella



Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön hankinta

- PPA-sopimukset
- Alkuperätakuut

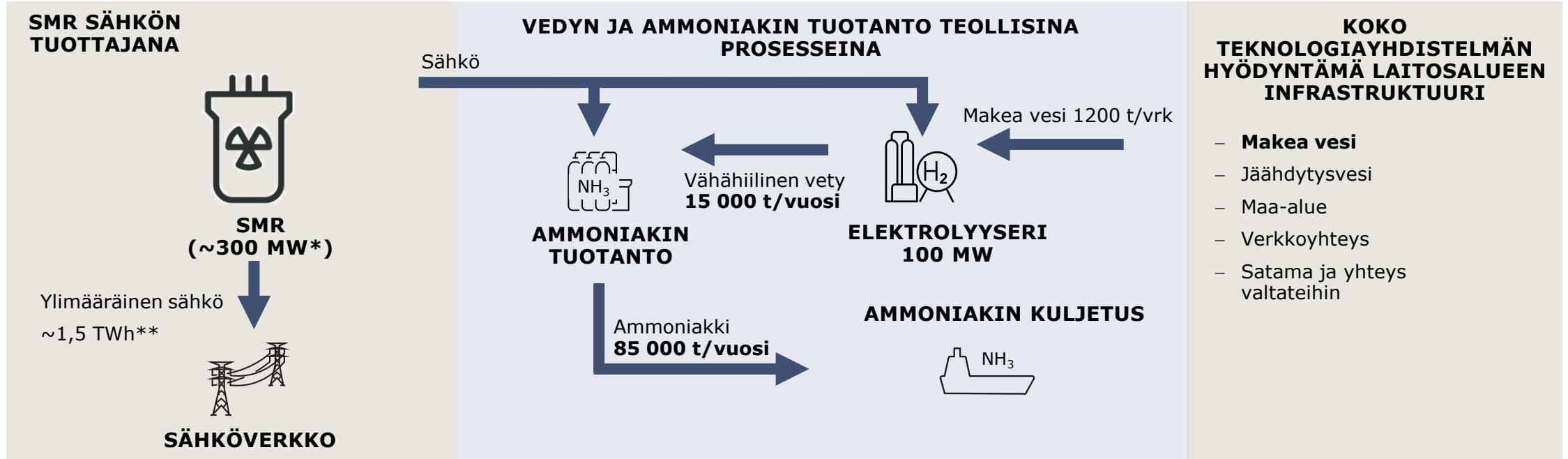
Elektrolyyseri vedyn tuotantoon Haber-Bosch-laitos ammoniakin tuotantoa varten

Laivakuljetukset tuotetulle ammoniakille

Alueen infrastruktuuria hyödynnetään vedyn ja ammoniakin tuotannossa. Rajoittavana tekijänä 1200 t/vrk makean veden liittäminen.

Vedyn tuotantokapasiteetti perustuu oletukseen, että 1 kg vetyä vaatii noin 20 kg makeaa vettä. 100 MW:n elektrolyysikapasiteetti arvioitu 150 t/MW:n vuotuisen vedyntuotannon perusteella (8000 käyttötuntia ja 75 % hyötysuhde). Ammoniakin tuotanto laskettu siten, että 1 ammoniakitonniin tuotantoon tarvitaan 180 kg vetyä.

Lähes omavarainen laitosalue voitaisiin saavuttaa SMR:llä, joka tuottaa sähköä vedyn ja ammoniakkin tuotantoa varten



SMR tuottaa tarvittavan sähköön vedyn elektrolyysia varten

Ylimääräinen sähkö myydään sähköverkkoon

Elektrolyyseri vedyn tuotantoon

Haber-Bosch-laitos ammoniakkin tuotantoa varten

Tuotettu ammoniakki kuljetukseen:

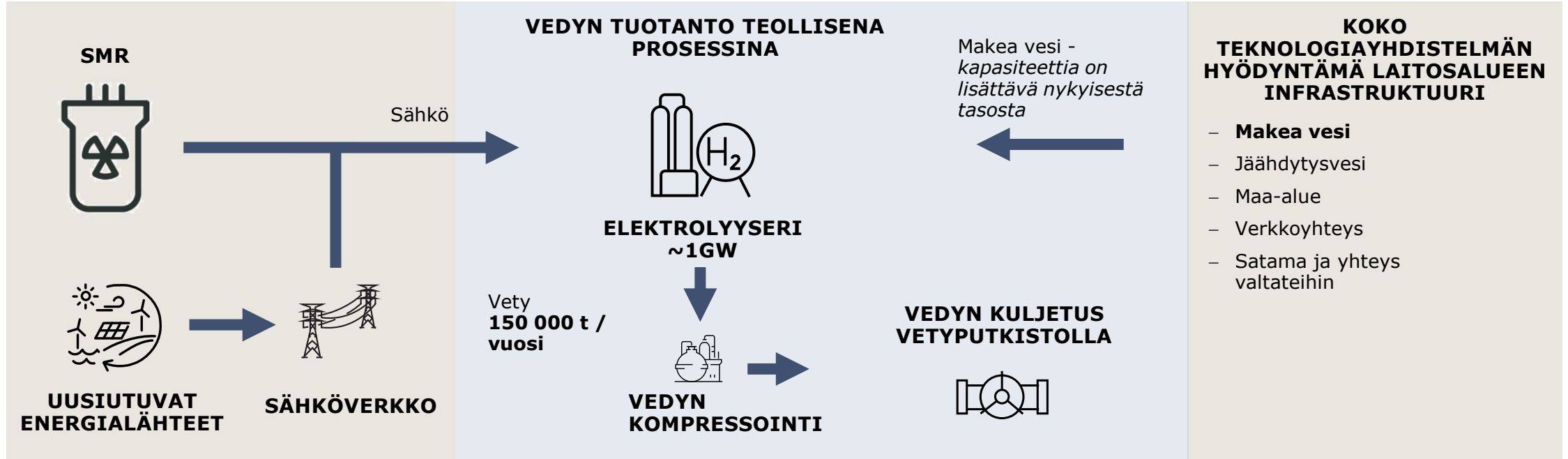
- Valtatiet
- Laivaus satamasta

Alueen infrastruktuuria hyödynnetään vedyn ja ammoniakkin tuotannossa. Rajoittavana tekijänä 1200 t/vrk makean veden liittäminen.

Vedyn tuotantokapasiteetti perustuu oletukseen, että 1 kg vetyä vaatii noin 20 kg makeaa vettä. 100 MW:n elektrolyysikapasiteetti arvioitu 150 t/MW:n vuotuisen vedyntuotannon perusteella (8000 käyttötuntia ja 75 % hyötysuhde). Ammoniakkin tuotanto laskettu siten, että 1 ammoniakkitonnin tuotantoon tarvitaan 180 kg vetyä.

* Riippuu valitusta SMR-toteutuksesta **oletuksena 200 MW:n ylimääräinen sähköntuotanto 8000h/a.

Tulevaisuudessa vetyä voitaisiin tuottaa suuressa mittakaavassa vetyputkikuljetuksia varten SMR:llä tuotetulla tai uusiutuvalla sähköllä



SMR-voimalat ja/tai uusiutuva energia verkosta sähkölähteenä laajamittaisessa vedyntuotannossa

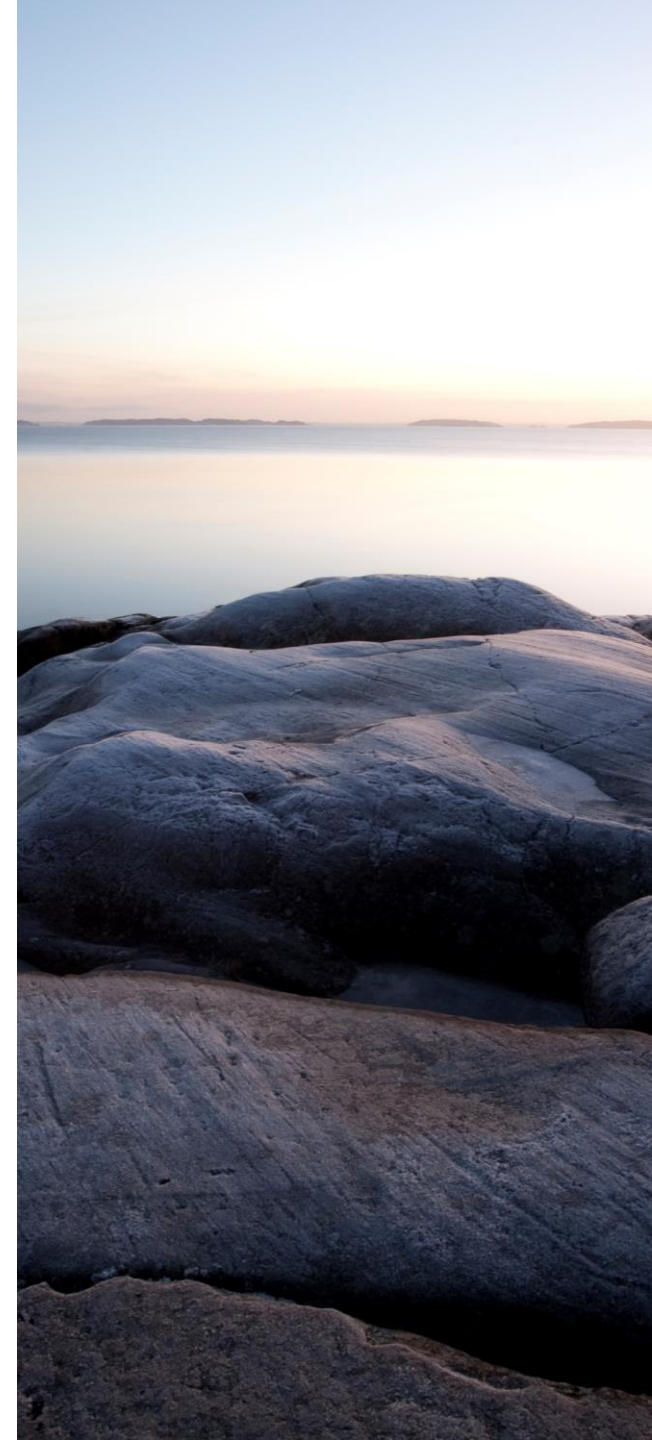
Elektrolyyseri vedyn tuotantoon. Vety kompressoidaan laitosalueella kuljetusta varten.

Tuotettu vety kuljetukseen - Vetyputkiliitännällä

Alueen infrastruktuuria hyödynnetään vetytuotantoon (ja mahdollisesti SMR-käyttöön). Nykyistä vesiliitäntää on kasvatettava.

Teollisuuden sijoittaminen ydinvoiman läheisyyteen on selvitetävänä kansainvälisesti

- Ydinvoimalla voidaan tuottaa sähköä vedyntuotannon tarpeisiin puhtaasti ja vakaasti. Ydinvoiman ja vedyntuotannon sijoittamiseen samalle laitospaikalle liittyy kuitenkin asioita, joihin on kiinnitettävä erityistä huomiota.
- Ydinvoimalaitokselle asetetaan vaatimuksia liittyen laitosalueeseen ja sen suojavyöhykkeeseen. Huomioon tulee ottaa niin turvallisuus (safety) kuin turvajärjestelyt (security) ja ydinmateriaalivalvonta (safeguards).
- Ydinvoimalaitoksen sijaintipaikan arvioinnin yhteydessä tulee tarkastella monien muiden asioiden lisäksi sijaintipaikkaan liittyviä ulkoisia uhkia, eli ydinvoimalaitoksen ulkopuolisia tapahtumia, jotka voivat vaarantaa ydinvoimalaitoksen turvallisuuden. Ulkoisina uhkina tulee tarkastella harvinaisia sääolosuhteita, seismisiä ilmiöitä, **laitoksen ympäristössä tapahtuvien onnettomuuksien vaikutuksia** sekä muita ympäristöstä tai ihmisen toiminnasta johtuvia tekijöitä.
- Aiemmin ydinvoimalaitokset on ollut tapana sijoittaa harvaan asutuille alueille, ja etäälle myös muusta teollisuudesta. Viime aikoina on kuitenkin lisääntynyt kiinnostus sijoittaa ydinvoimalaitoksia lähemmäs asutusta ja teollisuutta, mikä mahdollistaisi esimerkiksi ydinvoimalla tuotetun kaukolämmön ja prosessihöyryn hyödyntämisen. Samoin mahdollistuisi myös vedyntuotannon sijoittaminen lähemmäksi ydinvoimalaitosta ja ydinvoimalla tuotetun sähkön hyödyntäminen vedyntuotantoon samalla laitospaikalla.
- Aihe on tällä hetkellä keskustelussa useammallakin kansainvälisellä foorumilla, mm. IAEA:lla (International Atomic Energy Agency) ja NEA:ssa (Nuclear Energy Agency). IAEA on päivittämässä ohjeistustaan huomioimaan paremmin tulevat SMR-laitokset. Osana tätä päivitystä uudistetaan ohje koskien ydinlaitosten luvitusta, jossa tullaan mm. esittämään suosituksia liittyen laitosten sijoittamisesta teollisuuden lähelle.



Ydinvoimalaitokselle tulee määritellä laitosalue, suojavyöhyke ja varautumisalue

- Ydinvoimalaitoksen raja tulee määritellä. Sen tulee perustua turvallisuus-, turvajärjestely ja ydinmateriaalivalvonnan lähtökohtiin, ei esimerkiksi energiantuotannon lähtökohtiin. Tämän odotetaan olevan vaatimus tulevissa IAEA:n uusissa ohjeissa, kun puhutaan ydinvoimalaitoksen sijoittamisesta muun teollisuuden läheisyyteen.
- Ydinvoimalaitokselle määritellään suojavyöhyke, johon kohdistuu maankäytön rajoituksia, eikä sillä saa sijaita esim. muita kuin ydinlaitokseen liittyviä merkittäviä työpaikka-alueita. Suojavyöhyke on aiempien määräysten mukaan ollut 5 km, mutta helmikuussa 2024 tuli voimaan uusi määräys, jossa tarkka kilometrimäärä on poistunut, ja suojavyöhyke määritetään sen sijaan tapauskohtaisesti laitoksen ominaisuuksien perusteella. Se riippuu siis esim. laitoksen koosta ja teknisistä ominaisuuksista. Uuden määräyksen on tarkoitus mahdollistaa ydinlaitosten sijoittaminen lähemmäs teollisuutta ja asutusta. Toisaalta vedyntuotantolaitos voisi luultavasti sijaita suojavyöhykkeellä, koska työpaikkakeskittymänä se ei liene kovin suuri, ja toisaalta voitaisiin katsoa liittyväksi ydinlaitokseen.
- Suojavyöhyke koskee kuitenkin vain ydinvoimalaitokseen ympäristölleen aiheuttamaa uhkaa, ja sen määrittely perustuu ydinlaitoksella mahdollisesti tapahtuvan onnettomuuden seurauksiin. Se ei ota kantaa siihen, kuinka lähelle ydinvoimalaitosta vetylaitoksen voi rakentaa vetylaitoksen aiheuttaman uhan näkökulmasta.



Vetylaitoksen muodostama ulkoinen uhka arvioidaan tapauskohtaisesti

VETYLAITOKSEN MUODOSTAMA ULKOINEN UHKA

- Vetylaitosta on tarkasteltava mahdollisena ulkoisena uhkana ydinlaitokselle (esim. räjähdykset, vetyvuodot ja mahdollisesti syttyvät/räjähävät vetypilvet liittyen vedyn tuotantoon, varastointiin ja kuljetukseen jne.). Ulkoista uhkaa tulee arvioida tapauskohtaisesti.
- Vetylaitoksen muodostamaan ulkoiseen uhkaan vaikuttaa esim. vetylaitoksen koko ja laitospaikalla varastoitavien vedyn tai muiden vaarallisten aineiden määrä, painetaso ym. Mahdollisen uhan muodostavat niin itse vedyntuotanto, kuin vedyn varastointi ja siirto. Mikäli vetyä esimerkiksi kuljetettaisiin laitospaikalta meriteitse, tulisi tämän aiheuttama uhka ydinlaitokselle myös huomioida.
- Vetylaitoksen aiheuttamaan ulkoiseen uhkaan voidaan vaikuttaa vetylaitoksen teknisillä ratkaisuilla, sekä esimerkiksi vähentämällä laitosalueella varastoitavan vedyn määrää tai sijoittamalla mahdolliset varastot kauemmaksi.

ULKOISEN UHAN TARKASTELU JA HUOMIOINTI

- IAEA:n ulkoisia uhkia koskevassa ohjeessa tunnistetaan, että vetylaitos voisi sijaita samalla laitospaikalla ydinvoimalaitoksen kanssa. Ohjeessa kuitenkin todetaan vain, että tällaisen laitoksen muodostamaa ulkoista uhkaa tulee tarkastella samoin kuin laitosalueen ulkopuolisia uhkia. Tarkastelussa tulee kuitenkin huomioida, että laitospaikan sisäisten uhkien tapauksessa ydinlaitoksen mahdollisuudet vaikuttaa tapahtumien kulkuun ovat mahdollisesti suuremmat.
- IAEA:n tulevista ohjeista saatavilla olevan tiedon mukaan ohjeessa todetaan, että samalla laitospaikalla oleva vedyntuotantolaitos ei saa vaikuttaa negatiivisesti ydinlaitoksen turvallisuuteen. Tämä tulee osoittaa ulkoisten uhkien tarkastelun yhteydessä.
- Ydinlaitoksen järjestelmät, rakenteet ja laitteet sekä kulkuyhteydet on suunniteltava, sijoitettava ja suojattava siten, että mahdollisiksi arvioitujen ulkoisten tapahtumien vaikutukset ydinlaitoksen turvallisuuteen ovat vähäisiä. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden toimintakyky on osoitettava niiden suunnitteluperusteena olevissa laitoksen ulkoisissa ympäristöolosuhteissa.
- Vetylaitoksen sijoittamisessa tulee huomioida myös sähkönsiirtolinjat. TUKESin mukaan vetylaitosta ei saa sijoittaa ilmajohtojen alle ja sivusuunnassa etäisyys huomioidaan mahdollisen onnettomuuden seurausten perusteella. Tällä paitsi suojataan sähkönsiirtoa, myös ehkäistään vuotaneen vedyn syttyminen ilmajohtojen kipinöinnistä.
- Ulkoisiin uhkiin voidaan varautua erilaisilla ratkaisuilla niin laitospaikalla kuin itse laitoksenkin suunnittelussa ja sijoittelussa. Esim. räjähdyksiltä voidaan suojautua maavallein, jolloin etäisyys räjähdysten näkökulmasta voisi olla pienempi kuin ilman vallia.

Ydinvoimasektorilla on halua kehittää ydinvoiman käytettävyyttä teollisuuden tarpeisiin

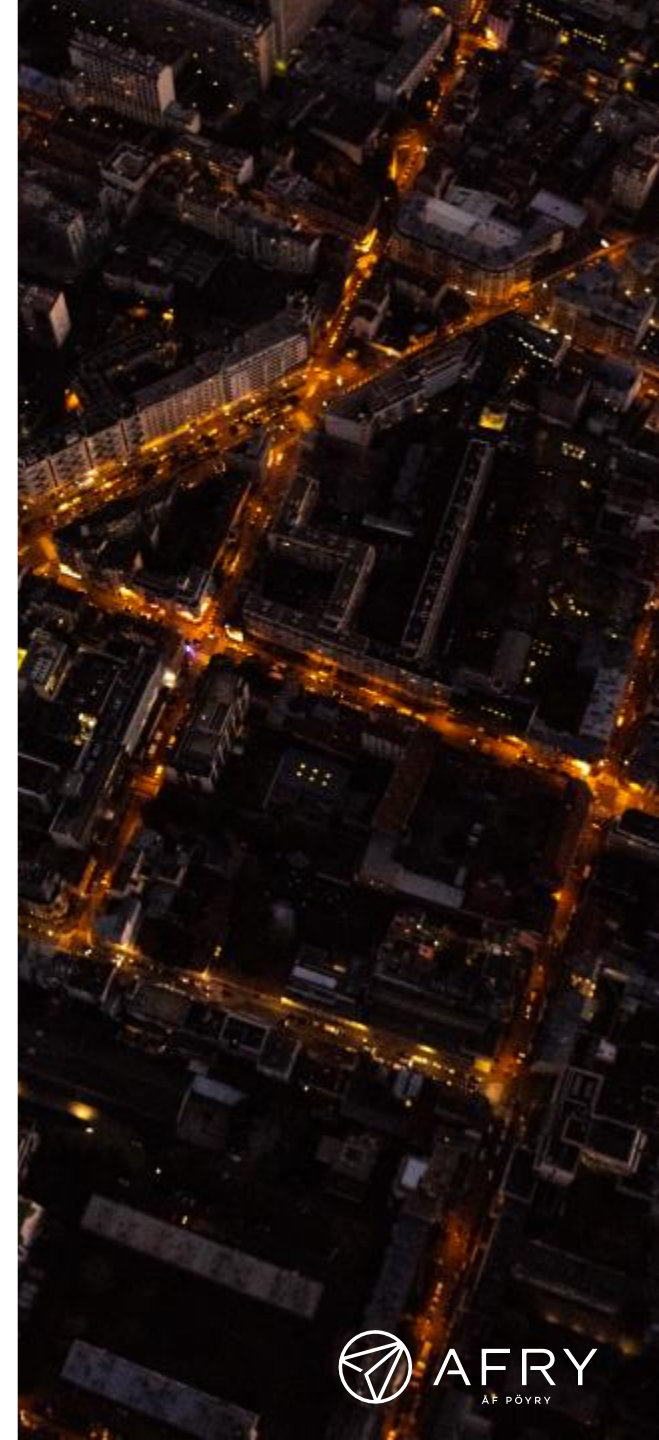
- Ei ole olemassa yksiselitteistä rajaa sille, kuinka lähelle ydinvoimalaitosta vetylaitoksen voisi sijoittaa.
- Ydinvoimalaitoksen sijoituspaikkaa tarkastellessa tulee huomioida myös samalle laitospaikalle tai lähialueelle suunnitellun vetylaitoksen aiheuttama ulkoinen uhka.
- Ydinvoimalaitoksen lähelle sijoitettu vetylaitos ei saa vaikuttaa negatiivisesti ydinlaitoksen turvallisuuteen.
- Ulkoiisiin uhkiin voidaan varautua ja niiden vaikutuksia vähentää laitoksen ja laitospaikan suunnittelulla ja teknisillä ratkaisuilla.
- Vaadittu etäisyys laitosten välillä riippuu sekä ydinvoimalaitoksen laitosalueen sekä mahdollisesti suojavaohyökkeen määrittelystä sekä toisaalta vaaditusta etäisyydestä vetylaitoksen aiheuttaman ulkoisen uhan näkökulmasta. Vaadittua etäisyyttä tulee tarkastella kummankin laitoksen ominaisuuksien näkökulmasta.
- Tulevaisuudessa on mahdollista, että esim. vedyntuotantolaitos ja SMR-yksiköt voivat sijaita samalla tontilla. Kansainvälisesti tästä on jo pilottiesimerkkejä:
 - Vetyelektrolyysikonetti Nine Mile Pointin ydinvoimala-alueella
 - Vedyntuotanto suunnitteluasteella Davis-Bessen ydinvoimala-alueelle
 - Fortum suunnittelee vedyntuotannon pilottia Loviisan ydinvoimalan läheisyyteen
- Ammoniakintuotantoon pätevät samat määräykset ja selvitystarpeet, kuin vedyntuotantoon

Lähteet: [Nine Mile Point Begins Clean Hydrogen Production | Department of Energy](#)
[3 Nuclear Power Plants Gearing Up for Clean Hydrogen Production | Department of Energy](#)
[Fortum plans to pilot hydrogen production in Finland | Fortum](#)



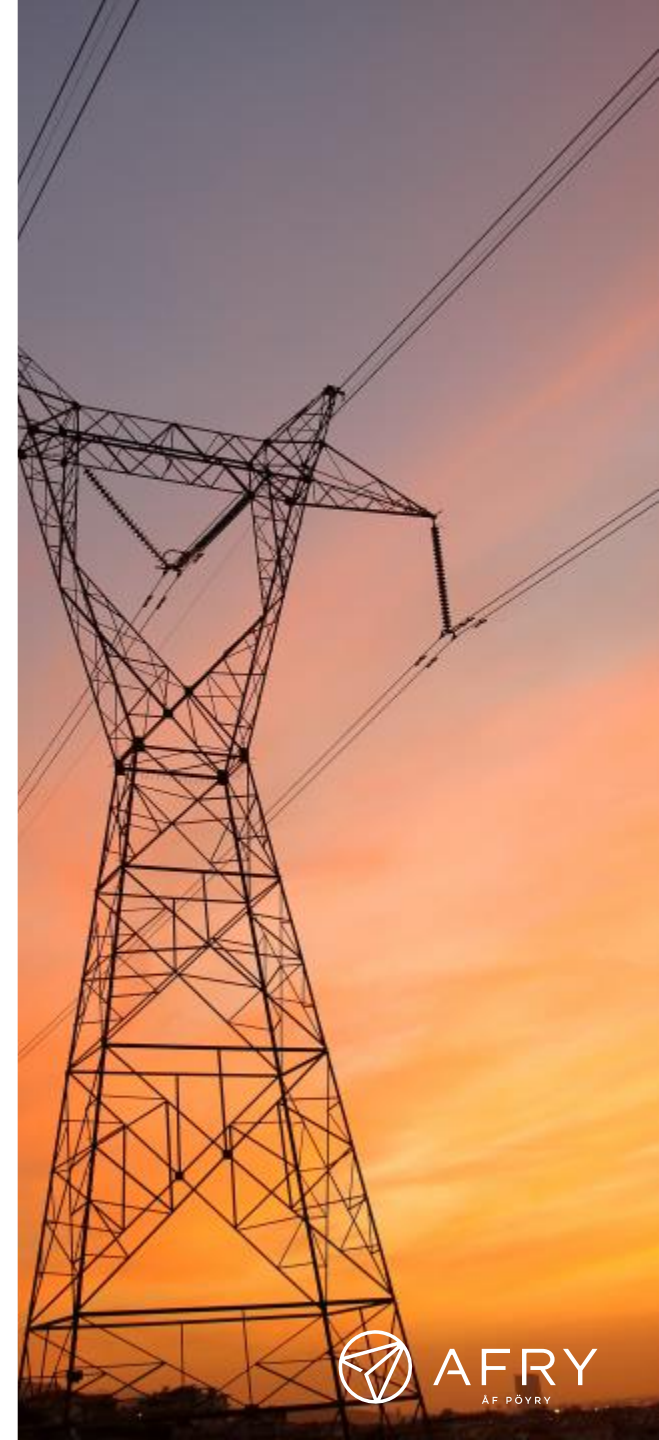
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologiakatsaus
 - 4.1 Teknologiakartoitus
 - 4.2 Alueellisen infrastruktuurin arviointi
 - 4.3 Teknologian toteutettavuuden ja potentiaalin arviointi
 - 4.4 Toimittajakartoitus ja toimitusvalmiuden arviointi
5. Sidosryhmien kiinnostuksen ja valmiuden arviointi uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät











Mahdollisten toimittajien kartoitus ja toimitusvalmiuden arviointi

- Sekä suuret ydinvoimalat että SMR-voimalat voisivat olla mahdollisia alueen hyödyntäjiä, samoin kuin ammoniakkin ja vedyn tuotanto. Lisäksi on tehty toimittajakohtainen kartoitus erityisesti ydinvoimateknologioiden osalta.
- Suuren mittakaavan ydinvoiman osalta lupaavina teknologiatoimittajina on pidetty kolmea eri reaktorityyppiä ja niiden teknologiatoimittajia.
 - **EPR, toimittajana Framatome**
 - **AP1000, toimittajana Westinghouse**
 - **APR1400, toimittajana KEPCO**
- Lupaavimmat SMR-toimittajat ja näiden konseptit on kartoitettu niiden teknologisen valmiuden, kustannustason sekä muihin toimittajiin verrattavien etujen tai haittojen perusteella.
- Viisi erilaista SMR-konseptia on arvioitu mahdollisiksi tuleviksi kaupallisiksi SMR-voimaloiksi.
 - **Nuscale VOYGR**
 - **Rolls-Royce SMR**
 - **EDF Nuward**
 - **GE Hitachi BWRX-300**
 - **Westinghouse AP300**
- Lisäksi vertailua ja analyysia varten on laadittu vihreän ammoniakkin ja vihreän vedyn tuotantoon perustuvia teknologiakortteja, joissa on mukana relevantteja vertailuhankkeita, kustannustasoarvioita ja korkean tason analyysia.



Kolme suurta ydinreaktoria ja viisi pienreaktoria on kartoitettu lupaaviksi konsepteiksi ydinenergian tuotannolle tulevaisuudessa

	Suuri mittakaava			SMR				
								
	EPR	AP1000	APR1400	NuScale	Rolls-Royce	Nuward	BWRX-300	AP300
Alkuperämaa	Ranska	USA	Etelä-Korea	USA	UK	Ranska	USA/ Japani	USA
Yksikkökohtainen kapasiteetti (MWe)	1600	1100	1400	300	470	340	300	300
Arvioitu investointikustannus (kEUR/MW)	Jopa 8000+	Korkea	Korkea	5525* (2450**)	<4900	-	3300-3700* (1900**)	-
LCOE-tavoite (€/MWh)	50-100	50-100	50-100	38-65	40-55	-	35-48	-
Käyttöönottovalmius	Kaupallinen	Kaupallinen	Kaupallinen	Laitteistojen valmistus käynnissä	Yksityiskohtainen suunnittelu	Konseptisuunnittelu-vaihe	Yksityiskohtainen suunnittelu	-
Pinta-alan tarve (m ² /MW) ***	500-600⁴	-	-	~140¹	~85²	-	~150³	-

Yllä esitetyt CAPEX- ja LCOE- arviot eivät ole vertailukelpoisia keskenään, koska ne ovat teknologiatoimittajien antamia lukuja. Erityisesti SMR:n tapauksessa ilmoitettu LCOE voidaan usein tulkita LCOE-tavoitteeksi. Myös viimeaikaisissa suuren mittakaavan ydinvoimaprojekteissa toteutuneet kustannukset ovat voineet olla merkittävästi korkeampia.

*Rakennuttajan arviot ensimmäisten reaktoreiden osalta **Rakennuttajan odottama investointikustannus laajemman kaupallistumisen tapahduttua *** Kokonaismaa-alue kaikkine laitoksineen, mutta rakennuttajat eivät ole kuitenkaan ilmoittaneet tarkasti, mikä laitosalueen infrastruktuuri sisältyy alueeseen - epävarmuustekijöitä odotettavissa 1. nuscalepower.com 2. Power-technology.com 3. fermi.ee 4. [fyysisen tilantarpeen vertailu](http://fyysisen_tilantarpeen_vertailu).

Suurten ydinvoimaloiden länsimaisia toimittajia on vain muutama

- Ydinvoimalaitosten tarjonnassa erottuu erityisesti kolme teknologiaa: Westinghousen AP1000, Framatomen EPR ja KEPCO:n APR1400. Näillä teknologioilla on viime aikoina otettu menestyksekkäästi käyttöön yksiköitä eri maissa, ja uusia yksiköitä on parhaillaan rakenteilla.
- Hiljattain nämä kolme teknologiaa olivat Puolassa ehdokkaina merkittävässä sopimuksessa, joka sisälsi huomattavan sitoutumisen ydinenergian tuottamiseen.
- Lopulta näistä kolmesta Westinghousen AP1000 sai sopimuksen. Vaikka KEPCO:n APR1400 oli edullisin vaihtoehto, sillä oli immateriaalioikeuksiin liittyviä haasteita. KEPCO onnistui kuitenkin varmistamaan yhteisymmärryspöytäkirjan kolmen seuraavan yksikön mahdollisesta toimittamisesta. Framatomen EPR:n teho on huomattava, mutta sen tarjous oli kallein, eikä sitä näin ollen valittu.



framatome

 Westinghouse



 KEPCO

EPR on laaja, todistetusti kaupallinen ratkaisu, ja useita hankkeita on nytkin käynnissä - aikataulu ja kustannukset ovat kuitenkin aiheuttaneet haasteita

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- Framatomen EPR on PWR-reaktori, joka on suunniteltu tuottamaan noin 1 650 MWe.
- Malli sisältää sekä aktiivisia että passiivisia turvajärjestelmiä. Vaikka EPR:n teho on suurempi, sitä on kritisoitu rakennustöiden viivästymisistä ja budjetin ylityksistä useissa hankkeissa.
- Suomessa on kuitenkin jo myönnetty EPR:n käyttö lupa, mikä helpottaisi toisen EPR:n hankkimista.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Edut

- Toteutuskelpoinen teknologia, jolla on todistetusti toimivia käytössä olevia laitoksia. Eurooppalainen teknologiatoimittaja, jolla on lisenssi Suomessa ++

Haitat

- Suuri reaktorin koko voi tuottaa haasteita verkolle. Olkiluodossa Fingrid tarjoasi 1300 MWe:n verkkosuojauksen, mutta EPR 1600 -reaktorin omistajan on hankittava loput 300 MWe, mikä merkitsee huomattavia kustannuksia. -

Riskit

- Aikaisemmat hankkeet ovat osoittaneet EPR:n aikatauluun ja kustannuksiin liittyvät riskit Euroopassa. -



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	Korkea (jopa 8000 €/kWe)*.
OPEX	Keskisuuri/korkea
LCOE	~50-100 €/MWh*** (Hinkley P. korkeampi)

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Rakennusaika	Projektin omistaja
Olkiluoto 3	17v	TVO
Taishan 1 & 2	9v, 9v	Taishan Nuclear Power
Flamanville	**	EDF
Hinkley Point C 1 & 2	**	EDF

* Perustuu Flamanville & Olkiluoto 3:n kustannusarvioihin **Hanke käynnissä *** Perustuu suurten ydinvoimaloiden yleisiin kustannusarvioihin.

AP1000 on yritys vahvistaa uudelleen Yhdysvaltojen asemaa suurten ydinvoimaloiden toimittajana

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- Westinghousen AP1000-reaktori on painevesireaktori (PWR), joka tuottaa noin 1100 MWe.
- AP1000:ssa on passiivisia turvajärjestelmiä turvallisuuden parantamiseksi. Suunnittelussa on vähennetty komponenttien määrää, mikä lisää luotettavuutta ja turvallisuutta, vähentää putkistoja, vähentää penetraatiota ja vähentää turvallisuusluokiteltuja komponentteja.
- Sen tavoitteena on olla taloudellisesti kilpailukykyinen lyhentämällä rakennusaikaa, joka on ollut tällä mallilla noin 8-10 vuotta.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Edut

- Westinghouse pyrkii uudelleen kilpailukykyiseksi laitostoimittajaksi yksinkertaistetun ja hyväksi havaitun mallin avulla. Kolmen yksikön rakentaminen Puolaan voi vakiinnuttaa Eurooppaan vakaan toimitusketjun. ++

Haitat

- Suuri reaktori, joten ei ole ratkaisu pelkän teollisuuden sähkönhankintaan Suomessa. Tähän mennessä yhtään AP1000-reaktoria ei ole liitetty sähköverkkoon Euroopassa. +

Riskit

- Vaikka Westinghouse on hyvämaineinen toimittaja, lupaprosessi Suomessa saattaa edellyttää joitakin design-muutoksia, jotka lisäävät kustannuksia ja rakentamisaikaa. +/-



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	Keskisuuri/korkea
OPEX	Medium
LCOE	~50-100 €/MWh**

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Rakennusaika	Projektin omistaja
Vogtle-3 & 4	10v, *	Georgia Power
Sanmen-1 & 2	9v, 9v	Sanmen Nuclear Power
Haiyang-1 & 2	9v, 8v	China Power Inv.

*Hanke käynnissä **Perustuu suurten ydinvoimaloiden yleisiin arvioihin.

APR1400 voisi tarjota korkeamman kapasiteetin muita ydinvoimaloita vastaavilla riskeillä

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- KEPCO:n APR1400 on aikaisemman AP1000-mallin kehitysversio. Se on PWR-reaktori, joka tuottaa noin 1 400 MWe.
- AP1000:n tavoin siinä on sekä aktiivisia että passiivisia turvajärjestelmiä, mutta nojaa enemmän aktiivisiin järjestelmiin. Malli on otettu hyvin vastaan, ja sitä on toteutettu menestyksekkäästi Yhdistyneissä arabiemiirikunnissa. KEPCO:n ja Westinghousen välillä on meneillään kiista reaktorin immateriaalioikeuksista, mikä saattaa aiheuttaa haasteita sen toteuttamiselle.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Edut

- Malli on saanut hyvän vastaanoton, ja se tarjosi alhaisimmat kustannukset Puolan tarjouskilpailussa. ++

Haitat

- Suuri reaktori, joten ei ole ratkaisu pelkän teollisuuden sähkönhankintaan Suomessa. Tähän mennessä yhtään APR1400-reaktoria ei ole liitetty sähköverkkoon Euroopassa. +

Riskit

- Vaikka KEPCO on osoittanut olevansa kykenevä toimittaja, lupaprosessi Suomessa saattaa edellyttää joitakin design-muutoksia, jotka lisäävät kustannuksia ja rakentamisaikaa. +/-

*Hanke käynnissä **Perustuu suurten ydinvoimaloiden yleisiin arvioihin.



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	Keskisuuri/korkea
OPEX	Medium
LCOE	~50-100 €/MWh**

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Rakennusaika	Projektin omistaja
Barakah 1-4	8v, 8v, 8v, 8v, *	Emirates Nuclear Energy
Shin Hanul 1 & 2	10v, *	Korea Hydro And Nuclear Power
SAEUL 1-4	8v, 10v, *, *	Korea Hydro And Nuclear Power

Viidellä lupaavalla SMR-toimittajalla on hyvät mahdollisuudet tuoda markkinoille varhaisen vaiheen kaupallisia SMR-yksiköitä

- IAEA:n mukaan tällä hetkellä on kehitteillä yli 70 erilaista SMR-konseptia, joiden tuotokset ja sovelluskohteet vaihtelevat. Näihin kuuluvat esimerkiksi sähkö, hybridienergiajärjestelmät, lämmitys, vedyntuotanto, veden suolanpoisto ja höyryn tuottaminen teollisiin sovelluksiin.
- Kun otetaan huomioon yleiset kaupallistamismahdollisuudet ja suunnittelun nykytilanne, vain muutama SMR-malli vaikuttaa lupaavalta ratkaisulta energiantuotantoon lähitulevaisuudessa.
- Nuscale VOYGR, Rolls-Royce SMR, EDF Nuward, GE Hitachi BWRX-300 ja Westinghouse AP300 vaikuttavat kaikki potentiaalisilta ehdokailta, jotka voivat tuoda SMR-mallinsa kaupalliseen käyttöön yleisen SMR-kaupallistumisen alkuvaiheessa.



HITACHI



SMR

Skaalautuvalla Nuscale VOYGR:lla oli kunnianhimoa, mutta projekti USA:ssa lopetettiin tarkoittaen samaa todennäköisesti myös muille hankkeille

NUSCALE VOYGR, YHDYSVALLAT

- Tarjoaa erilaisia konfiguraatioita useista 77 MWe:n PWR-moduuleista: VOYGR-4 (308 MWe), VOYGR-6 (462 MWe) ja VOYGR-12 (924 MWe).
- Ensimmäinen kaupallisesti toimiva hanke Yhdysvalloissa on lopetettu, eikä sitä jatketa kohti käyttöönottoa.
- Romania, Bulgaria, Puola, Tšekki, Viro ja Jordania ovat ilmaisseet kiinnostuksensa, mutta Yhdysvaltojen hankkeen päättymisen vuoksi ne eivät todennäköisesti etene.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

- | | |
|---|-----------|
| Teknologian yleisyys teollisuuden energianhankintakeinona | ++ |
| - Skaalautuva teollisen kokoluokan energianhankintaan | |
| Edut | ++ |
| - Skaalautuvuus tarjoaa mahdollisuuksia erilaisiin ratkaisuihin (sähköntuotanto, kaukolämpö, suolanpoisto, kaupallisen mittakaavan vedyntuotanto ja muut prosessilämpösovellukset). Julkisten tietojen mukaan lähimpänä kaupallistamis-/rakentamisvaihetta käsiteltävistä SMR-ratkaisuista. | |
| - Sen kehittäminen on edellä useimpia SMR-hankkeita | + |
| Haitat | - |
| - Ei vielä kaupallinen, joten hankereferenssejä tai käyttökokemuksia ei ole saatavilla. | |
| - USA:n hankkeen lopettaminen todennäköisesti hidastaa tai peruuttaa muita käyttöönottoja. | |



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Kommentti
CAPEX	Ensimmäisessä hankkeessa arviolta ~5525 €/kWe, ja rakennuttaja pyrkii laskemaan sen ~2450 €/kWe tasolle tulevaisuudessa.
OPEX	Keskisuuri/korkea
LCOE-tavoite	38-65 €/MWh

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
The Carbon Free Power Project (CFPP)	<ul style="list-style-type: none"> - Utah Associated Municipal Power Systemsin (UAMPS) johtama hanke on ensimmäinen VOYGR SMR -voimala, joka aloittaa toimintansa USA:ssa. Tämä kuuden moduulin laitos rakennetaan Idaho Fallsissa sijaitsevaan Idahon kansalliseen laboratorioon (INL), ja tuottaa 462 megawattia hiilivapaata sähköä. - Huomio: Projekti lopetettu (11/2023) 	Utah Municipal Power Systems

Rolls-Royce tarjoaa SMR-mallinaan 470 MWe:n PWR-reaktoria ilman tarkempia tietoja skaalausmahdollisuuksista

ROLLS-ROYCE SMR, YHDISTYNYT KUNINGASKUNTA(UK)

- Rolls-Royce tarjoaa 470 MWe:n painevesireaktorin SMR-mallinaan.
- Tavoitteena on, että ensimmäinen kaupallisesti toimiva moduuli valmistuu vuonna 2029 UK:ssa. Lisäksi tavoite rakentaa 10 reaktoria vuoteen 2035 mennessä.
- Ulkomaista Viro, Tšekin tasavalta, Turkki, Jordania ja Alankomaat ovat ilmaisseet kiinnostuksensa.
- Suunnittelun tilanne: Yksityiskohtainen suunnitteluvaihe meneillään

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys teollisuuden energianhankintakeinona +

- 470 MWe:n kapasiteetti vaatii erittäin suuren teollisuustoimijan, jotta tällä mallilla voitaisiin tuottaa energiaa vain sen tarpeisiin.

Edut ++

- RR SMR:llä on sotilassukellusvenehjelmasta saatua ydinteknologista osaamista, ja sen rakenne muistuttaa tavanomaista voimalaitosta, mutta pienennettynä ja modularisoituna. Lupien myöntämiseen liittyy vähemmän riskejä, koska mallin suunnitteluominaisuudet ja polttoainetyyppi tunnetaan pääosin hyvin.
- Mallin tavoitteena on, että jopa sen suuremmat osat voidaan kuljettaa tavanomaisia teitä pitkin, mikä lisää sen rakennettavuuskykyä syrjäisille paikoille.

Haitat -

- 470 MW:n sähkökapasiteetille on tehty vain yksi design



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Kommentti
CAPEX	CAPEX-kulujen tavoitellaan asettuvan alle 4894 €/kWe tasolle tulevaisuudessa.
OPEX	Keskisuuri/korkea
LCOE-tavoite	40-55 €/MWh

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
-	-	-

EDF Nuward tarjoaa skaalautuvan ratkaisun, mutta konsepti on vielä kehitystyön alla

EDF NUWARD, RANSKA

- Tarjoaa 340 MWe:n konseptia, joka koostuu kahdesta 170 MWe:n PWR-reaktorista
- Tavoitteena on aloittaa ensimmäisen hankkeen rakentaminen vuonna 2030 Ranskassa ja sijoituspaikkatutkimukset ovat käynnissä Puolassa.
- Tavoitteena on luoda yhteinen SMR-käsite EU:n alueelle. ASN (Ranska), SUJB (Tšekki) ja STUK (Suomi) tarkastelevat suunnittelua varhaisessa vaiheessa yhdessä, jotta eri maiden sääntely voidaan ottaa huomioon.
- Suunnittelun tila: Suunnittelun vaiheet: Perussuunnittelu käynnissä

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleistyminen teollisuuden energianhankintavaihtoehtona +++

- Nuward tähtää Euroopan markkinoille ottamalla eurooppalaiset sääntelyviranomaiset mukaan kehitystyön varhaisessa vaiheessa ja vähentäen siten lupamenettelyyn liittyviä riskejä.

Edut

- Nuward nojaa enimmäkseen eurooppalaiseen toimitusketjuun, joka on toiminut aktiivisesti EDF:n kanssa ja joka pienentää merkittävästi hankkeen toteuttamiseen liittyviä riskejä. ++

- EDF omistaa Ranskassa 18 luvitettua ydinvoimalapaikkaa, joita voitaisiin käyttää ensimmäisten yksiköiden rakentamiseen. Ranskan hallitus on myös vahvasti sitoutunut sen kehitystyöhön.

Haitat -

- Muihin malleihin verrattuna näyttää siltä, että Nuwardissa on edelleen suuria osia, joita ei voida kuljettaa helposti, mikä rajoittaa sen implementointia syrjäisiin paikkoihin. Nähtäväksi jää, tullaanko mallissa hyödyntämään täysimääräisesti modularisointimahdollisuuksia.



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Kommentti
CAPEX	Rakennuttaja ei ole julkaissut kustannusarvioita
OPEX	Keskisuuri/korkea
LCOE-tavoite	-

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
-	-	-

GE Hitachi BWRX-300 on pitkälle kehittynyt SMR-ratkaisu, jolla on hyvät mahdollisuudet kaupallistua ensimmäisten SMR-voimaloiden joukossa

GE HITACHI BWRX-300, YHDYSVALLAT/JAPANI

- Tarjoaa 300 MWe:n kiehutusvesireaktoria (BWR).
- Tavoitteena ensimmäinen kaupallisesti toimiva moduuli vuonna 2028 Kanadassa.
- Ulkomaista Puola, Tšekin tasavalta ja Ruotsi ovat ilmaisseet kiinnostuksensa.
- Fermi Energian valitsema design tullaan toteuttamaan Virossa.
- Suunnittelun tila: Yksityiskohtainen suunnitteluvaihe käynnissä

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys teollisuuden energianhankintakeinona ++

- Tunnettu ja hyväksytty teknologia, jolla on hyvä kosketus markkinoihin.

Edut

- BWRX-300 on hyvin tunnettu teknologia, ja sen kehitys on pitkällä verrattuna muihin SMR:iin. Todennäköisesti otetaan ensimmäisten joukossa käyttöön. ++

Haitat

- Suurissa ydinvoimaloissa BWR-reaktoreiden yleisyys on vähentynyt painevesireaktoreiden hyväksi, mikä herättää kysymyksiä toimitusketjun saatavuudesta pitkällä aikavälillä, jos tämä trendi siirtyy myös SMR-voimaloihin. -
- GE Hitachi ei ole rakentanut reaktoreita pitkään aikaan, mikä herättää huolta toimitusketjusta ja käyttöönottovalmiudesta.



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Kommentti
CAPEX	Ensimmäisissä hankkeissa Euroopassa ~3300-3700 €/kWe, ja tavoitteena on alentaa sitä ~1900 €/kWe tasolle tulevaisuudessa
OPEX	Keskisuuri/korkea
LCOE-tavoite	35-48 €/MWh

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
Fermi Energian SMR-hanke Virossa	- BWRX-300 on valittu Fermi Energian SMR-hankkeen reaktoriksi. Arvioitu käyttöönotto 2030-luvun alussa.	Fermi Energia

Westinghouse AP300 perustuu samaan lisensoituun teknologiaan, jota käytetään AP1000-reaktorissa

WESTINGHOUSE AP300, YHDYSVALLAT

- Tarjoaa 300 MWe:n painevesireaktorin (PWR).
- Malli perustuu lisensoituun ja käytössä olevaan AP1000- paineistettuun kevytvesiteknologiaan, jonka luotettavuus on todistettu.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys teollisuuden energianhankintakeinona ++

- Pienennetty versio tunnetusta ja hyväksi havaitusta mallista

Edut

- Perustuu AP1000:n hyväksi havaittuun designiin, minkä pitäisi yksinkertaistaa lupamenettelyä Westinghousen väittäessä, että kaikki turvallisuuskomponentit on jo lisensoitu. ++

Haitat

- Westinghouse on julkistanut tämän mallin vasta äskettäin vuonna 2023, ja sen mahdollisista sijoituspaikoista ja suunnittelun tilasta on vain vähän tietoa. +



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Kommentti
CAPEX	Rakennuttaja ei ole julkaissut kustannusarvioita
OPEX	Keskisuuri/korkea
LCOE-tavoite	-

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
-	-	-

Vihreän ammoniakkin tuotanto Haber-Bosch-menetelmällä

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- Ammoniakkia syntetisoidaan vedyn ja typen reaktiossa korkeassa paineessa ja lämpötilassa katalyytin avulla (Haber-Bosch-menetelmä).
- Uusiutuva ammoniakkisynteesi on kypsä teknologia, joka perustuu samaan prosessiin kuin nykyinen fossiilinen Haber-Bosch-prosessi, jossa käytetään maakaasun reformoinnilla tuotettua fossiilista vetyä. Uusiutuvassa ammoniakissa fossiilinen vety korvataan vihreällä vedyllä.
- Myös typpeä tarvitaan ja sitä tuotetaan ilmanerotusyksiköllä (ASU).

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys

- Haber-Bosch on vakiintunut kaupallinen teknologia, jonka TRL on 9. Tälle on Euroopassa useita teknologiatoimittajia, kuten Haldor Topsoe (Tanska). ++

Edut

- Ammoniakki on kustannustehokkain teknologiareitti synteettiseen polttoaineeseen korkean hyötysuhteen ansiosta. Tyypillisesti saavutetaan 97 prosentin muuntotehokkuus. ++

- Ammoniakki tuotetaan tiivistetyssä nestemäisessä tilassa, eikä ammoniakkin muuntamisesta kuljetuskelpoiseen tilaan aiheudu lisäkustannuksia.

Haitat

- Haber-Bosch-prosessi vaatii huomattavan paljon energiaa toimiakseen. +
- Teknologia on suunniteltu suuren mittakaavan tuotantoa varten, ja sen alas skaalaaminen uusiutuvan sähkön tai uusiutuvan vedyn saatavuuden perusteella voi olla haastavaa.
- Ammoniakista tulee myrkyllistä, kun se vuotaa tai palaa.



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	Matala (~100 euroa ammoniakkitonnin kohti, kun otetaan huomioon vain Haber-Bosch-laitos, ~400 euroa ammoniakkitonnin kohti koko prosessissa, mukaan lukien elektrolyysi ja synteasilaitos) ¹
OPEX	Keskisuuri
LCOA	~1000 euroa ammoniakkitonnin kohti, mukaan lukien elektrolyysi ja synteasilaitos (Haber-Bosch-prosessin odotetaan aiheuttavan ~15 % kokonaiskustannuksista) ¹

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
Yara Pilbaran uusiutuvan ammoniakkin tehdas Australiassa	- Tuotantokapasiteetti 30 000 tonnia ammoniakkaa vuodessa	Yara International
HØST PtX Esbjerg Tanskassa, hanke kehitteillä	- Euroopan suurin vihreän ammoniakkin tehdas tuottaa 600 000 tonnia ammoniakkaa lannoitteisiin ja polttoaineisiin.	Copenhagen Infrastructure Partners (CIP)

TRL : Technological Readiness Level on systemaattinen mittari, jota käytetään teknologian kypsyyden ja valmiuden arvioimiseen siten, että 1 on alhaisin ja 9 on korkein taso onnistuneesti käyttöönotetulle teknologialle.

Vedyn nesteytys merikuljetusta varten on kallista, koska se vaatii erittäin alhaisen lämpötilan

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- Vedyn nesteytys on prosessi, jossa vetykaasu tiivistetään nestemäiseen tilaan laskemalla sen lämpötila alle -253°C :een. Tässä nestemäisessä muodossa vedyn energiatiheys on paljon suurempi, tehden siitä käytännöllisemmän varastointia ja pitkiä rekka- tai laivakuljetuksia varten.
- Suurimmat kaasunkäsittelyteknologian yritykset toimittavat vetyjen nesteytysteknologiaa. Kustannustehokkuus on alhainen prosessin äärimmäisten olosuhteiden vuoksi. Prosessi on erittäin energiantensiivinen.
- Nesteytetyn vedyn kuljetus kryogeenisten putkimallisten rekkojen avulla on uusi menetelmä, joka ei ole vielä saavuttanut kaupallista kypsyyttä tarvittavan infrastruktuurin puuttumisen vuoksi.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys

- Vedyn nesteytyksen TRL on 7, mutta nestemäistä vetyä kuljettavien alusten kaupallinen saatavuus on tällä hetkellä rajallista, koska kryogeenisen aineen käsittelyyn ja varastointiin liittyy haasteita ja korkeita kustannuksia. **+**

Edut

- Nestemäistä vetyä voidaan kuljettaa pidempiä matkoja ja varastoida pidempiä aikoja, mikä mahdollistaa suuremman joustavuuden vaihtelevan kysynnän tyydyttämisessä tai toimitusaukkojen täyttämässä. **+**

Haitat

- Vedyn alhaisen tiheyden vuoksi tarvitaan suuria säiliökapasiteetteja. **-**
- Jäähdytykseen kuluu 30 prosenttia vedyn alkuperäisestä määrästä, mikä vaikuttaa nesteytyksen kustannuksiin ja käytännöllisyyteen.
- Vedyn loppukäytössä tarvitaan uudelleenkaasutuslaitteita.
- Vetyä kiehuu pois toimituksen aikana noin 0,2-1 % päivässä ja se on myös on syttävää.



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX (vain nesteytyslaitos, lukuun ottamatta vedyn tuotantolaitosta)	Korkea: 1 000-5 000€ tonnilta nesteytetyn vedyn tuotantokapasiteettia kohti
OPEX	Korkea: 100-500 €/tonni/vuosi

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
HyNet on vedyn tuotanto- ja nesteytyshanke UK:ssa	- Hanke keskittyy uusiutuvien ja vähähiilisten energia-lähteiden hyödyntämiseen	Progressive Energy, Cadent
Shellin vetyä nesteyttävä laitos Rhinelandissa Saksassa	- Fossiilisen ja vihreän vedyn nesteyttäminen	Shell Rhineland

Vedyn nesteytyksen CAPEX- ja OPEX-luvut voivat vaihdella hankkeen laajuuden, teknologian, sijainnin ja muiden tekijöiden mukaan. TRL : Technological Readiness Level järjestelmällinen mittari, jota käytetään teknologian kypsyyden ja valmiuden arvioimiseen siten, että 1 on alhaisin ja 9 korkein taso onnistuneesti käyttöönotetulle teknologialle.

Kaasumaisen vedyn kompressio putkikuljetusta varten on kannattavampaa, mutta riippuu putkiston toteuttamisesta

YHTEENVETO TEKNIIKASTA

- Kaasumaista vetyä pidetään paineen alaisena säiliöissä tai putkistoissa. Puristaminen vaatii vähemmän laitteita ja energiaa kuin nesteyttäminen, mutta vaatii suuria kompressoreita suhteellisen alhaisen energiatihedyyden vuoksi.
 - Rekkakuljetukset: 200-500 bar
 - Putkisto: enemmistö <100 bar
- Vetyputkistojen avulla voidaan toimittaa suuria määriä paineistettua vetyä pitkien matkojen päähän, ja sitä voidaan kuljettaa myös rekoilla.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

- Teknologian yleisyys** ++
- Toteutuskelpoinen teknologia, jolla on todistetusti käytössä olevia laitoksia ja eurooppalaisia teknologiatoimittajia, kuten Linde ja Siemens Energy.
- Edut** +
- Kaupallisesti saatavilla oleva vaihtoehto, joka on houkutteleva, jos putkisto toteutetaan ja vedyn loppukäyttäjä on tiedossa.
- Haitat** +/-
- Putkistot edellyttävät laajaa rakenteellista testausta. Vety voi haurastuttaa teräsputkistoja ja lisätä vuotojen riskiä.
 - Rekoilla kuljetettavan vedyn määrä on yleensä rajoitettu tieliikennelainsäädännön vuoksi, ja myös vedyn varastointi edellyttää suuria säiliökapasiteetteja.
 - Kompressoriluotettavuus on haastavaa. Lisää myös turvallisuusriskejä, koska vety palaa paljon nopeammin kuin maakaasu lisäten liekkien leviämrisriskiä.



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	Keskisuuri: noin 500-2000€ vetytonnin kompressointikapasiteettia kohden
OPEX	Keskisuuri: 50-150 €/v tuotettua vetytonnia kohti (alhaisempi kuin nesteytyksessä, koska ei edellytä vedyn olomuodon muuttamista)

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
Energiepark Bad Lauchstädt Saksassa	- Vedyn kompressiolaitteistoa tukemaan vetykäyttöisten ajoneuvojen tankkausta	H2 MOBILITY Deutschland, TOTAL ja Linde:
H2FUTURE Itävallassa	- Vedyn kompressiolaitteistoja mahdollistamaan vedyn käyttöä eri aloilla, erityisesti teräksen tuotannossa	voestalpine AG

Alkalelektrolyysi (ALK) on kehittynein elektrolyysiteknologia ja saatavissa suuressa mittakaavassa

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- Alkalelektrolyysit käyttävät nestemäistä alkaliliuosta, joka sisältää natrium- tai kaliumhydroksidia. Ne toimivat siten, että hydroksidi-ionit (OH⁻) kulkeutuvat elektrolyytin läpi katodilta anodille, jolloin katodin puolella syntyy vetyä.
- ALK-elektrolyysit toimivat yleensä peruskuormalla.
- ALK, jonka käyttöikä on 12 vuotta, on nykyään suosituin ratkaisu suuren mittaluokan sovelluksissa. Kun koko pino (stack) on vaihdettu kennojen hajoamisen vuoksi, ALK-elektrolyysierien käyttöikä pitenee 20 vuoteen.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyyys ja markkinapotentiaali ++

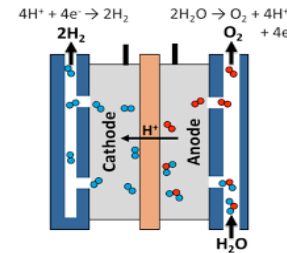
- ALK on ollut kaupallisesti saatavilla jo vuosia. Sen TRL on 8, ja Euroopassa on sille useita teknologiatoimittajia, kuten Nel Hydrogen, Green Hydrogen Systems ja Enapter.

Edut ++

- Uudet ALK-mallit kehittyvät nopeasti joustavuuden osalta
- ALK ei sisällä jalometalleja, ja on näin ollen halvin elektrolyysityyppi sekä vähemmän altis materiaalien toimitusriskeille.
- ALK on kypsä elektrolyysiteknologia, sillä on pitkä käyttöikä ja alhaisimmat investointikustannukset elektrolyysityypeistä.

Haitat +

- ALK on muita teknologioita vähemmän joustava ja myös niistä tehottomin.
- Toimitusaika on lähes 3 vuotta tilauksesta



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	~ 500 EUR/KW
OPEX	Keskisuuri (sähkö on suurin käyttökustannus)
LCOH ¹	3,2-4,6 EUR/kg

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
NorthH2 Alankomaissa	- Vihreän vedyn arvoketjun kehittäminen, tavoitteena 4 GW:n tuulivoimalla toimiva alkalelektrolyysikapasiteetti	Shell, Gasunie, Groningen Seaports, RWE ja Equinor
H2Future Itävallassa	- 6 MW:n alkalelektrolyysilaitoksen rakentaminen vedyn tuottamiseksi teollisuuteen, liikenteeseen ja energian varastointiin.	Voestalpine, Siemens, Verbund

Lähteet: IRENA 2020, Hydrogen tech world

TRL : Technological Readiness Level systemaattinen mittari, jota käytetään teknologian kypsyyden ja valmiuden arvioimiseen. 1 on alhaisin ja 9 on korkein taso onnistuneesti käyttöönotetulle teknologialle. 1) Vedyn tasoitettut kustannukset, arvot edustavat LCOH-arvoja, jotka on määritetty sähkön hinnoilla 30 ja 60 EUR/MWh. 2) Yksi toimittaja: Stargate hydrogen

142 6.3.2024 COPYRIGHT AFRY MANAGEMENT CONSULTING OY | ESISELVITYS PYHÄJOEN ENERGIANTUOTANNON KEHITTÄMISESTÄ

Protoninvaihtokalvoelektrolyysit (PEM) ovat myös saatavilla suuressa mittakaavassa, mutta kalliit katalyysattorimateriaalit nostavat niiden hintaa

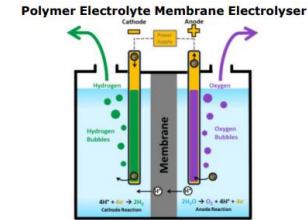
YHTEENVETO TEKNIIKASTA

- PEM-elektrolyysissä elektrolyytti on kiinteää erikoismuovia. Vesi reagoi anodilla muodostaen happea ja positiivisesti varautuneita vetyioneja katodilla; vetyionit yhdistyvät ulkoisesta virtapiiristä tulevien elektronien kanssa muodostaen vetykaasua. PEM:n käyttölämpötila on 70-90 °C.
- Useat toimittajat ovat tuoneet markkinoille kaupallisia MW-mittakaavan PEM-elektrolyysereitä niiden joustavuuden vuoksi.

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys, teknologian kypsyys ja markkinapotentiaali	+
– PEM on suhteellisen uusi teknologia, joka on kaupallisesti saatavilla mutta vähemmän kehittynyt kuin ALK (TRL 7). Eurooppalaisia teknologiatoimittajia, kuten Nel Hydrogen, McPhy Energy Systems ja Enapter, on saatavilla.	
Edut	++
– PEM on joustavin tarkastelluista teknologioista ja soveltuu hyvin vaihtelevaan energiantuotantoon.	
– PEM:illä on pieni tilantarve, ja sen CAPEX-kulut laskevat jatkuvasti.	
Haitat	+/-
– Kallis teknologia sen sisältämien materiaalien vuoksi, ja sitä on käytetty vähemmän teollisuudessa kuin ALK:ta.	
– Joidenkin PEM:ssä käytettävien materiaalien (iridium, skandium ja yttrium sekä jossain määrin titaani) toimituksiin saattaa tulevaisuudessa liittyä merkittäviä riskejä toisin kuin alkalielektrolyysin materiaaliessa.	

Lähteet: IRENA 2020, Hydrogen tech world 1) Vedyn tasoitettut kustannukset, arvot edustavat LCOH-arvoja, jotka on määritetty sähkön hinnoilla 30 ja 60 euroa/MWh.



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	~ 750 EUR/kW (korkeampi kuin ALK CAPEX).
OPEX	Keskisuuri (sähkö on suurin käyttökustannus)
LCOH¹	3,9-5,4 EUR/kg (korkeampi kuin ALK kaikilla sähkön hinnoilla)

NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
REFHYNE II	- 100 MW:n PEM-elektrolyysikapasiteetti Rheinlandin jalostamolla Saksassa	Shell, ITM Power ja Linde

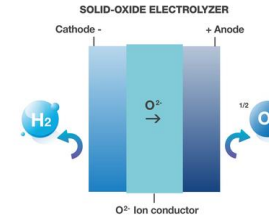
Kiinteäoksidielektrolyysin (SOEC) hyötysuhde on korkea, mutta sitä on edelleen saatavilla vain pienessä mittakaavassa

YHTEENVETO TEKNOLOGIASTA

- SOEC-elektrolyysissä käytetään yleensä elektrolyytinä kiinteää keraamista materiaalia, joka johtaa valikoivasti negatiivisesti varautuneita happi-ioneja (O^{2-}) korkeissa lämpötiloissa (700-800 °C).
- SOEC on kolmesta esitellystä elektrolyysiteknikasta vähiten kehittynyt

KESKEISET NÄKÖKULMAT

Teknologian yleisyys	-
– SOEC on kolmesta esitellystä elektrolyysiteknikasta vähiten kehittynyt. SOEC-teknologia on pääasiassa T&K-vaiheessa, ja kaupallistaminen on vasta alkamassa.	
Edut	+
– SOEC voi tuottaa erittäin puhdasta vetyä	
– SOEC toimii korkealla hyötysuhteella	
Haitat	+/-
– SOEC on edelleen saatavilla vain pienessä mittakaavassa	
– Erittäin korkeiden käyttölämpötilojen vuoksi SOEC vaatii lämmönlähteen, ja lämpöhukkaa syntyy merkittävästi.	



KESKEISET KUSTANNUSOMINAISUUDET

Mittari	Arvo
CAPEX	~ 800 EUR/kW (korkeampi kuin ALK ja PEM)
OPEX	Keskisuuri (sähkö on suurin käyttökustannus)
LCOH ¹	3,19-4,3 EUR/kg (edullisempi kuin ALK kaikilla sähkön hinnoilla)
HANKKEEN KESTO	Teknologian kypsyttyä voidaan odottaa samanlaista aikataulua kuin ALK:n kohdalla

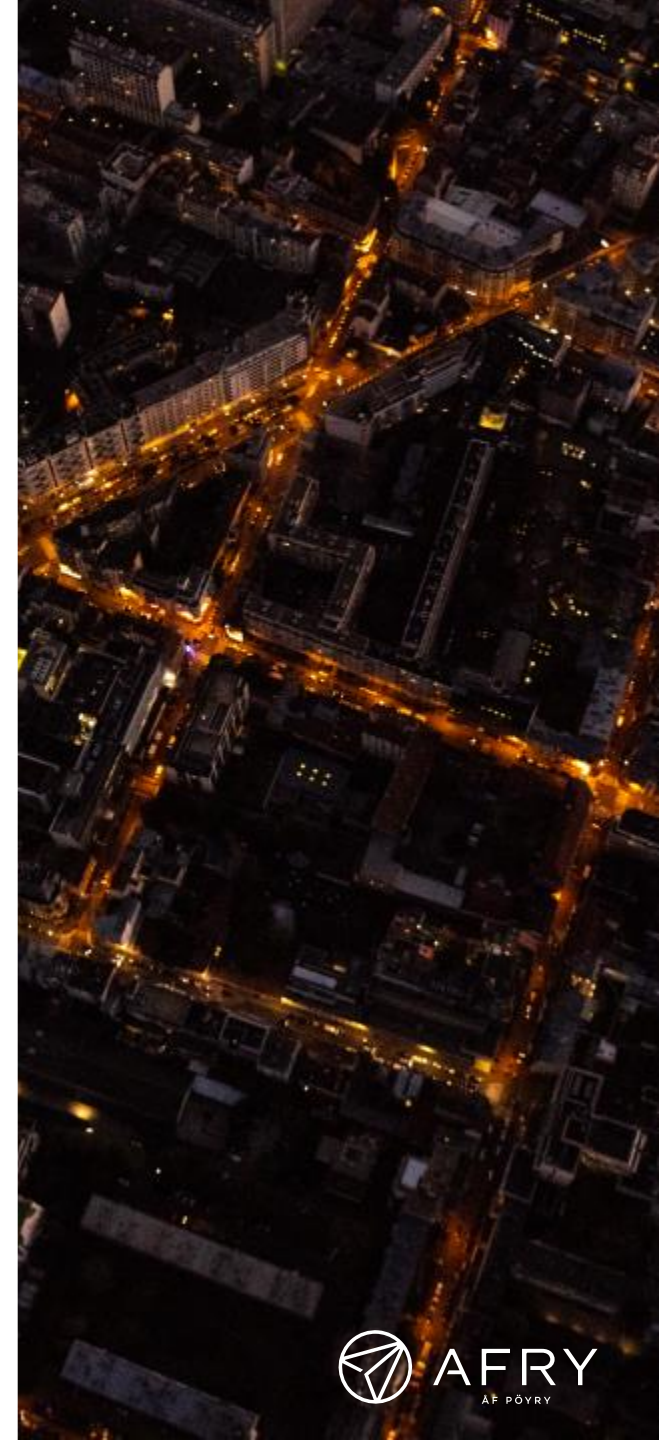
NYKYISET LAITOKSET JA KÄYNNISSÄ OLEVAT HANKKEET

Hanke	Hankkeen ominaisuudet	Projektin omistaja
GrInHy2.0	– Maailman suurin SOEC-elektrolysaattori (720 Kw), joka hyödyntää samassa paikassa sijaitsevan teräksen tuotantoprosessin hukkalämpöä. Projektin hyötysuhde oli 84 prosenttia vuonna 2022.	Salzgitter AG

Lähteet: IRENA 2020, Hydrogen tech world 1) Vedin tasoitettut kustannukset, arvot edustavat LCOH-arvoja, jotka on määritetty sähkön hinnoilla 30 ja 60 euroa/MWh.

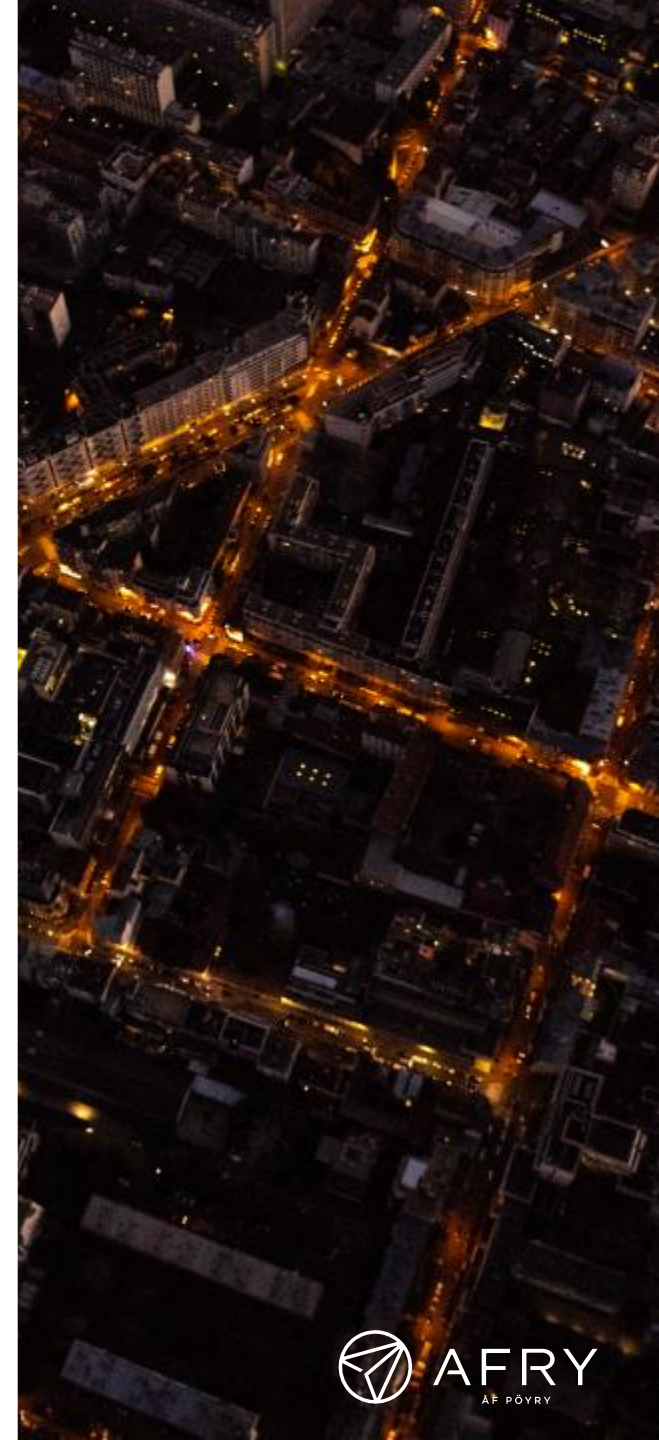
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
 - 5.1 Sidosryhmien kartoitus ja kuvaus
 - 5.2 Sidosryhmien kiinnostus ja valmius uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
 - 5.1 Sidosryhmien kartoitus ja kuvaus
 - 5.2 Sidosryhmien kiinnostus ja valmius uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



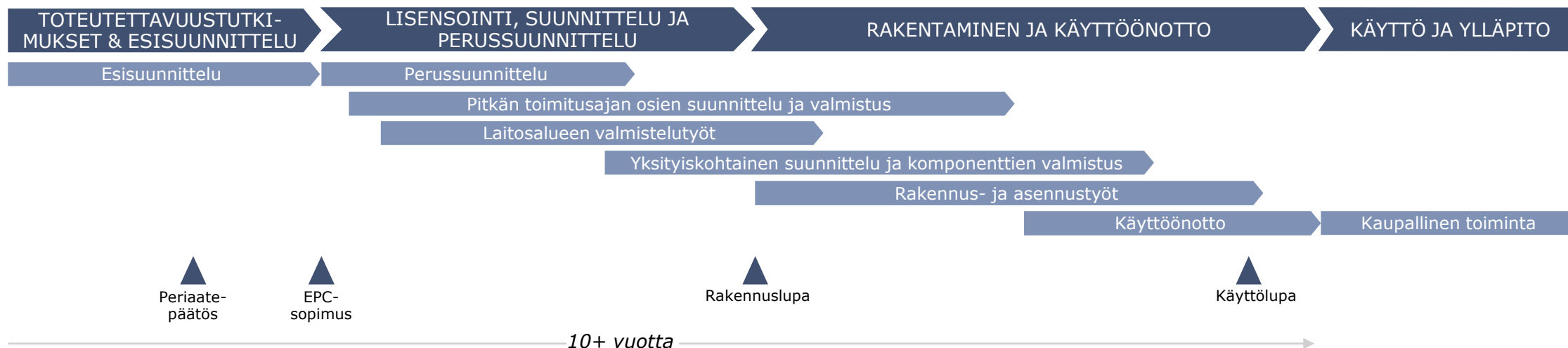
5.1 SIDOSRYHMÄVERKOSTON KARTOITUS JA KUVAUS

Sidosryhmäverkoston kartoitus tehdään kullekin relevantille teknologialle niiden hankekehitysvaiheen ja prosessiin osallistuvien sidosryhmien pohjalta

- Kuvaus **hankekehitysprosessien tyypillisistä vaiheista ja niihin liittyvistä keskeisistä sidosryhmistä kunkin relevantin teknologian ja hanketyypin osalta**. Työssä oletetaan keskittyttävän perinteiseen ydinvoimaan, SMR:ään sekä vedyn tuotantoon ja jalostamiseen synteettisiksi polttoaineiksi tai muiksi lopputuotteiksi (P2X).
- Sidosryhmät kartoitetaan teknologian ja sidosryhmäkategorian mukaan ottaen huomioon sekä kansalliset että kansainväliset toimijat. Keskeiset toimijat kuvataan tiiviisti.
 - Sidosryhmäkategorioihin ja keskeisiin toimijoihin kuuluvat esimerkiksi sijoittajat, hankekehittäjät/energiayhtiöt (esim. Fortum, Vattenfall, TVO), teknologiatuottajat (esim. GE Hitachi, Rolls Royce) ja energian loppukäyttäjät (esim. Outokumpu, SSAB).



Ydinvoimalahanke edellyttää jatkuvaa yhteistyötä luvanhaltijan, laitostoimittajan ja sääntelyviranomaisen (STUK) välillä



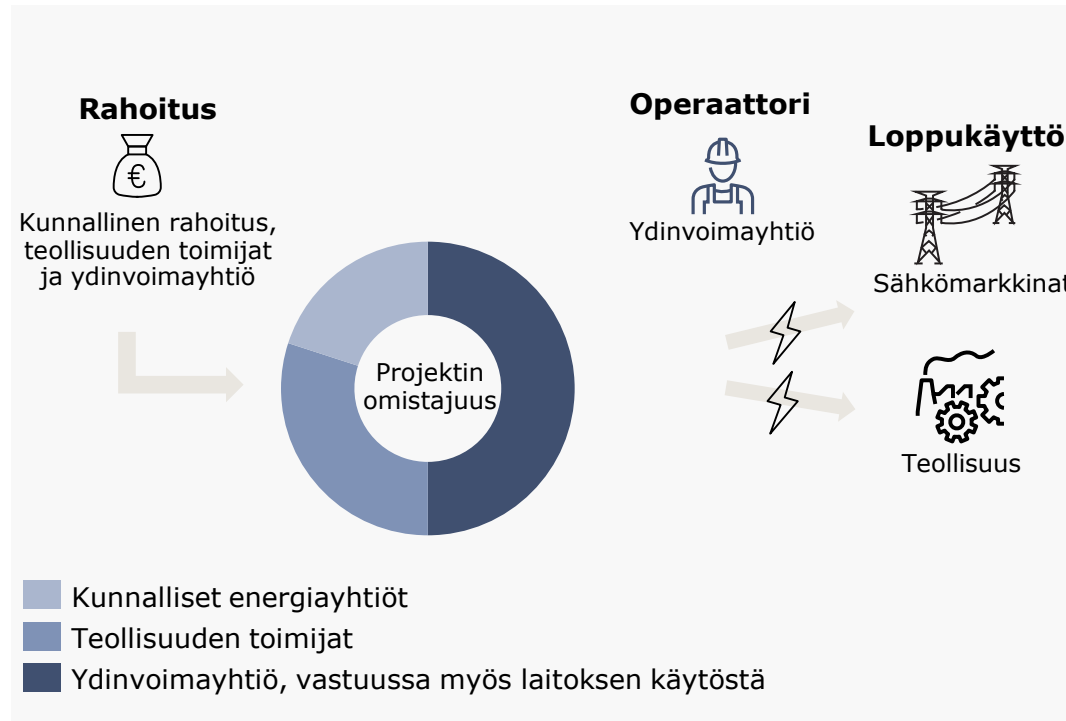
KESKEISET SIDOSRYHMÄT YDINVOIMALAHANKKEEN ERI VAIHEISSA

- Sijoittajat, energiayhtiöt ja mahdollisesti jotkin ydinvoimalaluvan haltijat perustavat yhtiön, joka toimii uuden ydinvoimalan projektin omistajana.
- Regulaatioyhteistyö ja yhteydenpito paikallisiin viranomaisiin esimerkiksi sopivaa sijaintia ja alustavaa ympäristövaikutusten arviointia varten.
- Eduskunnan hyväksyntä periaatepäätökselle
- Neuvottelut mahdollisten laitostoimittajien kanssa
- EPC-sopimus laitostoimittajan kanssa
- Alihankkijat järjestelmätason ja pääkomponenttien suunnitteluun ja valmistukseen.
- Rakennusyhtiöksiä tekemään esim. maanrakennustöitä, jotka eivät edellytä voimalaitoksen rakennuslupaa.
- Laitostoimittaja aloittaa pitkän toimitusajan osien suunnittelun ja valmistuksen.
- STUK antaa rakentamisupahakemuksesta lausunnon, johon on liitetty turvallisuusarviointi.
- Laitostoimittaja osallistaa paikallisia tahoja projektiin. Käyttöönottovaiheen organisaatiota rakennetaan.
- Urakoitsijoiden runsas osallistuminen suunnittelu-, valmistus- ja rakennustöihin. Laitosalueella toimii useita yrityksiä rakennusten ja voimalaitosten eri osia varten.
- Projektin omistaja kehittää oman organisaationsa, jonka tavoitteena on kaupallinen toiminta tulevaisuudessa.
- STUK valvoo suunnittelua, valmistusta, rakentamista/asennusta ja käyttöönottoa. Ydinvoimalan käyttölupaa haetaan hallitukselta. STUK antaa lausunnon käyttölupahakemuksesta.
- Luotettava toiminta varmistetaan luvanhaltijan omalla organisaatiolla STUKin ohjeiden mukaisesti.
- Käyttö- ja huoltotuki taataan esim. laitostoimittajan kanssa tehdyillä pitkäaikaisilla huoltosopimuksilla, OEM-sopimuksilla ja paikallisten palveluntarjoajien kanssa tehdyillä sopimuksilla.
- Tuotettu energia toimitetaan sähkön käyttäjille ja/tai myydään sähkömarkkinoille.

OEM = alkuperäinen laitevalmistaja, STUK = Säteilyturvakeskus, EPC = suunnittelu, hankinta ja rakennus

Uuden ydinvoimalahankkeen käynnistämisen kannalta on keskeistä löytää keino perustaa projektista vastaava yritys

ESIMERKKI UUDEN YDINVOIMALAYHTIÖN OMISTUSMALLISTA



UUDEN YDINVOIMAHANKKEEN YHTEISOMISTUSMALLIN MUODOSTAMINEN

- Uuden ydinvoimalahankkeen käynnistämiseksi on perustettava omistajayritys, joka vastaa koko hankkeesta ja toimii luvanhaltijana. Vaihtoehtoisesti omistajayritys voi muodostaa kumppanuuden hankekehittäjän kanssa jälkimmäisen vastatessa projektin tietyistä vaiheista.
- Yhtiö voitaisiin perustaa kokoamalla yhteen energiayhtiöitä, energian käyttäjiä ja sijoittajia. Yhtiön omistus voitaisiin jakaa esimerkiksi seuraavien toimijoiden kesken:
 - Kunnalliset energiayhtiöt
 - Teollisuuden toimijat
 - Jo olemassa oleva ydinvoimayhtiö, jolla on pätevyys ydinvoimalan käyttämiseen
- Mankala-malli (esitetty luvussa 5.21) on yleinen malli, joka yhdistää energiantuotannon ja teollisuuskäyttäjät. Mankalassa osakkeenomistajat voivat ostaa energiaa omakustannushintaan.
- Toimintamalli voitaisiin muodostaa siten, että ydinvoimayhtiö vastaisi laitoksen toiminnasta ja muut osakkaat ottaisivat voittoa myydyistä sähköstä tai hyödyntäisivät tuotettua sähköä omaan käyttöönsä (teolliset toimijat).






Eri osapuolten välinen projektinomistajuus on havainnollistava esimerkki. Oletuksena on, että osakkaiden on perustettava yhteisyritys toimimaan luvanhaltijana, ja luvanhaltijayhtiön tulisi perustua suomalaiseen/EU-omistukseen.

Mahdolliset sidosryhmät ja niiden valmiudet uuden ydinvoimalan suhteen (1/2)

	Yleistä	Motivaatio/ajurit uusia ydinvoimaprojekteja kohtaan	Kyvykkyudet	Edut/haitat
Fortum 	Suuri energiantuottaja, jolla on osaamista ydinvoima-alalla	Tavoittelee uutta ydinvoimatuotantoa tulevaisuudessa (erityisesti SMR:t)	Loviisan ydinvoimaloiden luvanhaltija Suomessa. Suurten energiantuotantolaitosten omistamiseen liittyvää osaamista.	Potentiaalinen palveluntarjoaja, jolla on pitkäaikaista asiantuntemusta ydinvoimaloiden käytöstä ja rakentamisesta. Voisi olla kiinnostunut sekä uusista suurista voimaloista että SMR:stä. Olemassa oleva laitosalue soveltuu uudelle ydinvoimalalle, kiinnostus laajentaa toimintaa Pyhäjoelle voi olla vähäistä.
Vattenfall 	Suuri energiantuottaja, jolla on osaamista ydinvoima-alalla	Tavoittelee uutta ydinvoimatuotantoa tulevaisuudessa (erityisesti SMR:t)	Kahden ydinvoimalan luvanhaltija Ruotsissa. Suurten energiantuotantolaitosten omistamiseen liittyvää osaamista.	Voisi olla kiinnostunut sekä uusista suurista voimaloista että SMR-laitoksista. Potentiaalinen palveluntarjoaja, jolla on pitkäaikaista osaamista laitoksen käytöstä. Keskittynyt Ruotsin markkinoille, kiinnostus laajentua Suomeen voi olla vähäistä.
TVO 	Suomen suurin ydinvoiman tuottaja	Kiinnostus SMR- ja vetykehityksen tarjoamia mahdollisuuksia kohtaan; nykyisen tuotantokapasiteetin hyödyntäminen, uuden kapasiteetin rakentaminen ja uusien liiketoimintamahdollisuuksien löytäminen. ¹	Olkiluodon ydinvoimaloiden luvanhaltija Suomessa.	Potentiaalinen palveluntarjoaja, jolla on pitkäaikaista asiantuntemusta ydinvoimaloiden käytöstä ja rakentamisesta. Olemassa oleva laitosalue soveltuu uudelle ydinvoimalalle, kiinnostus laajentua Pyhäjoelle voi olla vähäistä.
EDF 	Suuri energiantuottaja, Euroopan suurin ydinvoiman tuottaja	Tavoitteena maailman johtava huippuosaaminen ydinlaitosten rakentamisessa, käytössä ja käytöstä poistamisessa. Osakkeenomistaja	Useiden ydinvoimaloiden luvanhaltija Ranskassa ja UK:ssa sekä osuuksia Yhdysvalloissa, Belgiassa ja Kiinassa.	Koska Suomessa on käytössä yksi EPR-laitos, vastaavanlaisen rakentaminen voisi olla houkuttelevaa. Koska käynnissä ja suunnitteilla on useita hankkeita, uusien suurten investointien kiinnostavuus voi olla vähäistä.

1. TVO:n kestävän kehityksen raportti 2022

Mahdolliset sidosryhmät ja niiden valmiudet uuden ydinvoimalan suhteen (2/2)

	Yleistä	Motivaatio/ajurit uusia SMR-projekteja kohtaan	Kyvykkyudet	Edut/haitat
<p>Kärnfull</p> 	SMR-ydinvoimaprojektin kehittäjä	Keskittyminen SMR- reaktoreiden projektikehitykseen	Alkurahoitus on varmistettu ja on osaamista projektin toteuttamisesta (lisensointi, omistaja, operaattori, rahoitus, toimittajat jne.)	Keskittyminen ja osaaminen SMR-hankkeiden kehittämisessä. Kiinnostus laajentua Suomeen ei ole tiedossa.
Kunnalliset energiayhtiöt	Sähkön ja kaukolämmön jakelijat	Vakaa sähköntuotanto portfoliolle ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteet	Ydinalan osaamista ei odotettavissa, ainoastaan tuotetun energian omistus ja hyödyntäminen	Fennovoimasta saatujen kokemusten perusteella kiinnostus uutta suurta hanketta kohtaan voi olla vähäistä.
<p>SSAB, Outokumpu, UPM, Blastr</p>    	Suuret energiankuluttajat	Vakaa energiantuotanto teollisuusprosesseja varten, hinnanvaihteluille altistumisen vähentäminen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteet	Ydinalan osaamista ei odotettavissa, ainoastaan tuotetun energian omistus ja hyödyntäminen	Fennovoimasta saatujen kokemusten perusteella kiinnostus uutta suurta hanketta kohtaan voi olla vähäistä.

Mahdolliset laitostoimittajat kartoitetaan projektin esisuunnitteluvaiheessa. Hankkeen omistaja vastaa yhteistyöstä viranomaisten kanssa

Projektin omistaja

- Toteutettavuustutkimukset ja esisuunnittelu tarjousvaihetta varten
- Alustavat luvat ja kaavoitussuunnitelmien valmistelu, mukaan lukien ympäristövaikutusten arviointi.
- Kyselymateriaali ja laitostyyppin kilpailutus. Yhteydenpito mahdollisiin toimittajiin tarjouspyyntöasiakirjojen kanssa.
- Periaatepäätöshakemus. Ydinlaitosta koskevaan periaatepäätöshakemukseen sisältyy kuvaus laitoksen periaatteellisista turvajärjestelmistä. Tässä vaiheessa laitoksen tekniikkaa ja turvallisuutta ei vielä arvioida yksityiskohtaisesti.



Viranomaiset



- Paikallisviranomaiset tukevat kaavoituksessa ja luvituksessa
- STUK
 - STUK antaa työ- ja elinkeinoministeriölle oman lausuntonsa sekä YVA-ohjelmista että YVA-raporteista.
 - STUKin lausunto maankäytön suunnittelusta
 - Alustava turvallisuusarviointi periaatepäätöstä koskevasta hakemuksesta
- Eduskunnan hyväksyntä periaatepäätökselle

YVA = ympäristövaikutusten arviointi

Mahdolliset laitostoimittajat

Toimittaja	Maailmanlaajuiset toiminnot	Ajurit kiinnostukselle toimittaa uusi ydinvoimala Pyhäjoelle
Framatome	Euroopan suurin laitostoimittaja -2 rakenteilla olevaa yksikköä Isossa-Britanniassa -Näkymät 2 uuteen yksikköön Isossa-Britanniassa ja 6 yksikköön Ranskassa.	-Markkinaosuuden kasvattaminen Euroopassa ja ydinpolttoaineen ja -palveluiden pitkäaikainen toimitus -Olkiluodossa jo olemassa oleva EPR-reaktori voidaan nähdä merkittävänä riskejä lieventävänä tekijänä. Siitä voi olla hyötyä Framatomelle käytettävissä olevan ammattitaitoisen työvoiman ja kyseiseen reaktorimalliin perehtyneiden viranomaisten vuoksi.
Westinghouse	-1 rakenteilla oleva yksikkö Yhdysvalloissa – Näköpiirissä 4 uutta yksikköä Kiinaan ja 3 Puolaan	- Osallistumisen lisääminen Euroopassa sekä ydinvoimapolttoaineen ja -palveluiden pitkän aikavälin toimitus.
KEPCO	-2 yksikköä rakenteilla Etelä-Koreassa ja yksi yksikkö Arabiemiraateissa. - Näköpiirissä 6 yksikköä Puolassa	- Osallistumisen lisääminen Euroopassa sekä ydinvoimapolttoaineen ja -palveluiden pitkän aikavälin toimitus

HANKKEEN TOTEUTTAMINEN JA KÄYTTÖVAIHE

Ydinvoimalahankkeeseen liittyy laaja toimitusketju hankkeen toteutusvaiheessa ja sen jälkeen



- Uusien ydinvoimalaitosten toimitusketjut rakentuvat laitostoimittajan ja sen luottotoimittajien ympärille hankkeen toteuttamisen aikana.
- Laitostoimittaja vastaa koko laitoksen toimituksesta, kaikki toimitusketjun tasot ja alihankkijat huomioon ottaen
 - Järjestelmäintegraattorit; vastuussa suuremmista kokonaisuuksista
 - Laitevalmistajat; vastuussa laitekokonaisuuksista
 - Komponenttien valmistajat; vastaavat laitteisiin tai voimalaitosjärjestelmiin kuuluvista komponenteista.
- Käytössä olevien voimalaitosten osalta laitoksen omistaja luo usein myös suorat suhteet laitevalmistajiin.
- Ydinpolttoaine on koko voimalaitoksen toiminnan kannalta keskeinen osa toimitusketjua ja erillisempi osa kokonaisuutta. Ydinpolttoaineen tuotanto on hallittu prosessi, ja usein ydinvoimalan laitostoimittaja toimii myös polttoaineen tuottajana/toimittajana.

*TVEL:iä ei tällä hetkellä nähdä vaihtoehtona polttoaineen tuottajaksi

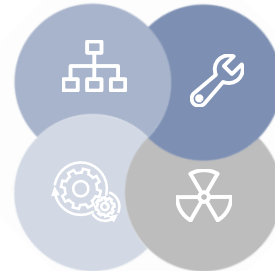
Laitostoimittajan alla oleva toimitusketju voidaan jakaa neljään eri pääkategoriaan, joilla kullakin on omat tärkeät tehtävänsä

JÄRJESTELMÄINTEGRAATTORIT

- Järjestelmäintegraattorit vastaavat ydinvoimalaitosten monimutkaisista järjestelmäkokonaisuuksista. Järjestelmät voivat sisältää ohjaus- ja hallintajärjestelmiä, turvallisuusjärjestelmiä ja eri voimalaitoksen eri tasojen prosessijärjestelmiä. Järjestelmäintegraattorit integroivat järjestelmänsä laitostason kokonaisuudeksi.
- Järjestelmäintegraattoreilla on ratkaiseva rooli ydinvoimaloiden toimittamisessa. Ne yhdistävät yksittäiset laitteet ja komponentit järjestelmätasolle ja lopulta voimalaitostasolle.

LAITEVALMISTAJAT

- Laitevalmistajat rakentavat laitteensa osaksi erilaisia voimalaitosjärjestelmiä. Itse laitteet rakentuvat komponenttivalmistajien komponenteista.
- Esim. pumppuyksiköt ovat hyviä esimerkkejä voimalaitoksen laitteista. Yksiköt vaativat useita eri komponentteja, ja ne liitetään voimalaitokseen osaksi erilaisia voimalaitosjärjestelmiä.



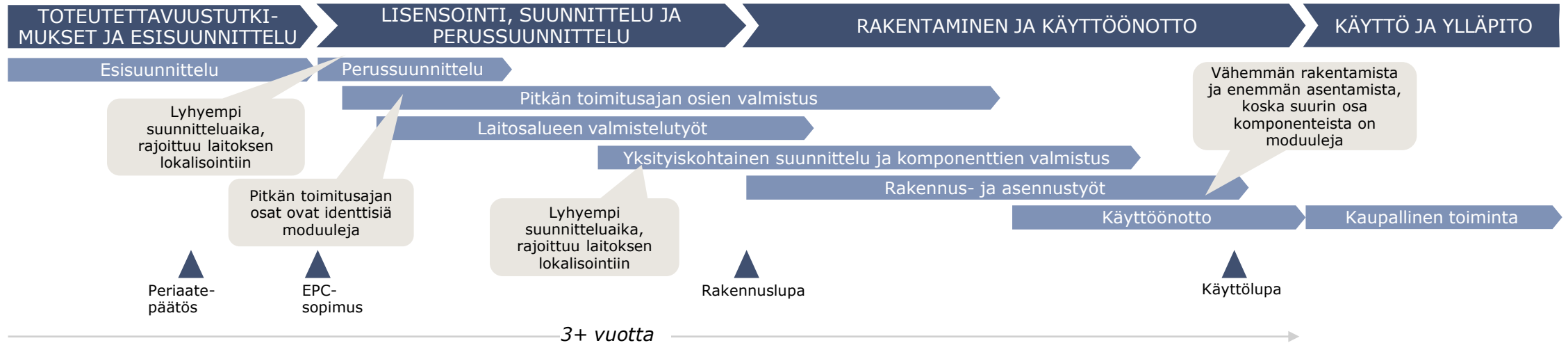
KOMPONENTTIEN VALMISTAJAT

- Komponenttivalmistajat toimittavat yksittäisiä komponentteja osaksi voimalaitoksen laitteita.
- Anturit, juoksupyörät ja esim. venttiilirungot, jotka muodostavat pumppuyksiköitä, ovat esimerkkejä komponenteista.
- Komponenttien valmistajat voivat usein olla yrityksiä, jotka eivät ole erikoistuneet ydinvoimahankkeisiin, mutta täyttävät ydinvoimakomponenttien toimitusvaatimukset.

YDINPOLTTOAINEEN TUOTTAJAT

- Tällä hetkellä polttoaine-elementtien valmistus on pääasiassa viidellä suurella yrityksellä: Framatome, GE Hitachi, Westinghouse, China National Nuclear Corporation ja Rosatom.
- Polttoainesauvojen valmistus on erittäin säännelty prosessi, johon liittyy tiukkoja turvallisuus- ja laadunvalvontavaatimuksia. Tämän vuoksi tähän polttoainetoimitusketjun osaan osallistuvien yritysten on noudatettava tiukkoja sääntelynormeja ja läpäistävä säännöllisiä tarkastuksia vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi.
- Vakiintuneet yritykset, joilla on laaja kokemus, hallitsevat näitä markkinoita. Tämän vuoksi uusien tulokkaiden voi olla vaikea päästä mukaan polttoaineen valmistuksen liiketoimintaan, varsinkin kun otetaan huomioon ydinmateriaalien käsittelyyn liittyvät korkeat pääomakustannukset ja sääntelyyn liittyvät hidasteet/esteet.
- Framatome ja Westinghouse ottavat haltuunsa Rosatomin polttoaineasiakkaat EU:ssa Venäjän vastaisista pakotteista johtuen.

SMR-hankkeet eroavat suurista ydinvoimaloista lyhyemmän aikataulun ja keskitetymmän laitevalmistuksen osalta



KESKEISET SIDOSRYHMÄT YDINVOIMALAHANKKEEN ERI VAIHEISSA

- Sijoittajat, energiayhtiöt ja mahdollisesti jotkin ydinvoimalaluvan haltijat perustavat yhtiön, joka toimii uuden ydinvoimalan projektin omistajana.
- Regulaatioyhteistyö ja yhteydenpito paikallisiin viranomaisiin esimerkiksi sopivaa sijaintia ja alustavaa ympäristövaikutusten arviointia varten.
- Eduskunnan hyväksyntä periaatepäätökselle
- Neuvottelut mahdollisten laitostoimittajien kanssa
- **Lisenssi jaetaan kahteen osaan, joista toinen koskee teknologiaa ja toinen laitosaluetta. Teknologia on tarkoituksena lisensoida vain kerran niin, että sitä voi hyödyntää useissa kohteissa.**
- **Järjestelmätason alihankkijoiden rooli rajoittuu laitoksen lokalisointiin, jolla laitos mukautetaan laitosalueeseen. Tyypilliset komponentit tehdastuotetaan laitoksen toimittajan toimesta.**
- **Laitoksen toimittaja valmistaa pitkän toimitusajan tuotteet.**
- STUK antaa rakennuslupahakemuksesta lausunnon, johon on liitetty turvallisuusarviointi.
- Laitostoimittaja osallistaa paikallisia tahoja hankkeeseen. Käyttöönottovaiheen organisaatiota rakennetaan.
- **Urakoitsijoiden rajallinen osallistuminen suunnittelu-, valmistus- ja rakennustöihin. Modulaariset komponentit toimitetaan tehtaalta ja kootaan laitosalueella.**
- Projektin omistaja kehittää oman organisaationsa, jonka tavoitteena on kaupallinen toiminta tulevaisuudessa.
- STUK valvoo suunnittelua, valmistusta, rakentamista/asennusta ja käyttöönottoa. Ydinvoimalan käyttölupaa haetaan hallitukselta. STUK antaa lausunnon käyttölupahakemuksesta.
- Luotettava toiminta varmistetaan luvan haltijan omalla organisaatiolla STUKin ohjeiden mukaisesti.
- Käyttö- ja huoltotuki taataan esim. laitostoimittajan kanssa tehdyillä pitkä-aikaisilla huoltosopimuksilla, OEM-sopimuksilla ja paikallisten palveluntarjoajien kanssa tehdyillä sopimuksilla.
- Tuotettu energia toimitetaan sähkön käyttäjille ja/tai myydään sähkömarkkinoille.

SMR = modulaarinen pienydinreaktori (Small Modular Reactor), OEM = alkuperäinen laitevalmistaja (Original Equipment Manufacturer)

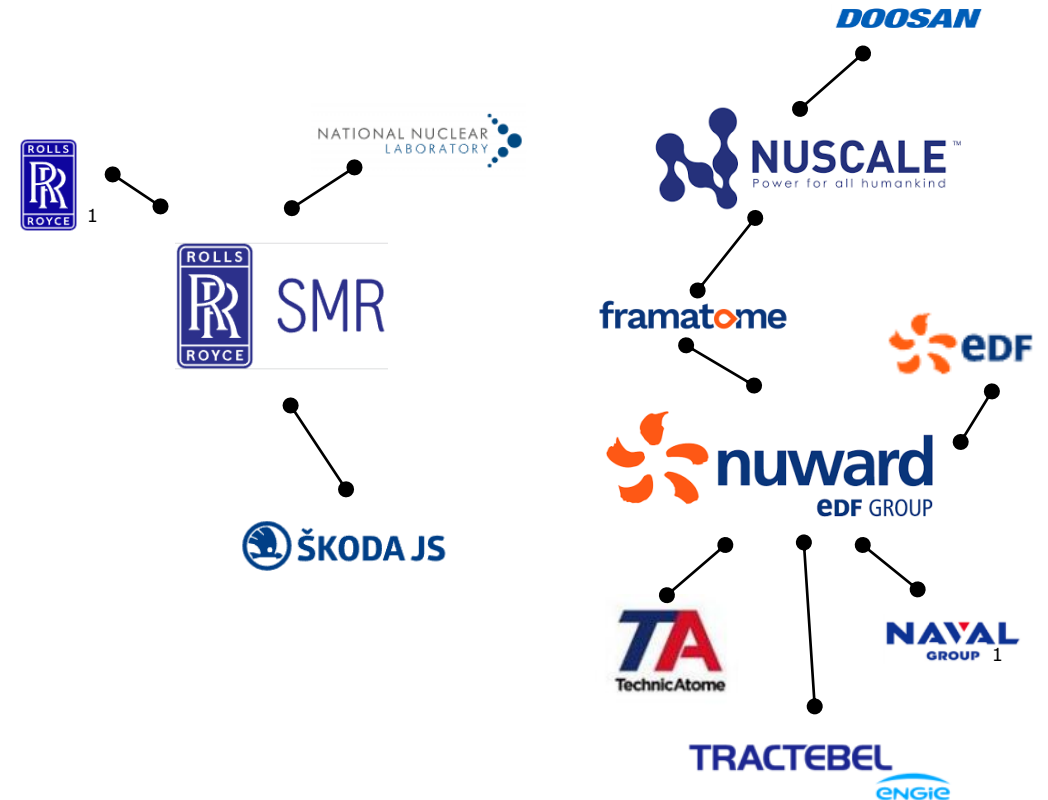
Vakiintuneet teknologiatoimittajat kehittävät omia SMR-mallejaan ja tekevät aktiivisesti yhteistyötä uusien SMR-toimijoiden kanssa

LAITOSTOIMITTAJAT

Keskittyminen ydinvoimalajärjestelmään integroitavien teknologioiden, kuten polttoaineteknologian ja valvontajärjestelmien, suunnitteluun ja kehittämiseen

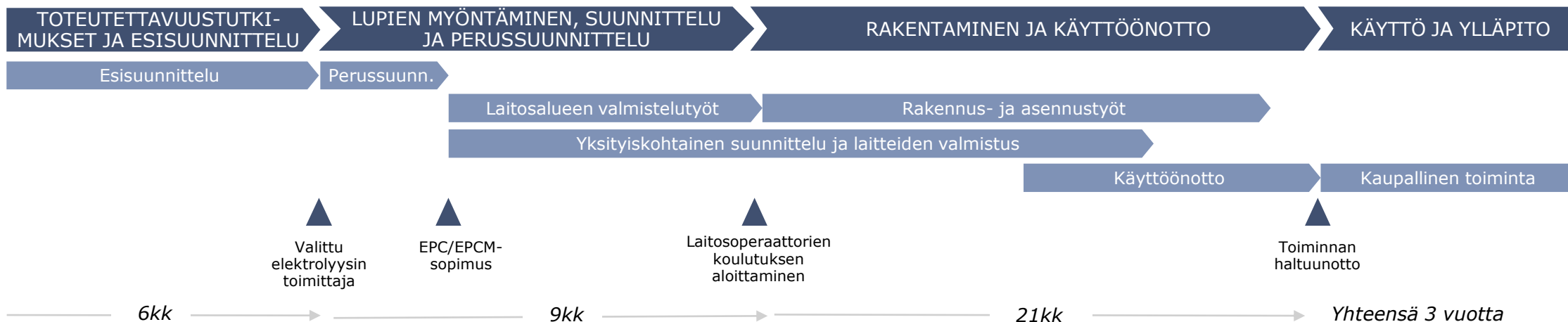
- Tällä hetkellä kehitteillä on useita erilaisia SMR-malleja. Useimmilla suunnitteluun osallistuvilla toimijoilla ei ole kapasiteettia eikä kiinnostusta osallistua hankkeen kaikkiin vaiheisiin kaupallisesti toteutuskelpoisen laitoksen toteuttamiseksi.
- Uudet SMR-operaattorit eivät ole käyneet läpi lupaprosessia useissa maissa eivätkä ole vielä aloittaneet ensimmäistä SMR-hankettaan. Kuten perinteisissä laitoshankkeissa, myös uusien SMR-laitoshankkeiden menestyksekkäässä toteuttamisessa on odotettavissa viivästyksiä ja kustannusten ylityksiä.
- Onnistuakseen uudet yritykset suunnittelevat yhteistyötä suurten toimijoiden kanssa, jotka voivat vastata suunnittelusta ja projektinhallinnasta, mukaan lukien toimitusketjun luominen, lisensointi ja rakennusvaiheet.
- SMR:n toimitusketjun odotetaan kuitenkin olevan keskittyneempi teknologiatoimittajaan verrattuna suuriin ydinvoimaloihin, koska suunnitelmana on toimittaa tehtaalla valmistettuja moduuleja lyhyellä kokoonpanoajalla laitospaikalle.

SMR-KEHITTÄJÄT TEKEVÄT YHTEISTYÖTÄ VAKIINTUNEIDEN TOIMIJOIDEN KANSSA



1) Osa suunnittelukonseptista on peräisin sotilasmeriteollisuuden asiantuntemuksesta

Vedyntuotantolaitoksen (elektrolyysi) rakentamisen perusrakenne ja aikajana ovat samankaltaisia kuin ydinvoimalalla, mutta kesto on lyhyempi



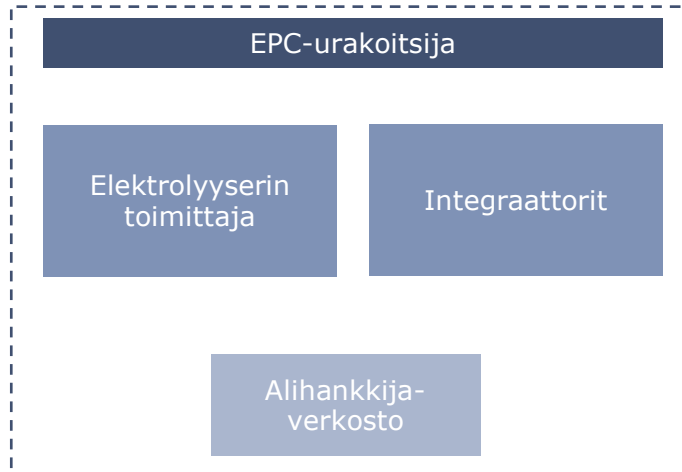
TÄRKEIMMÄT SIDOSRYHMÄT VEDYNTUOTANTOLAITOSHANKKEEN ERI VAIHEISSA

- | | | | |
|--|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Sijoittajat, energiayhtiöt ja vedyn käyttäjät perustavat yrityksen, joka toimii uuden vetylaitoksen projektin omistajana. - Regulaatioyhteistyö ja yhteydenpito paikallisiin viranomaisiin esimerkiksi sopivaa sijaintia ja alustavaa ympäristö-vaikutusten arviointia varten. Mukaan lukien vedyn kuljetuksen vaikutukset. - Neuvottelut mahdollisten OEM-toimittajien kanssa - Vetylaitoksen operaattorista sopiminen | <ul style="list-style-type: none"> - EPC/EPCM-sopimus laitostoimittajan kanssa - Alihankkijat järjestelmätason ja pääkomponenttien suunnitteluun ja valmistukseen - Varhaiset sopimukset LLI-osia varten (elektrolyyserien valmistuskapasiteetti voi olla rajallinen) - Rakennusyritykset esim. maanrakennustöitä varten - Off-taker-sopimuksen allekirjoitus - AVI:n hyväksymä ympäristölupa ja Tukesin hyväksymä kemikaalilupa - Maanomistajan hyväksyntä rakentamiselle - Kunnan hyväksyntä rakentamiselle (mukaan lukien päivitetty maankäyttösuunnitelma) | <ul style="list-style-type: none"> - Tärkeimpien alkuperäisten laitevalmistajien (OEM) runsas osallistuminen suunnitteluun, valmistukseen ja työmaalla tehtäviin töihin. Useita yrityksiä laitosalueella eri järjestelmiä varten - Vetylaitoksen operaattori kehittää oman organisaationsa ja turvallisuusjohtamisjärjestelmänsä (koulutetaan tehdashyväksyntätestauksen (FAT) ja paikan päällä tapahtuvan käyttöönoton aikana) - Kunnan hyväksyntä käyttöönotolle ja toiminnalle | <ul style="list-style-type: none"> - Käyttö- ja huoltotuki taataan esimerkiksi laitostoimittajan kanssa tehdyillä pitkäaikaisilla huoltosopimuksilla, OEM-sopimuksilla ja paikallisten palveluntarjoajien kanssa tehdyillä sopimuksilla. - Tuotettu vety toimitetaan vedyn ostajille ja/tai säilytetään omaan käyttöön. |
|--|--|--|---|

OEM= Alkuperäinen laitevalmistaja, LLI= pitkän toimitusajan tuote (Long Lead Item)

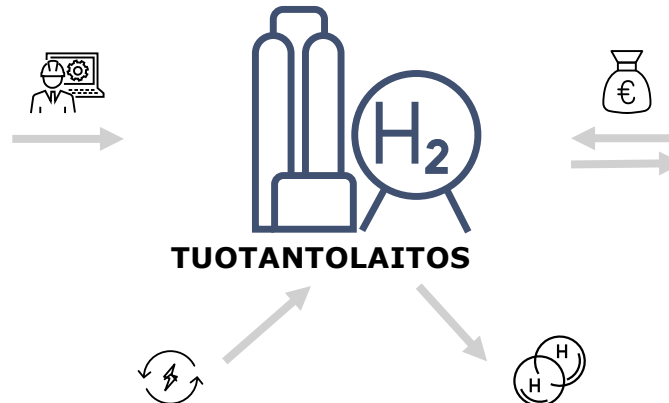
Vedyn tuotantolaitos tarjoaa mahdollisuuksia projektin toimittajille, sijoittajille, energiayhtiöille ja vedyn hyödyntäjille

PROJEKTIN TOIMITTAMINEN



- Hankkeen toteuttaminen tapahtuu todennäköisesti EPC-urakoitsijan toimesta.
- Elektrolyysin toimittaja voisi rajoittaa omaa riskiään olemalla ottamatta koko projektitoimitusta vastuulleen.
- Järjestelmäintegraattorit toimittavat tarvittavat järjestelmät koko tuotantolaitoksen rakentamiseen yhdessä EPC-urakoitsijan ja elektrolyysin toimittajan kanssa.
- Alihankkijaverkostoa hyödynnetään kunkin merkittävän hankeosallistujan toimittajaverkoston perusteella.

*Indikatiiviset osuudet



ENERGIAN TUOTANTO & VEDYN KÄYTTÖ

Uusiutuvan energian tuottaja

- Uusiutuvaa energiaa tarjoavat yritykset, kuten tuulivoimayhtiöt.

Vedyn käyttäjät

- Teolliset vedyn käyttäjät hyödyntävät tuotetun vedyn

UUSI VEDYN TUOTANTOYHTIÖ







Omistaja(t)

- Omistajapohja voi rakentua monilla eri tavoilla, riippuen eri yritysten kiinnostuksesta veteyn alueella. Usein energiantuottajat, vedyn hyödyntäjät ja pääomasijoittajat perustavat yhteisyrityksen uutta vedyntuotantolaitosta varten.

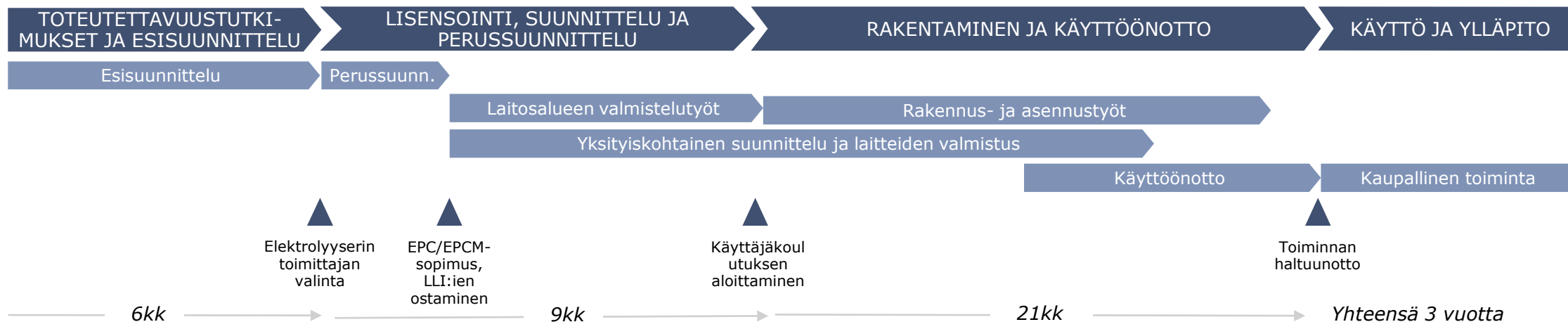


- Energia-yhtiöt
- Vedyn hyödyntäjät (teollisuusyritykset)
- Pääomasijoittajat

Mahdolliset sidosryhmät ja niiden kyvykkyudet vedyn osalta

	Motivaatio/ajurit uusia vetyprojekteja kohtaan	Kyvykkyudet	Edut/haitat
 <p>Sähkön tuottajat -Fortum, Ilmatar, EPV energia</p>	Vetyprojekti luo sähkölle ostajan, minimoi verkon päivitystarpeen. Hyödyntää tuotettu sähkö hyvään hintaan.	Sähkön tuotanto, asiantuntemus projekteista ja toiminnasta, mahdollisia sijoittajia projektille	Mahdollisesti korkea sähkökustannus vedyn tuotantoon, eivät ehkä investoi vetyyn taloudellisista syistä.
 <p>Elektrolyyserien toimittajat -Nel, Green hydrogen systems, Sunfire, Thyssenkrupp, Elogen</p>	Haluavat myydä laitteitaan ja palveluitaan	Tarjoaa elektrolyyserit sekä mahdollisesti esisuunnittelu- ja EPC-palvelut	Kypsää teknologiaa saatavilla, mutta toimitusajat voivat olla pitkiä suurempien tilausten osalta.
 <p>Elektrolyyserin operaattorit -Fortum, SSAB, Helen, EPV energia</p>	Joustava vedyntuotanto, kun sähkön hinta on matala. Voi saada tuloja toimiessaan verkon vakauttajana.	Asiantuntemus projekteista ja toiminnasta, mahdollisia sijoittajia projektille.	Yhdelläkään yrityksellä ei ole pitkää asiantuntemusta joustavasta, uusiutuviin energialähteisiin perustuvasta vedyn tuotannosta, vedyn ostajan ei tarvitse operoida vetylaitosta, näillä yrityksillä on käyttö- ja ylläpitokokemusta.
 <p>Vedyn ostajat -SSAB, Neste, St1, Ren-Gas, Flexens, Blastr</p>	Halu korvata fossiilinen vety vihreällä, uuden vetyä tarvitsevan teknologian hyödyntäminen, synteettisten poltto-aineiden tuottaminen vedystä	Vedyn hyödyntäjät (myös mahdollisia sijoittajia)	Vetyä ei tarvitse jalostaa pidemmälle
 <p>Sijoittajat -Hallituksen sijoitusrahastot (ilmastorahasto), pääomasijoittajat (Prime Capital)</p>	Vihreän siirtymän edistäminen, tuotto onnistuneista investoinneista	Hankkeen rahoitus	Jotkut sijoittajat ovat varovaisia, kunnes koko arvoketju on demonstroitu
 <p>Hiilipäästöjen aiheuttajat -Westenergy, Oulun energia, Metsä group, UPM, Stora Enso</p>	Haluavat mahdollisesti ottaa prosesseistaan hiilen talteen ja hyödyntää sen vedyn avulla	Ei lainkaan tai vain vähän vedyntuotantoon liittyvää osaamista	Mahdollisuus lämmön integrointiin. Vaatii, että hiilidioksidin talteenotto ja vetylaitos käytettävissä samanaikaisesti.

Ammoniakin tuotantolaitoksen rakentamisen perusrakenne ja aikataulu. Tärkeimmät sidosryhmät ja niiden roolit hankkeessa.



TÄRKEIMMÄT SIDOSRYHMÄT AMMONIAKIN TUOTANTOLAITOSHANKKEEN ERI VAIHEISSA

- | | | | |
|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Sijoittajat, energiayhtiöt ja ammoniakin käyttäjät perustavat yhtiön, joka toimii ammoniakkilaitoksen projektin omistajana. - Viranomaisyhteistyö ja yhteydenpito paikallisiin viranomaisiin esimerkiksi sopivaa sijoituspaikkaa ja alustavaa YVA:a varten. Myös ammoniakin kuljetusvaikutukset - Neuvottelut mahdollisten OEM-toimittajien kanssa - Ammoniakkilaitoksen operaattorista sopiminen | <ul style="list-style-type: none"> - EPC/EPCM-sopimus laitostoimittajan kanssa - Alihankkijat järjestelmätason ja pääkomponenttien suunnitteluun ja valmistukseen - Varhaiset sopimukset LLI-osia varten - Rakennusyrietykset esim. maanrakennustöitä varten - Off-taker-sopimuksen allekirjoitus - AVI:n hyväksymä ympäristölupa ja Tukesin hyväksymä kemikaalilupa - Maanomistajan hyväksyntä rakentamiselle - Kunnan hyväksyntä rakentamiselle (mukaan lukien päivitetty maankäyttösuunnitelma) | <ul style="list-style-type: none"> - Tärkeimpien alkuperäisten laitevalmistajien (OEM) runsas osallistuminen suunnitteluun, valmistukseen ja työmaalla tehtäviin töihin. Useita yrityksiä laitosalueella eri järjestelmiä varten - Vetylaitoksen operaattori kehittää oman organisaationsa ja turvallisuusjohtamisjärjestelmänsä (koulutetaan tehdashyväksyntätestauksen (FAT) ja paikan päällä tapahtuvan käyttöönnoton aikana) - Kunnan hyväksyntä käyttöönnotolle ja toiminnalle | <ul style="list-style-type: none"> - Käyttö- ja huoltotuki taataan esimerkiksi laitostoimittajan kanssa tehdyillä pitkäaikaisilla huoltosopimuksilla, OEM-sopimuksilla ja paikallisten palveluntarjoajien kanssa tehdyillä sopimuksilla. - Tuotettu ammoniakki toimitetaan ostajille ja/tai säilytetään omaan käyttöön |
|--|--|--|--|

OEM= alkuperäislaitteiden valmistaja, FAT= tehdashyväksyntätestaus, LLI= pitkä toimitusaikainen tuote, YVA = Ympäristövaikutusten arviointi

Mahdolliset sidosryhmät ja niiden kyvykkyudet ammoniakkin osalta



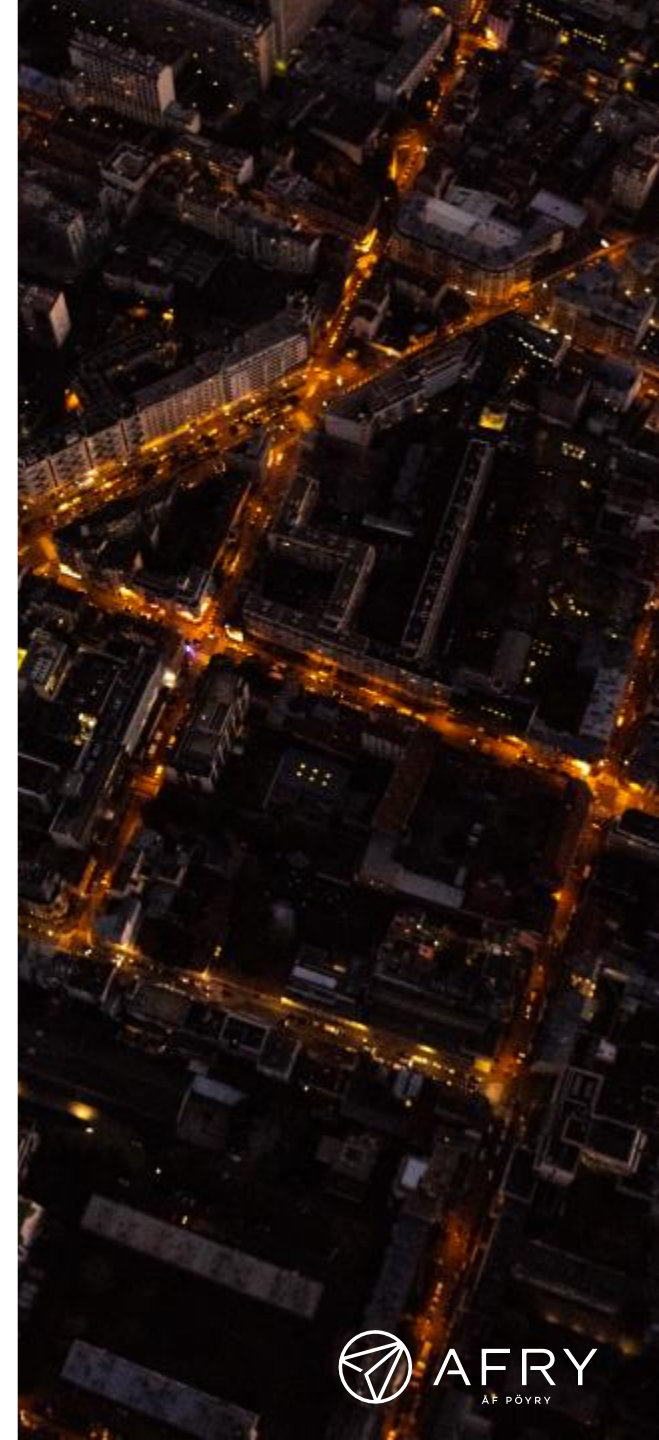
	Motivaatio/ajurit uusia ammoniakkiprojekteja kohtaan	Kyvykkyudet	Edut/haitat
Laitetoimittajat -Thyssenkrupp, Linde, Haldor Topsoe, Cryostar	Haluavat myydä laitteitaan ja palveluitaan	Tarjoaa laitteita, mahdollisesti feed- ja EPC-palveluja.	Kypsää teknologiaa löytyy
Ammoniakkilaitosten operaattorit -Fortum, Helen, EPV energia,	Joustava vedyntuotanto sähkön hinnan ollessa matala. Voi saada tuloja toimiessaan verkon vakauttajana.	Asiantuntemus projekteista ja toiminnasta, mahdollisia sijoittajia projektille	Yleinen käyttö- ja ylläpitokokemus
Ammoniakin ostajat -Yara, varustamot	Halu korvata fossiilinen ammoniakki vihreällä ammoniakilla ja siirtyä puhtaisiin polttoaineisiin	Ammoniakin hyödyntäjät (mahdolliset sijoittajat)	Ammoniakin jalostaminen ei ole tarpeen, ammoniakista saadaan kiinteä hinta, näiden yritysten vedyn kysyntä voi muuttua tulevaisuudessa
Sijoittajat -Hallituksen sijoitusrahastot (ilmastorahasto), pääomasijoittajat (Prime Capital), yksityiset sijoittajat	Edistetään vihreää siirtymää, tuotot onnistuneista investoinneista	Hankkeen rahoitus	Jotkut sijoittajat ovat varovaisia, kunnes koko arvoketju on demonstroitu

Toimitusketju

- Uusiutuvan energian tuottaja (Fortum, Ilmatar, EPV energia).
- Ilmanerotusyksikön toimittajat (Linde, Cryostar, Messer group).
- Ammoniakkisynteesireaktorin toimittajat (Thyssenkrupp, Linde, Haldor Topsoe).
- Integraattorit (AFRY, Sweco, Ramboll, Rejlers).
- EPC-yhtiöt (Åker solutions, Rejlers)
- Omistaja/operaattori (Fortum, Helen EPV energia, Stora Enso, JV)

Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
 - 5.1 Sidosryhmien kartoitus ja kuvaus
 - 5.2 Sidosryhmähaastattelut kiinnostuksen selvittämiseksi uusia hankkeita kohtaan
 - 5.21 Sidosryhmäkategoriat
 - 5.22 Tulokset omistaja-operaattoreiden haastatteluista
 - 5.23 Tulokset laitosten toimittajien haastatteluista
 - 5.24 Tulokset suurten sähkönhankkijoiden haastatteluista
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät





Sidosryhmäkategoriat

Sidosryhmähaastattelut kiinnostuksen selvittämiseksi uusia hankkeita kohtaan

Sidosryhmien edustajia on haastateltu eri sidosryhmäkategorioista

Tärkeimmät vastualueet

Esimerkkiyritykset



Ydinvoiman
omistaja-
operaattorit

- Laitoksen operointi, rahoitus, toteutettavuustutkimus, teknologian valinta
- Lisenssit ovat omistajan hallussa



Laitosten
toimittajat

- Laitosten toimitus, hankinta, suunnittelu, rakentaminen



Suuret sähkön
ostajat

- Sähkön ostaminen voimalaitokselta esim. pitkäaikaisilla sopimuksilla



Yksi suuri yritys ainoana omistaja-operaattorina - Loviisa 1 & 2 case-esimerkki

Loviisa 1 & 2 omistaja % kokonaismäärästä



100%

Keskeiset tiedot toiminnasta

- Loviisan voimalaitos otettiin käyttöön vuonna 1980
- Alun perin laitoksen omisti Imatran Voima, ja yhtiön nimi muutettiin Fortumiksi vuonna 1998, kun Imatran Voima ja Neste yhdistyivät. Neste perustettiin myöhemmin uudelleen ja Loviisan omistus säilyi Fortumilla.
- Kohteen nykyaikaistaminen on vaatinut aktiivisia investointeja
- Vuosina 2014-2018 Fortum investoi 0,5 miljardia euroa laitoksen turvallisuuden ja tehokkuuden parantamiseen.
- Fortumilla on 500 työntekijää Loviisan ydinvoimalassa
- Vuonna 2009 Fortum haki periaatepäätöstä kolmannen reaktorin rakentamiseksi Loviisan laitosalueelle.
- Hakemus hylättiin vuonna 2010.

Fortumin kaltainen suuryritys voi toimia ainoana omistaja-operaattorina

Mankala-yhtiöt toimivat alustana osakkeenomistajille, jotka voivat ostaa sähköä omakustannushintaan

Kommentit

Yleiskatsaus

- Mankala-periaatteessa monta yritystä perustaa voittoa tavoittelemattoman yhtiön yhteistä tarkoitusta varten.
- Kukin osallistuva yritys omistaa hankkeesta osuuden, joka on suhteessa sen investointiin.
- Mankala-voimalaitoksissa sähköä tuotetaan omakustannushintaan.

Edut

- Mankala mahdollistaa suuret voimalaitokset, jotka olisivat usein liian suuria hankkeita yksittäisille yrityksille.
- Lisäksi Mankala mahdollistaa asiantuntemuksen ja riskien jakamisen sekä mittakaavaedut.

Toimintamalli

- Osakkeenomistajat ohjaavat hankkeita - jos he tarvitsevat uutta tuotantoa, Mankala-yhtiö järjestää heille hankkeen
- Mankala-yhtiö laskee liikkeelle uusia projektiosakkeita, joita kukin yhtiö voi ostaa tarpeidensa mukaan.
- Kaikkien jäsenten on hyväksyttävä hanke, mutta osallistuminen ei ole edellytys.

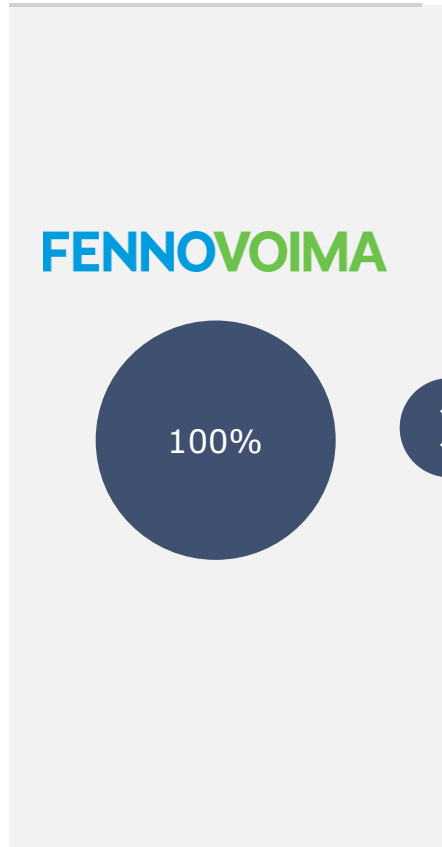
Indikaatiot uusille projekteille

- Mankala-yhtiö toimii alustana osakkeenomistajille
- Mankala-yhtiö ei yksin aja uusia kehityshankkeita
- Siksi arvioitaessa Mankala-yhtiöiden kiinnostusta aloittaa uusia hankkeita on osakkeenomistajien kiinnostus arvioitava erikseen
- Osakkeenomistajat koostuvat yleensä teollisuuden toimijoista ja energiayhtiöistä
- Uusien hankkeiden tarve riippuu osakkeenomistajien sähkön kysynnän kehityksestä

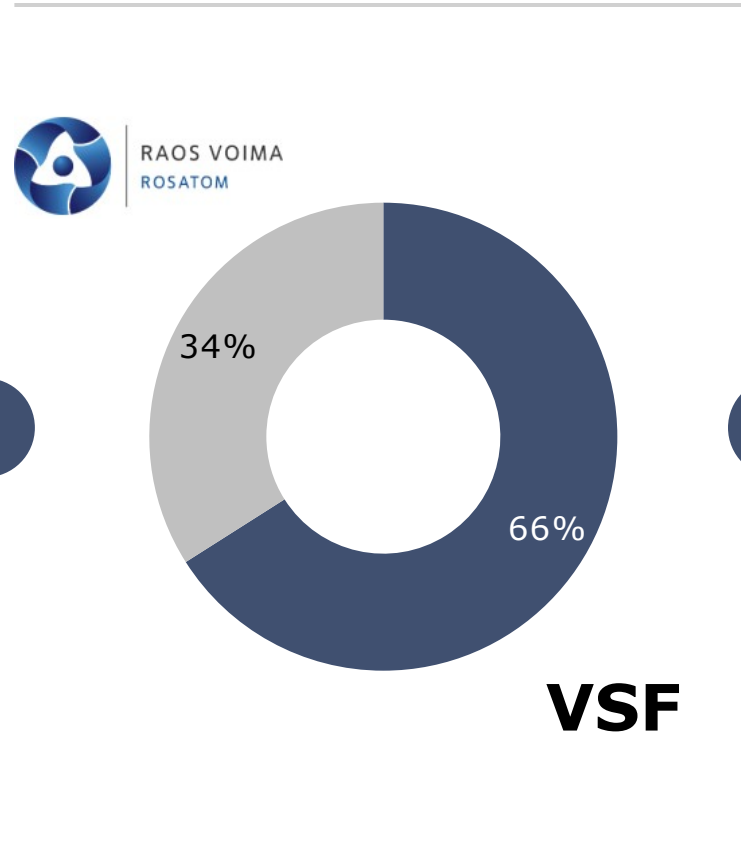


Ydinvoimahankkeen omistaja-operaattori - Hanhikiven case-esimerkki

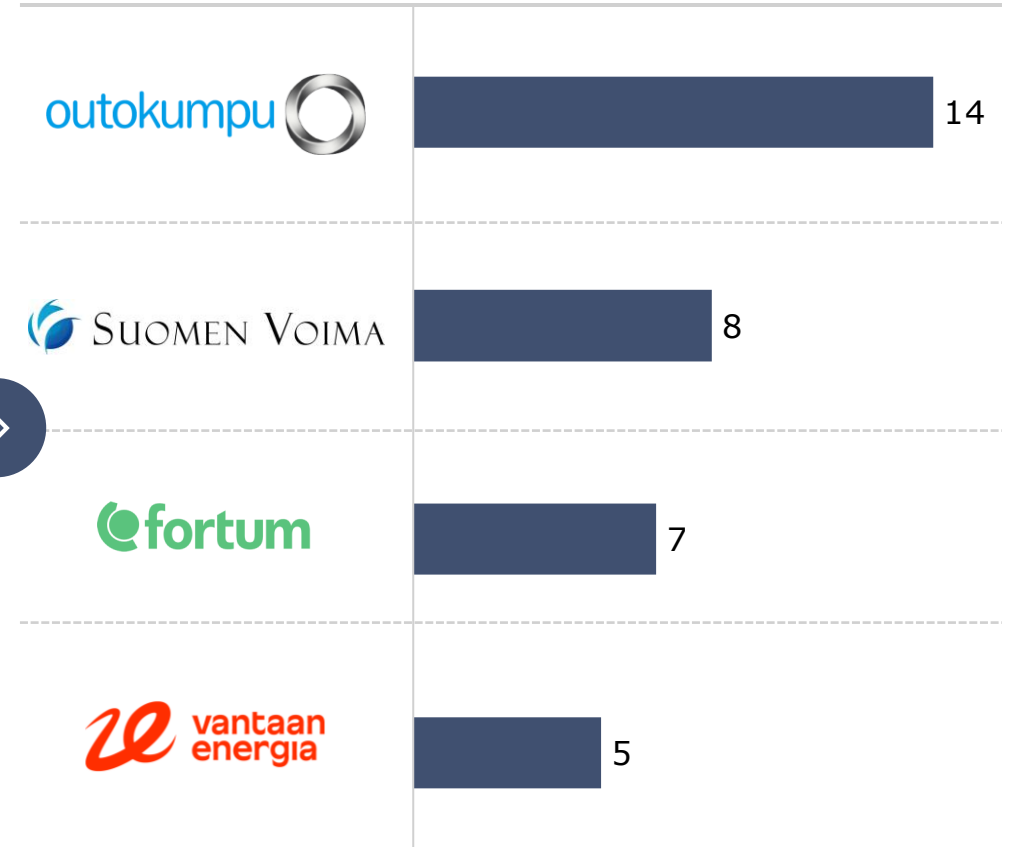
Hanhikiven omistaja
% kokonaismäärästä



Fennovoiman osakkeenomistajat v. 2015
% kokonaismäärästä



VSF:n pääosakkaat
% kokonaismäärästä

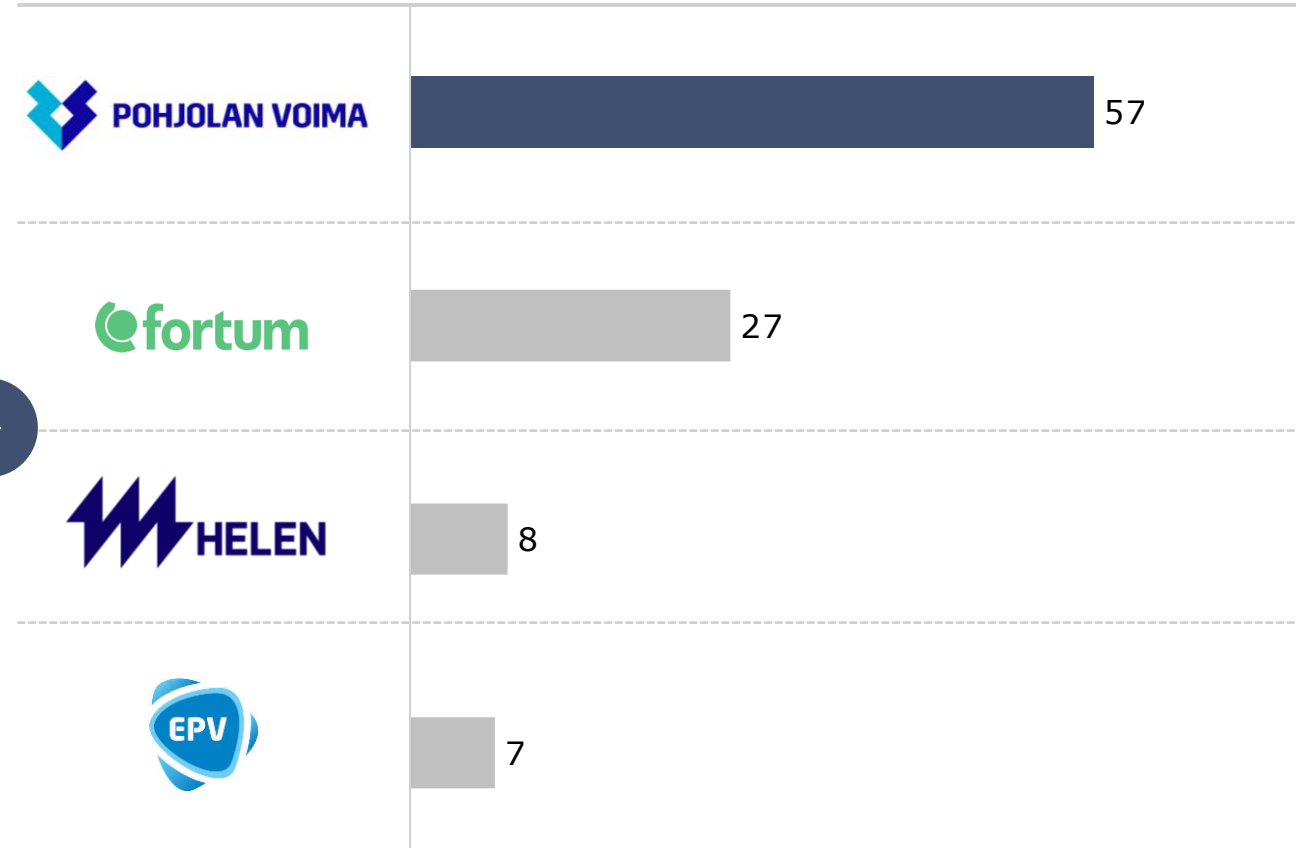


Ydinvoimahankkeen omistaja-operaattori - Olkiluoto 3:n case-esimerkki

Olkiluoto 3:n omistaja
% kokonaismäärästä

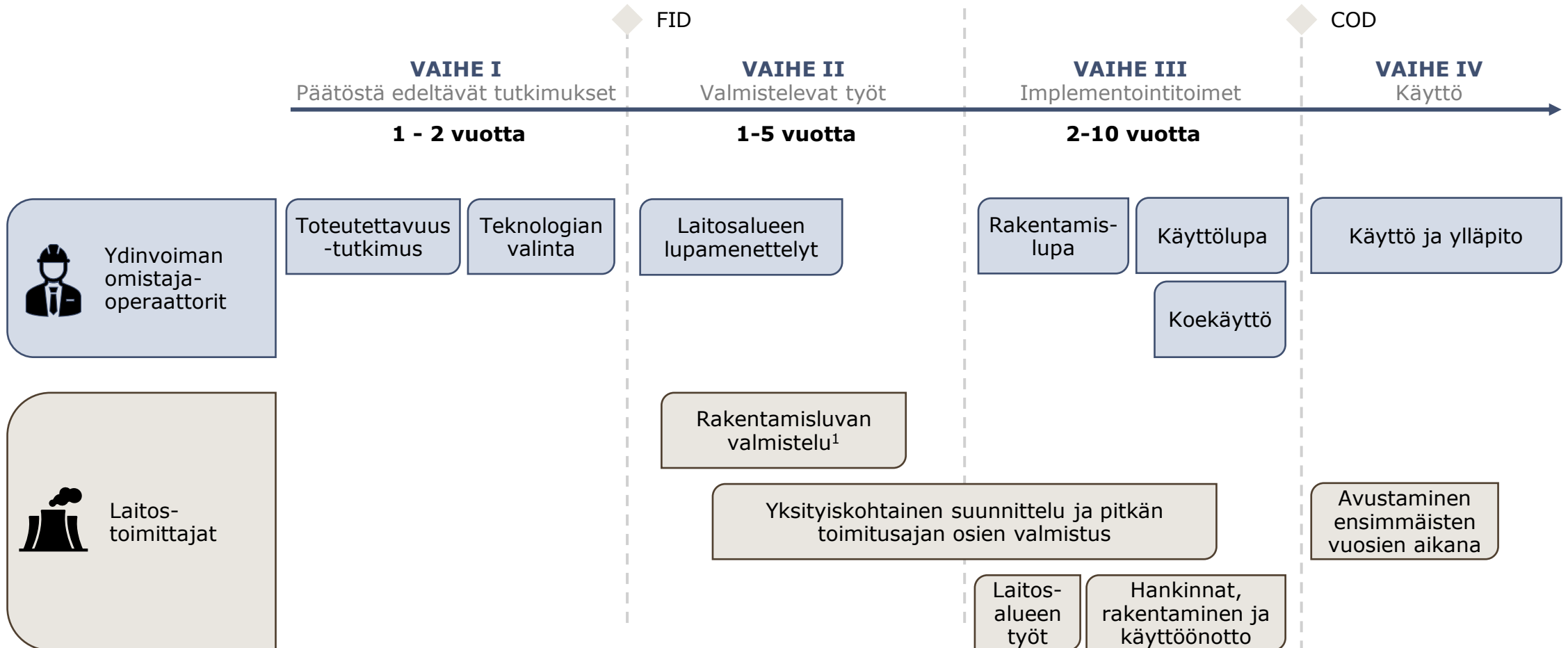


TVO:n osakkeenomistajat
% kokonaismäärästä



Pohjolan Voiman omistavat teollisuuden toimijat ja energiayhtiöt Sellu- ja paperiyhtiöiden UPM (48 %) ja Stora Enso (16 %) osuus on merkittävä

Omistaja-operaattorien ja laitostoimittajien väliset vastuut



1. SMR-hankkeet saattavat tarvita regulaatioarvioinnin ennen lupahakemuksen jättämistä, FID = Lopullinen investointipäätös, COD = Kaupallisen toiminnan aloitus

AFRY kartoitti relevanttien sidosryhmien kiinnostusta uusia hankkeita kohtaan

Tärkein kysymys yrityksille



Ydinvoiman omistaja-
operaattorit

- Olisivatko kiinnostuneita aloittamaan ydinvoimahankkeen Hanhikiven laitosalueella?



Laitostoimittajat

- Mikä on niiden valmius toteuttaa hanke tämän vuosikymmenen loppuun mennessä?
- Olisivatko kiinnostuneita aloittamaan hankkeen Hanhikiven alueella?



Suuret
sähkönkuluttajat

- Olisivatko kiinnostuneita käyttämään Hanhikivessä tuotettua ydinenergiaa?

Tulokset omistaja-operaattorien haastatteluista

Sidosryhmähaastattelut kiinnostuksen selvittämiseksi uusia hankkeita kohtaan

Omistaja-operaattorit suhtautuvat varovaisen myönteisesti uuden hankkeen mahdollisuuteen Hanhikivellä, päähuomio kuitenkin nykyisissä hankkeissa

Sijainti

Projektiputki

Omistaja-operaattorien mielipide aiheista

- Ydinvoimalan omistajalle ja/tai operaattorille Suomi on ranking-listan kärjessä.
 - Hanhikiven olemassa oleva infrastruktuuri on suuri etu. Alueella käynnissä olevat kiistat vähentävät kuitenkin sen houkuttelevuutta.
 - Uusien hankkeiden sijoituspaikkojen osalta tärkeimpiä näkökulmia ovat tonttien saatavuus, julkinen mielipide, alueella olevat konfliktit, paikallinen kysyntä ja se, kuinka houkutteleva alue on työvoiman kannalta.
-
- Mahdolliset ydinvoimaloiden omistaja-operaattorit keskittyvät tällä hetkellä joko meneillään oleviin hankkeisiin tai kehityssuunnitelmiin omissa maissaan tai olemassa olevissa laitoksissaan.
 - Pohjoismaissa tehdään aktiivisesti SMR:ään liittyviä tutkimuksia, ja meneillään on myös SMR-tekнологiaan liittyvä T&K-hanke. Mahdollisuutta SMR-investointiin Hanhikivellä pidetään mielenkiintoisena vaihtoehtona.
 - Haastatellut yritykset tekevät paljon yhteistyötä eurooppalaisten ja paikallisten yritysten kanssa SMR-alalla.
 - Kaikki haastatellut omistaja-operaattorit olivat tietoisia Hanhikiven tilanteesta ja ovat avoimia uusille mahdollisuuksille alueen kehittämiseksi.

Omista-operaattorit pitävät ydinenergiaa olennaisena ilmastonmuutoksen torjunnassa - päämarkkinoidensa ulkopuolella he ovat valmiita ottamaan pienemmän roolin hankkeessa.

Ydinvoiman rooli

Rooli hankkeissa

Omistajayrittäjien mielipide aiheista

- Kaikki haastatellut yritykset totesivat, että ydinvoima on ratkaisevassa asemassa ilmastonmuutoksen torjunnassa, sillä se tarjoaa vähäpäästöisen sähköntuotantomenetelmän teollisuuden kasvavien tarpeiden tyydyttämiseksi. Uusien ydinvoimainvestointien tarve riippuu kysynnän kasvuvauhdista, jonka kaikki vastaajat arvioivat hyvin epävarmaksi.
 - Sekä Suomessa että Ruotsissa ydinenergian hyväksyntä on erittäin korkea, mikä on yleensä johtanut ydinvoimaloiden toiminnanharjoittajien kiinnostukseen aluetta kohtaan.
-
- Se, millaisen roolin omistaja-operaattori ottaisi, riippuu monista tekijöistä, kuten loppuasiakkaan osallistumisesta, paikallisesta hyväksynnästä, rakennuttajan aiemmista saavutuksista, sijainnista ja mahdollisten muiden osakkeenomistajien eduista (erityisesti Mankala-periaatteessa).
 - Kun omistajayrittäjät toimivat päämarkkinoidensa ulkopuolella, ne suosivat vahvasti kumppanuutta kokeneen paikallisen rakennuttajan kanssa ja loppuasiakkaan läsnäoloa.
 - Tässä tapauksessa kansainväliset toimijat haluavat pienemmän, 10-30 prosentin osuuden hankkeesta.



Tulokset suurten sähkönhankkijoiden haastatteluista

Sidosryhmähaastattelut kiinnostuksen selvittämiseksi uusia hankkeita kohtaan

Suuret sähkönkäyttäjät pitävät vakaata energiaa ja erityisesti ydinvoimaa erittäin arvokkaana, mutta sääntelyyn liittyvät näkökohdat herättivät jonkin verran huolta.

Suurten sähköasiakkaiden mielipide aiheista

Vihreä siirtymä

- Kaikki haastatellut yritykset totesivat, että niiden tärkein kestävä kehityksen tavoite on hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Ydinvoimaa pidetään ratkaisuna CO₂-päästötavoitteiden saavuttamiseksi.
- Esimerkiksi teräksentuottajien siirtyminen vihreään teräkseen vaatii suuria määriä vetyä. Vaikka RFNBO-asetusta sovelletaan tiettyyn polttoainetuotantoon, on ratkaisevan tärkeää seurata tarkasti RFNBO-asetuksia ja valmistautua täyttämään asiakkaiden vaatimukset. Tällä hetkellä ydinvoima ei ole suoraan oikeutettu RFNBO:n käyttöön.
- Jos ydinvoima sallitaan ja asiakkaat hyväksyvät sen, se on erittäin kiinnostava sähkönlähde.
- Ydinvoimaa pidetään mielenkiintoisena vaihtoehtona lieventää hintavaihteluita. Kaikki haastatellut yritykset totesivat, että ydinvoima on houkutteleva vakaan ja CO₂-päästöttömän sähkön lähde.
- Eräs yritys totesi, että ydinvoima voisi olla ratkaisu, mutta hankkeen pitkä aikataulu on huolenaihe yrityksen sähköistämistavoitteiden aikataulun vuoksi.

Sähköprofiili

Sähkön hintataso

- Ydinvoiman maksuhalukkuus on suurten sähkönkäyttäjien osalta sidottu kilpailijamaissa tai eurooppalaisten kilpailijoiden maksamaan keskihintaan. Toisaalta sähkönkäyttäjät näkevät arvoa ennustettavissa olevissa sähkön hinnoissa ja pienemmissä riskeissä, mutta kokonaiskustannusten on oltava kilpailukykyisiä.

RFNBO = uusiutuvat polttoaineet, jotka eivät ole biologista alkuperää.

Suuret sähkökäyttäjät saattavat olla kiinnostuneita toimimaan sijoittajina ydinvoimahankkeissa, erityisesti SMR:ää pidetään kiinnostavana

Suurten sähköasiakkaiden mielipide aiheista

Sijainti

- Hanhikiven kohdetta pidettiin yleisesti kiinnostavana, ja sen läheisyydessä on monia suuria sähkökäyttäjiä.
- Hanhikiven työmaavalmistelut auttaisivat aloittamaan uuden hankkeen nopeammin ja helpommin.

Kiinnostus ydinvoimahankkeisiin

- Haastatelluissa yrityksissä on meneillään pääomavaltaisia hankkeita, jotka vähentävät kiinnostusta ydinvoimainvestointeihin ja -sitoumuksiin.
- Huolta aiheuttivat myös SMR-kustannukset, jotka ovat edelleen epävarmoja ja lisäävät riskejä. Tämä vaikuttaa halukkuuteen investoida/osallistua hankkeeseen.

Hinnan ennustettavuus

- Kaikki yritykset totesivat, että hintojen ennustettavuus oli tärkeä tekijä sekä tuotantokustannusten että hankkeen rahoituksen kannalta.
- Kiinnostus ydinenergiaa kohtaan on lisääntynyt, ja peruskuormaa koskevat sähkönhankintasopimukset ovat kestäneet 7-10 vuotta. Eräät energiankäyttäjät ilmaisivat halukkuutensa kattaa enintään noin 30 prosenttia kysynnästä ydinenergialla riskien vähentämiseksi ja joustavuuden varmistamiseksi.



Tulokset laitospöytäselvitysten haastattelusta

Sidosryhmähaastattelut kiinnostuksen selvittämiseksi uusia hankkeita kohtaan

SMR-laitosten toimittajat ovat erittäin kiinnostuneita toimittamaan teknologiaa uusiin kohteisiin, Hanhikivi on sijaintina erityisen kiinnostava

Laitosten myyjien mielipide aiheista

Sijainti

- Hanhikiven työmaalla tehtäviä töitä pidetään suurena etuna, koska niiden avulla voidaan säästää aikaa ja rahaa, mutta ne eivät ole hankkeen kriittisellä polulla ja kuuluvat lähinnä omistajan vastuualueeseen.
- Omistajan ja luvanhaltijan löytäminen ovat ratkaisevia tekijöitä, jotka on otettava huomioon.
- Hanhikiven sijoituspaikan katsotaan soveltuvan SMR-hankkeelle ja laitosmyyntiteknologialle.
- Haastatellut laitosten myyjät pitävät Suomea yleisesti ensisijaisena markkina-alueena.

Laitosten myyjien edut

- Laitosten myyjät seuraavat tiukasti Euroopan sääntelyviranomaisia, mukaan lukien STUK, mikä voisi tukea lisenssiriskin pienentämistä Suomessa, jos sääntelyä päivitetään.
- Laitosten myyjillä on ympäristöystävällisessä toiminnassaan etuja: yhden laitoksen moduulit valmistetaan omissa tehtaissa ja kuljetetaan työmaalle kokoonpanoa varten, ja toisella laitoksella on laaja toimitusketjuverkosto, joka mahdollistaa saumattoman kuljetuksen ja valmistusprosessin.

Molempien SMR-tekniikoiden toimitusajat ovat samanlaiset

Laitosten myyjien mielipide aiheista

Teknologia

- Laitostoimittajilla on tunnettua PWR-tekniologiaa, joka on suunniteltu siten, että se parantaa hankkeiden toteutusta.
- Yksi pienreaktorilaitoksen toimittaja suunnittelee yhtä valvomoa kahdelle reaktorille, mikä alentaa käyttökustannuksia. Toinen myyjä suunnittelee yhtä valvomoa reaktoria kohti, mikä on osoittautunut Euroopan maissa luvanvaraiseksi.

Kustannukset

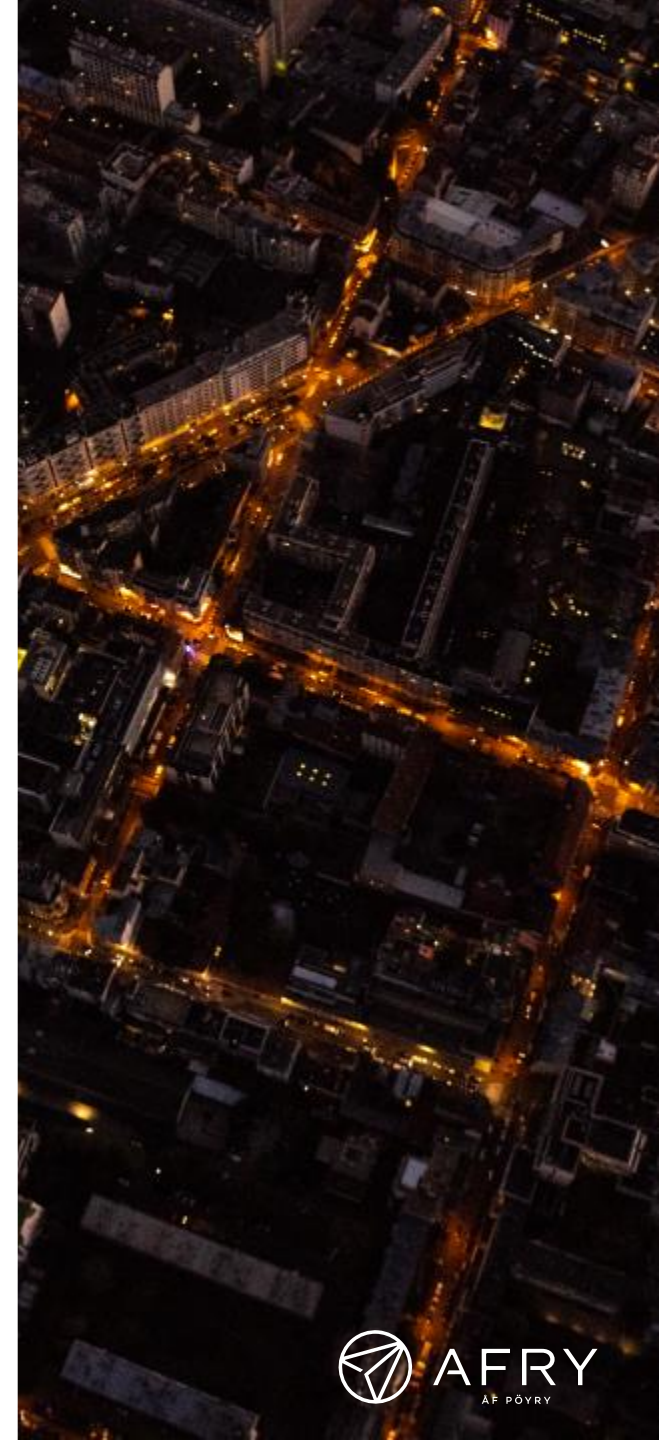
- Laitostoimittajat ovat haluttomia antamaan kustannusarvioita, koska suunnittelu on kehittymässä ja muutoksia saattaa vielä tapahtua. Yksi myyjä mainitsi, että kustannukset olisivat keskitasoa tai alemmaa luokkaa verrattuna tärkeimpiin kilpailijoihin.
- Toisaalta eräs toinen laitosmyyjä arvioi, että nykyiset investointikustannukset voisivat olla noin 5100 (EUR/kW) ja LCOE 50-70 (EUR/MWh). LCOE- ja CAPEX-tasoihin liittyy tällä hetkellä luonnollisesti kysymysmerkkejä.

Aikataulu

- Molemmat haastatellut laitostoimittajat pystyivät rakentamaan laitoksen 40-41 kuukaudessa ensimmäisestä betonivalusta alkaen. Tämä edellyttää, että kaikki investointipäätökset ja valmistusprosessit on aloitettu ennen rakentamisluvan saamista. Vuoteen 2035 mennessä voisi teoriassa olla toiminnassa jopa kaksi yksikköä.
- Molemmilla laitostoimittajilla on käynnissä referenssikasvihankeita. Myös säädökset voivat vaikuttaa aikatauluun, mutta yritykset ovat siitä hyvin tietoisia.

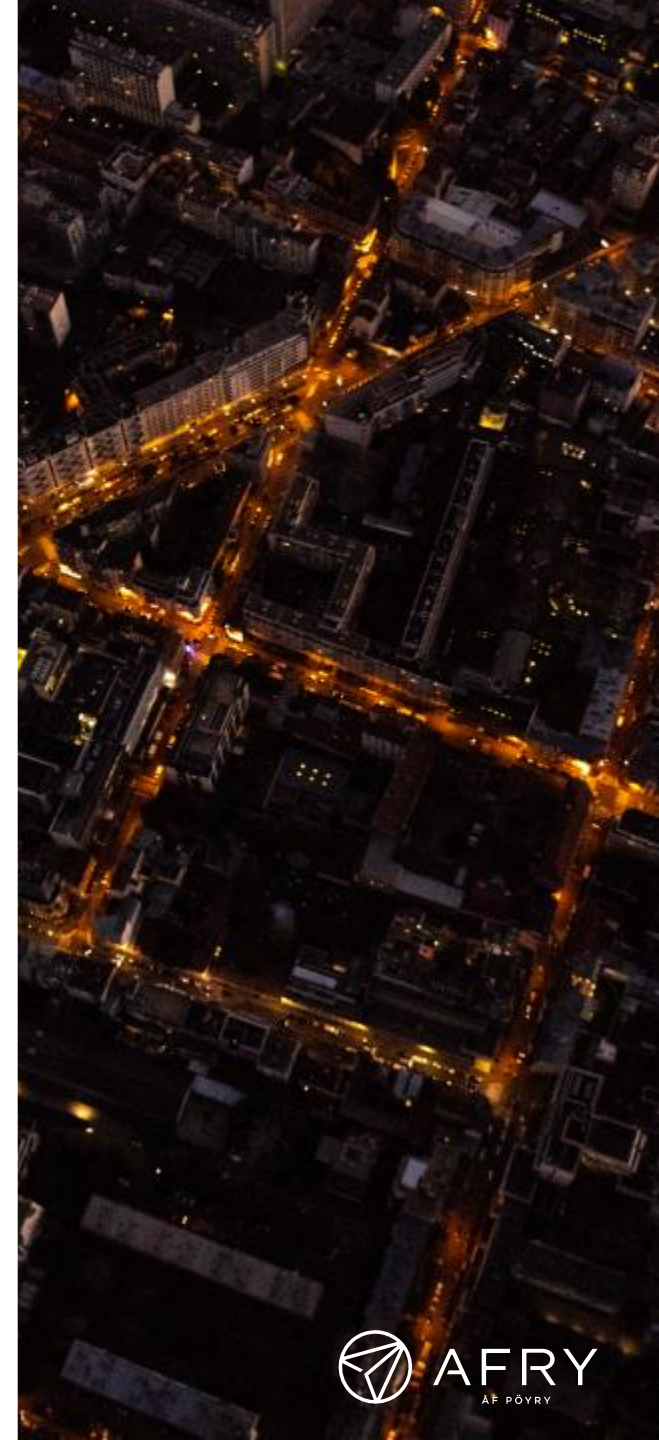
Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



Sisältö

1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakkin tuotannon kilpailukyvyyn arviointi
 - 6.1 Ydinvoimainvestointien kilpailukyky ja toteuttamiskelpoisuus
 - 6.2 Perinteisen ydinvoiman ja SMR:n kilpailukyky Hanhikivellä
 - 6.3 Vedyn ja ammoniakkin tuotannon houkuttelevuus Hanhikivellä
 - 6.4 Yhteenveto toteutettavuusarvioista
7. Päätelmät



Ydinvoimainvestointien kilpailukyky ja toteutettavuus

Ydinvoiman ja vedyntuotannon houkuttelevuus Hanhikiven alueella

SÄHKÖN TUOTANTO YDINVOIMALLA



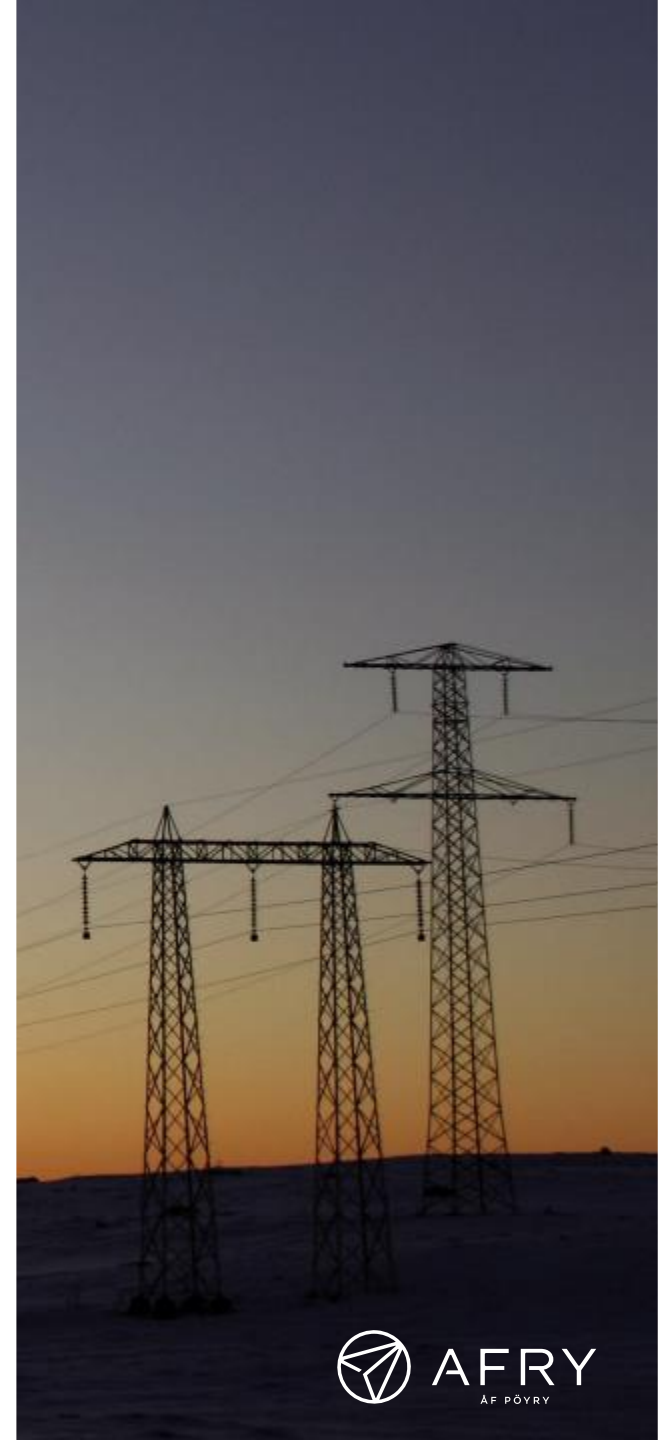
- Arvioidaan ydinvoimainvestointien toteutettavuutta ja suhteellista kilpailukykyä Suomen markkinoilla sekä tavanomaisen ydinvoiman että pienydinreaktorien (SMR) osalta.
- Arviointi perustuu sähkön elinkaaren ajalta laskettuihin tuotantokustannuksiin (LCOE), jotka lasketaan CAPEX- ja OPEX-rakenteiden pohjalta.
- Analyysissä tarkastellaan ydinvoiman erityishyötyjä tulevaisuuden sähkömarkkinoilla, joilla uusiutuvien energialähteiden tuotanto lisääntyy ja sähkön kysyntä kasvaa nopeasti.
- Ydinvoiman LCOE-tasoa verrataan uusiutuvien energialähteiden LCOE-tasoihin, historiallisiin sähkönhintoihin ja AFRY:n sähkönhintaennusteisiin *).

VEDYN KEHITYS



- Pelkkien ydinsähköinvestointien lisäksi olemme arvioineet myös ydinvoimalla tuotetun vedyn ja sen johdannaisten, lähinnä ammoniakkin, kilpailukykyä.
- Toteutettavuus määritetään vedyn elinkaaren aikaisten tasoitettujen tuotantokustannusten (LCOH) perusteella. Sitä verrataan uusiutuviin energialähteisiin perustuvaan vedyntuotantoon samalla kysyntäprofiililla. Uusiutuvien energialähteiden tapauksessa tämä vaatii siis elektrolyysin ylimitoituksen ja varastointikapasiteettia tuotetulle sähkölle.
- Lisäksi olemme pohtineet ydinvoiman teknisiä etuja uusiutuviin energialähteisiin verrattuna, erityisesti kun otetaan huomioon kasvava vedyn kysyntä ja mahdolliset teollisuuden käyttökohteet.
- LCOH:n tärkeimpiä tekijöitä ovat elektrolyysin investointikustannukset sekä sähkön hinta.

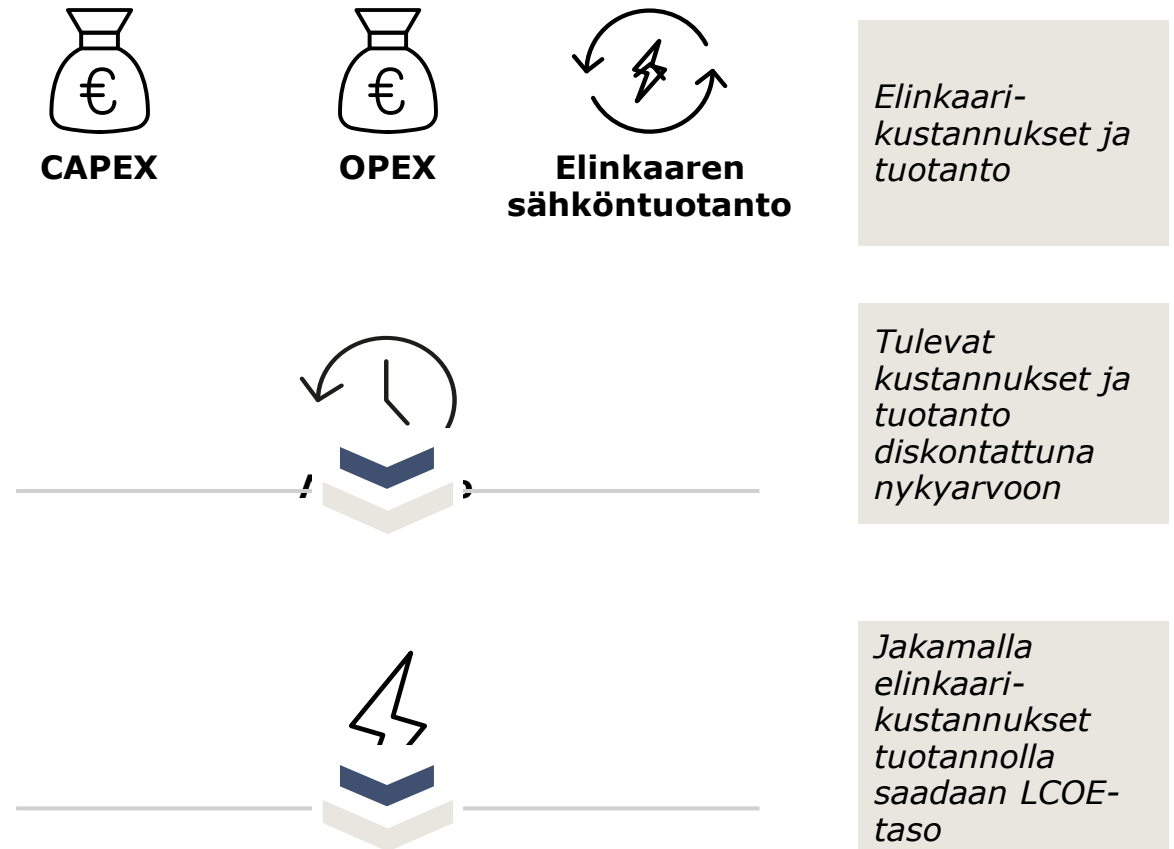
*) AFRY:n raportti: Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään - Valto (valtioneuvosto.fi)



LCOE perustuu koko elinkaaren CAPEX- ja OPEX-kustannuksiin sekä sähköntuotantoon, ja se on olennainen tekijä investointeja vertailtaessa

LCOE ON KRIITTINEN TEKIJÄ INVESTOINTIPÄÄTÖKSISSÄ

- Sähkön tasoitetut kustannukset kertovat keskimääräisen kustannuksen jokaiselle tuotetulle MWh:lle laitoksen elinkaaren aikana.
- LCOE:tä käytetään vertailtaessa eri teknologioilla tuotetun sähkön elinkaarikustannuksia. Sitä käytetään myös myydyn sähkön hinnoittelussa.
- Elinkaarikustannukset diskontataan nykyarvoon yhdessä tuotetun sähkön kanssa, jotta saadaan elinkaaren aikana tuotetun sähkön kokonaiskustannukset sekä tuotetun megawattitunnin keskihinta nykyarvoina.
- Kaikki kustannukset (mukaan lukien CAPEX sekä OPEX) otetaan huomioon nykyarvona.
- Laskemalla sekä tavanomaisen ydinvoiman että SMR:n LCOE:n voimme vertailla näitä vaihtoehtoja puhtaasti taloudellisesta näkökulmasta.



Ydinvoimainvestointien LCOE:n arvioimiseksi olemme arvioineet CAPEX- ja OPEX-kustannusten nykytasoa sekä mahdollista tulevaisuuden tasoa

YDINVOIMALAN INVESTOINTIKULUJEN (CAPEX) JAOTTELU

Muut kustannukset

- Sisältää mm. esirakentamisen, maa-alueen valmistelun, infrastruktuurin, sähkötyöt, projektinhallinnan, luvat jne.

Suunnittelu ja rakentaminen

- *Suunnittelutyö*: sisältää suunnittelu-, simulointi- ja lisenssidokumentaatiomaksut
- *Rakentaminen*: Kattaa väliaikaiset tilat, työmaan turvallisuuden, sähkön, veden, työntekijöiden kustannukset jne.
- *Rakennusvalvonta*: Rakennusprosessien valvonta, palkat, laadunvalvonta ja töiden koordinointi

Tarvikkeet ja rakenteet

- *Reaktori*: Höyryn syöttöjärjestelmät, ydinjätteen käsittely, turvallisuus- ja valvontajärjestelmät
- *Rakenteet*: suojarakennus, turbiinihallit, valvomorakennus, dieselgeneraattorirakennus, tunnelit
- *Energian muuntaminen*: Turbiinigeneraattori, lauhdutusjärjestelmä, instrumentointi, ohjausjärjestelmä

Ydinvoimalan CAPEX on tyypillisesti korkeampi kuin perinteisissä voimalaitoksissa johtuen lähinnä suunnittelun ja rakentamisen korkeista turvallisuusvaatimuksista

YDINVOIMALAN KÄYTTÖKUSTANNUSTEN (OPEX) JAOTTELU

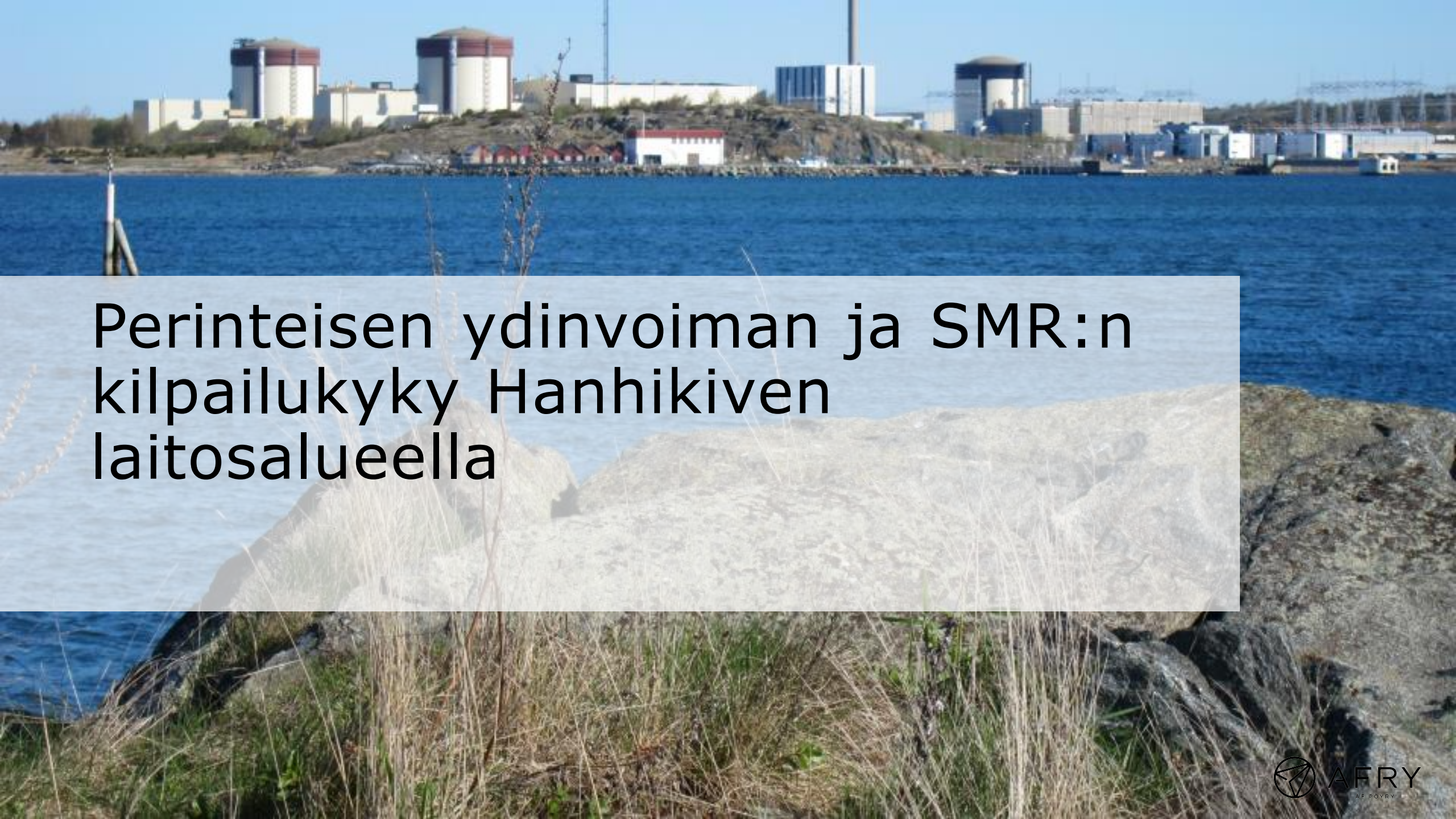
Kiinteät kustannukset

- *Henkilöstö*: Operointi- ja palveluhenkilöstön sekä johdon palkat
- *Ulkoiset palvelut*: Ulkoistetut palvelut, tuki- ja asiantuntijapalvelut
- *Hallinnolliset ja muut*: Hallinto, verot, vakuutukset ja muut

Muuttuvat kustannukset

- *Polttoaine*: Elinkaarikustannukset sisältävät polttoaineen hankinnan, latauksen ja hävittämisen
- *Muut hyödykkeet*: Sähkö, vesi, kemikaalit ja muut kustannukset

Ydinvoimalan OPEX on tyypillisesti matalampi kuin perinteisissä voimalaitoksissa, mikä johtuu pääasiassa alhaisista polttoainekustannuksista



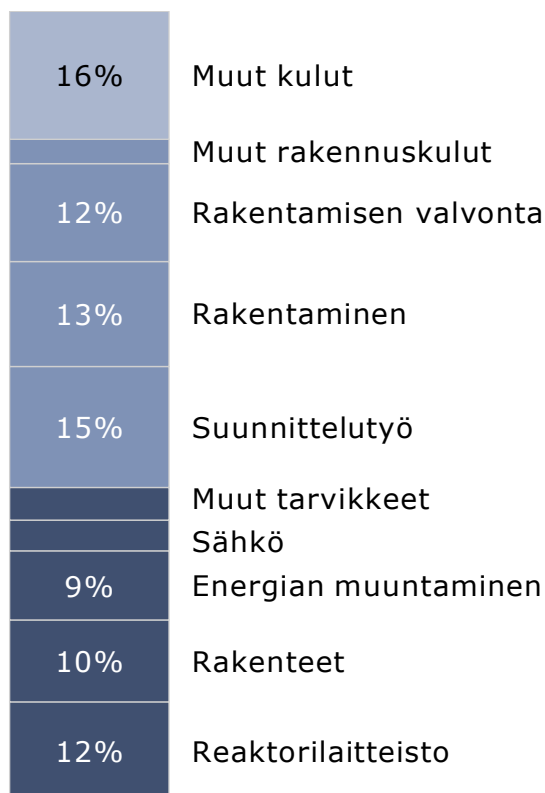
Perinteisen ydinvoiman ja SMR:n kilpailukyky Hanhikiven laitosalueella

CAPEX

Ydinvoimaloiden CAPEXin arvioidaan olevan 4-7 MEUR/MW – SMR-laitoksen CAPEX on suhteellisesti korkeampi kuin perinteisen ydinvoimalan

CAPEX-VIITERAKENNE

%-osuus kokonaiskustannuksista



- Arvioiden mukaan ydinvoimalan kokonais-CAPEX on noin **4-7 miljoonaa euroa/MW**.
- CAPEX-rakenne on hyvin samankaltainen suurissa reaktoreissa ja pienissä modulaarisissa reaktoreissa (SMR). Perinteisen suuren ydinvoimalan CAPEX-tarve on mittakaavaeduista johtuen hieman matalampi.
- CAPEX-arviot vaihtelevat eri tuottajien välillä.
- CAPEX:n jakautuminen riippuu sijainnista, laitosalueesta sekä laitteiden ja rakennustöiden kustannuksista.
- Ydinvoimalaitoksen suunnittelu- ja rakennuskustannukset ovat suhteellisen korkeat verrattuna hiili- tai biomassavoimaloihin, joissa päälaitteisto muodostaa suuremman osan kustannuksista.
- Turvallisuus on ydinvoimassa erittäin tärkeää, ja siksi suunnitteluun ja rakentamiseen kuluu enemmän aikaa, materiaalia ja resursseja kuin muunlaisissa voimalaitoksissa.
- SMR-voimaloiden suhteellinen CAPEX on yleensä hieman korkeampi mittakaavaetujen menettämisen vuoksi.

YLEINEN CAPEX- RAKENNE

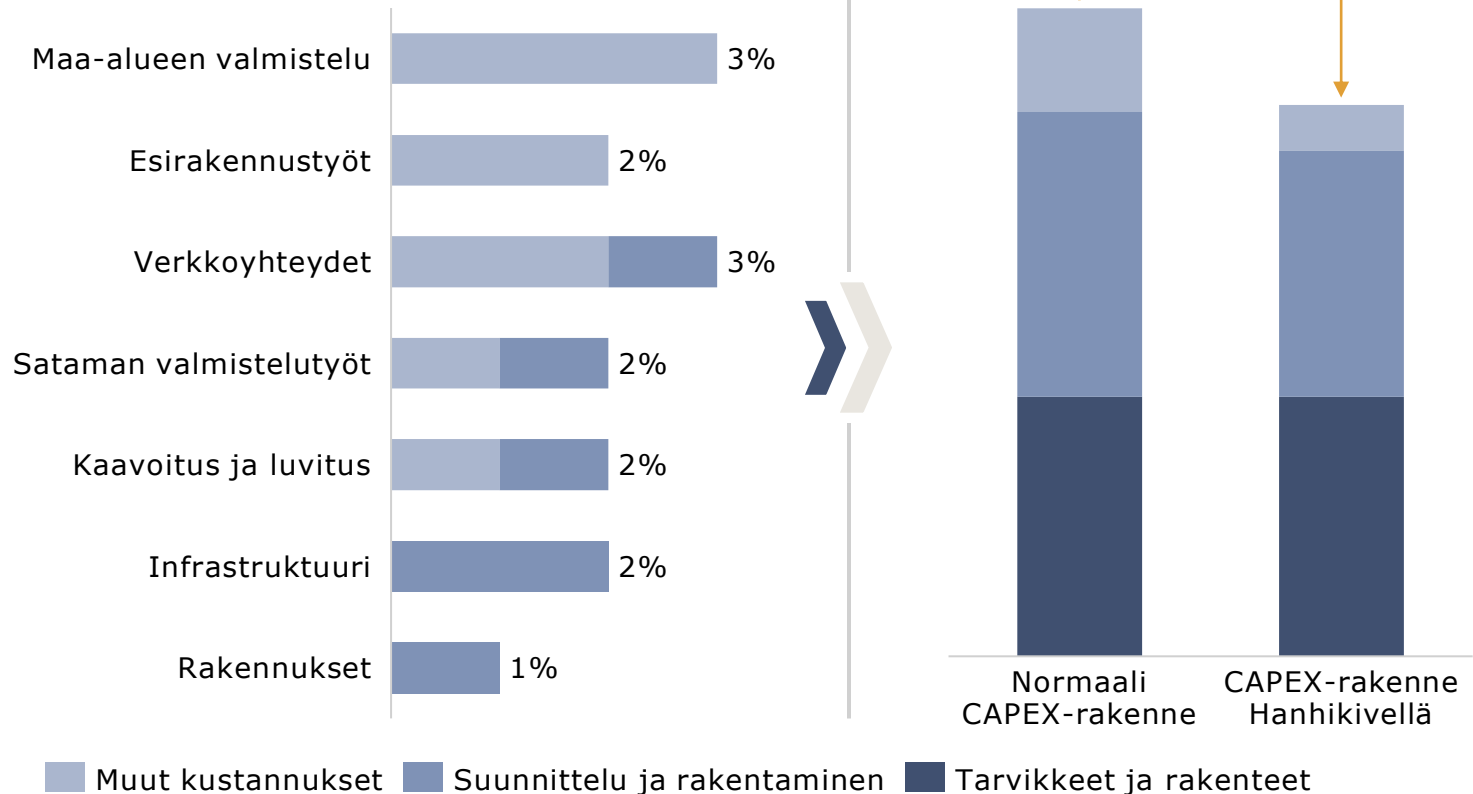
- Muut kustannukset
- Suunnittelu ja rakentaminen
- Laitteet ja rakenteet

Lähteet: AFRY:n arvio perustuu Idahon ydinlaboratorioon ja World Nuclear Associationiin

Hanhikiven toimialue voi jo tehtyjen valmistelu- ja rakennustöiden ansiosta tarjota jopa 15 prosentin CAPEX-säästöpotentiaalin

MAHDOLLISET SÄÄSTÖLUOKAT HANHIKIVELLÄ

%-säästöt kokonais-CAPEXista (arvioita, tarkemmat luvut edellyttävät yksityiskohtaisempaa tutkimusta)



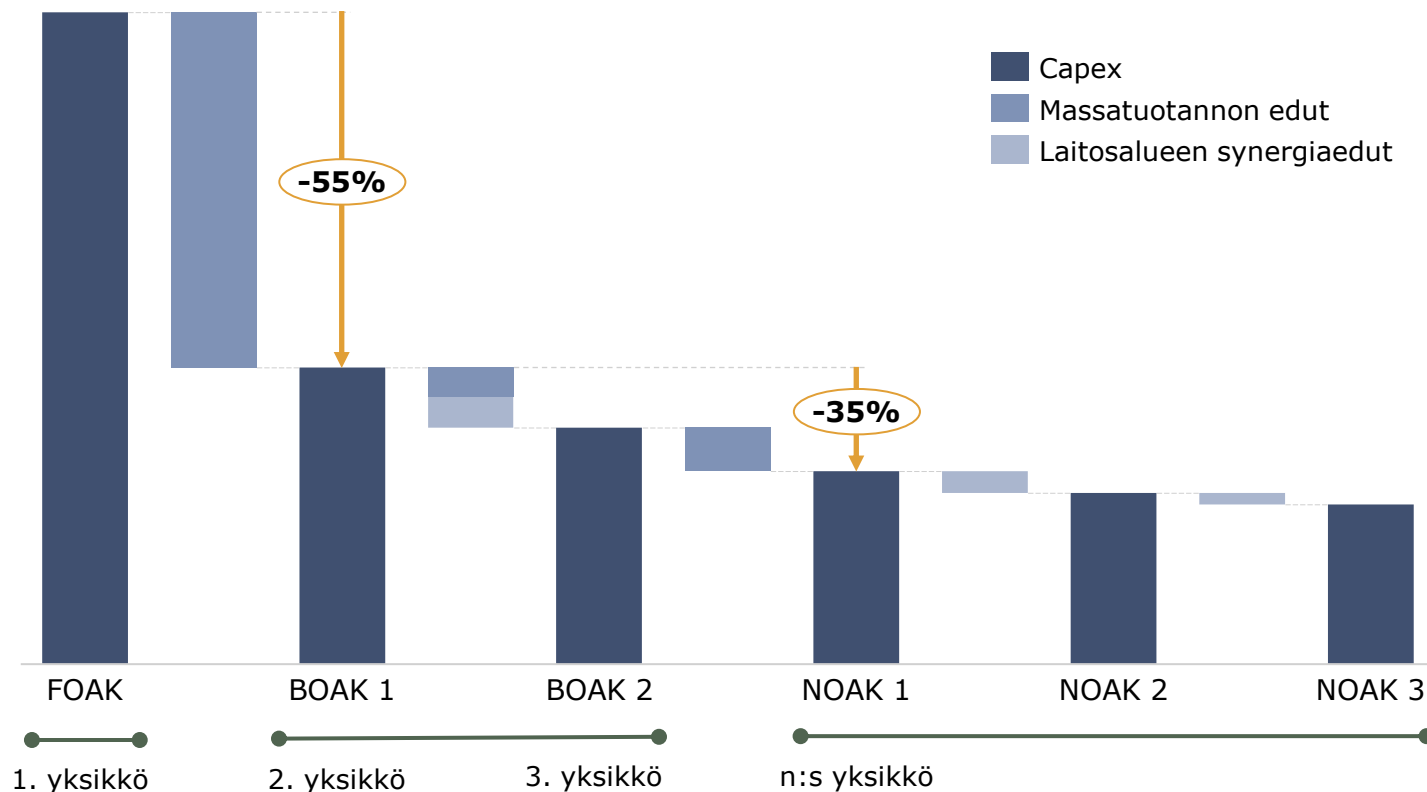
VALMIIT TYÖT HANHIKIVEN TOIMIALUEELLA

- **Infrastruktuuri ja maanrakennus:** Rakennetut tiet, maanrakennustyöt ja valmistelut ~115 hehtaarin alueella.
- **Rakennukset:** Yhteensä 3 pysyvää rakennusta: koulutusrakennus 1200 m², turvaporttirakennus 1200 m² ja hallinto-/toimistorakennus 10600 m².
- **Sähkötyöt:** Jakeluverkkoyhteys (Tällä hetkellä 5 MW:n kapasiteetti). Kaavoitus ja luvat valmiina 2x400 kV + 2x110 kV siirtoverkkoyhteyksiä varten.
- **Satama:** Sataman vedenalaiset työt on saatu päätökseen, maarakennukset ovat kesken.
- **Kaavoitus ja lupamenettelyt:** Kaavoitus on tarkoitettu energiantuotannolle ja sen tukitoiminnoille, tarkennettuna ydinvoimalalle. Kaavoitus ja luvat valmiina 2x400 kV + 2x110 kV:n siirtoverkkoyhteyksiä varten.

Massatuotanto ja synergiaedut useammasta reaktorista laitospaikalla tuovat yli 50 % CAPEX-hyödyt kaupallisesti vakiintuneelle SMR-teknologialle

ESIMERKKI SMR:N ARVIOIDUSTA CAPEX-KEHITYKSESTÄ

EURm/MW



MÄÄRITELMÄT

FOAK: First-of-a-kind, korkeat suunnittelukustannukset

BOAK: FOAK:n ja NOAK:n välissä, ensimmäiset asennetut yksiköt, ensimmäiset suomalaiset SMR:t

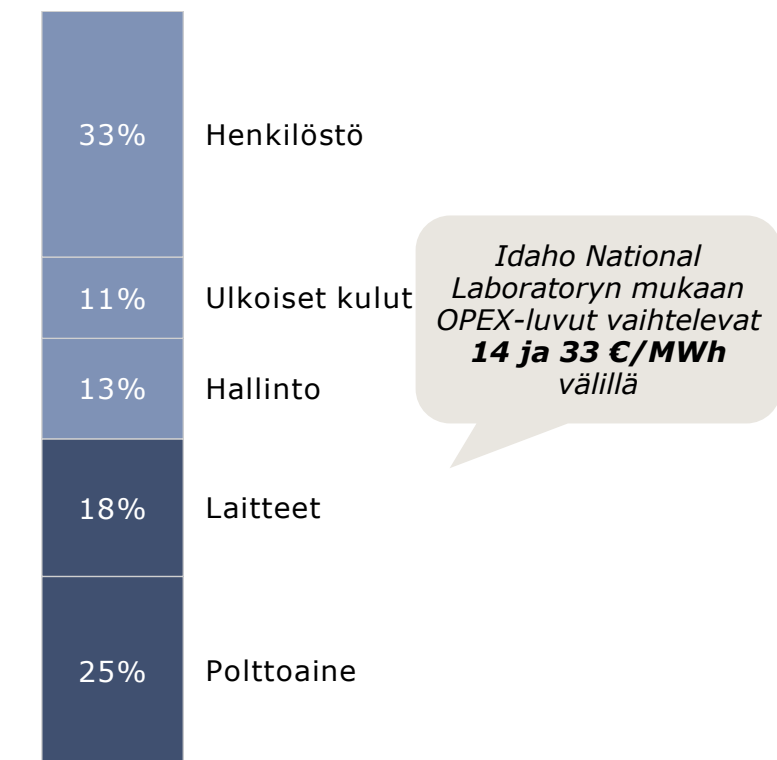
NOAK: Next-of-a-kind, massatuotannon edut

- Toimipaikan synergiaetuja syntyy infrastruktuurin, hallinnollisten toimintojen, keskitetyn valvontarakennuksen jne. yhteiskäytöstä usean reaktorin kesken
- NOAK-vaiheessa on saavutettu kaikki oppimiseen perustuvat kustannushyödyt, ja synergiaetuja voidaan edelleen saavuttaa laajentamalla toimipaikkoja
- Arvioitu oppimisen tuoma CAPEX-kulujen pienenemistahti on **5-10% uutta reaktoria kohti** BOAK 1:stä alkaen

OPEX-rakenne on samankaltainen SMR:llä ja perinteisellä ydinvoimalla - suurin epävarmuus ja kustannussäästöpotentiali henkilöstökustannuksissa

MODULAARISEN YDINVOIMALAN OPEX-RAKENNE

%-osuus OPEX-kokonaiskustannuksista (EUR/MWh)



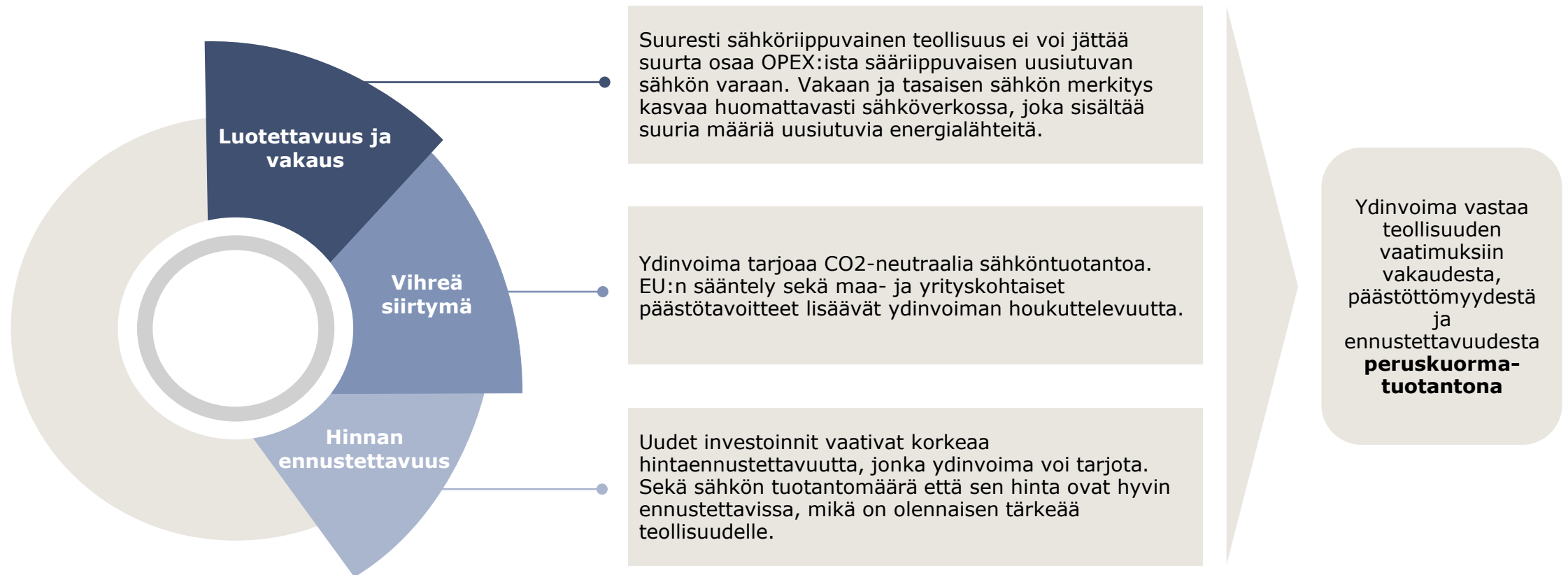
- Yleisesti ottaen SMR:n OPEX(käyttökustannus)-rakenteen oletetaan olevan samanlainen kuin perinteisellä ydinvoimalla
- Ydinvoiman OPEX on suhteellisen matala verrattuna muihin polttovoimalaitoksiin, mikä johtuu pääasiassa matalista polttoainekustannuksista
- Suurin epävarmuustekijä ja kustannusten vähennyspotentiali on henkilöstökuluissa
 - SMR-valmistajat ovat arvioineet, että käyttöhenkilöstön tarve on pienempi kuin perinteisessä suuren mittakaavan ydinvoimalassa. Tätä ei kuitenkaan ole vielä vahvistettu. Turvallisuusstandardit on vielä täytettävä.
- SMR:n ja suurten ydinvoimaloiden muuttuvissa kustannuksissa ei oleteta olevan eroja.
- Yhdysvalloissa usean reaktorin tuotantolaitokset ovat **vähentäneet OPEX-kustannuksia 38%** verrattuna yhden reaktorin tuotantolaitokseen, mikä osoittaa, että OPEX-säästöjä voidaan saavuttaa pikemminkin tuotantolaitoksen synergioiden kuin reaktorin koon avulla.

OPEX-RAKENTEEN MÄÄRITELMÄT

- Kiinteät kustannukset
- Muuttuvat kustannukset

Ydinvoiman rooli tulevaisuuden sähkömarkkinoilla - vakaan sähköntuotannon tarve kasvaa uusiutuvien energialähteiden markkinaosuuden kasvaessa

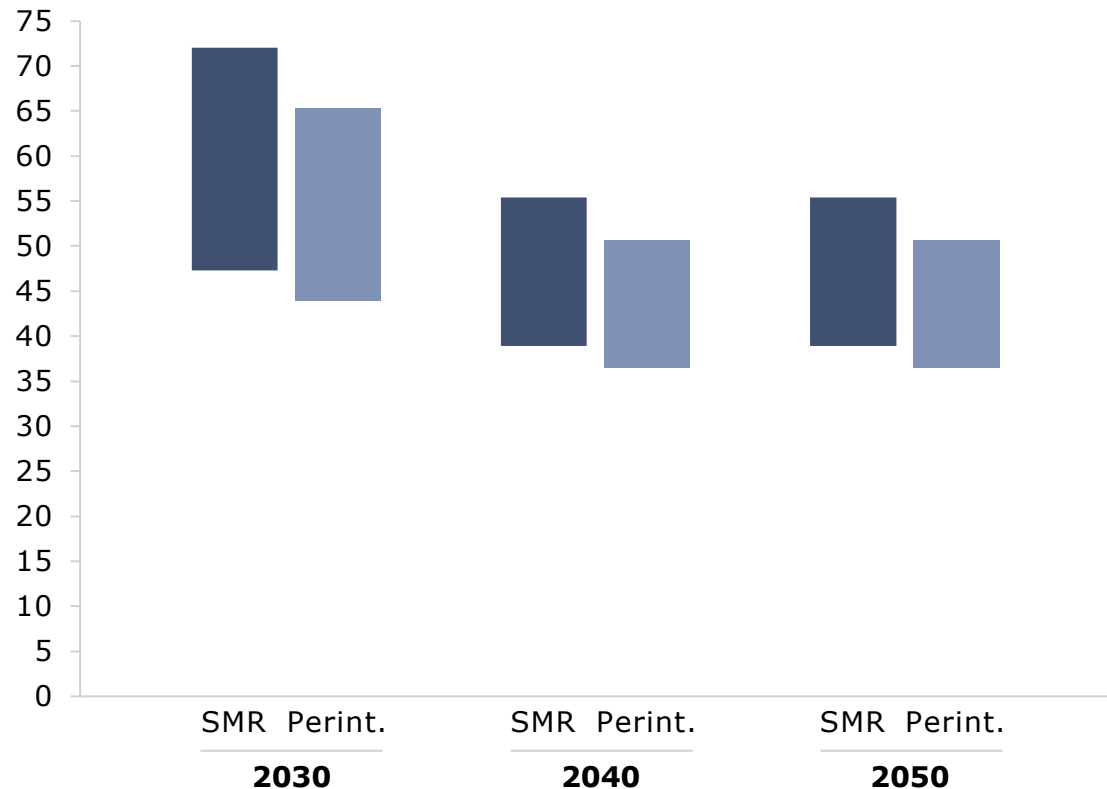
YDINVOIMAN HYÖDYT SÄHKÖMARKKINOILLA



Lähde: AFRY:n sähkömarkkina-analyysi, teollisuuden haastattelut

Ydinvoiman LCOE-tasojen voidaan olettaa laskevan, kun siirrytään kohti massatuotantoa sekä SMR:ssä että perinteisessä ydinvoimassa

ARVIO SMR:N JA PERINTEISEN YDINVOIMAN LCOE-VAIHTELUVÄLISTÄ EUR/MWh



PÄÄTELMÄT

- Perinteisen ydinvoiman ja SMR:n LCOE-tasot ovat yleisesti ottaen hyvin samankaltaisia.
- SMR:t voivat olla joustavampia, mikä mahdollistaa korkeamman tuotannon määrällä painotetun sähkön hinnan (capture price), mutta tästä ei ole vielä näyttöä.
- SMR-reaktorien koko mahdollistaa niiden sijoittamisen lähemmäs asutusta, ja ne on helpompi liittää verkkoon. Kumpikaan ei ole selkeä etu Hanhikiven laitosalueella.
- LCOE-tasojen laskeminen rakentamisessa tapahtuvan oppimisen ja useiden yksiköiden synergiaetujen ansiosta.

Huomautus: Arviot on tehty ydinvoimalle ja SMR:lle yleisesti, eikä erityisesti Hanhikivelle.

LCOE-laskelmat

- Elinkaarikustannusten laskemiseen käytettiin arvioituja CAPEX- ja OPEX- vaihteluvälejä.
- Elinkaaren aikaisen sähköntuotannon laskennassa käytettiin tyyppisiä perinteisten ydinvoimaloiden ja SMR-voimaloiden kapasiteetteja.

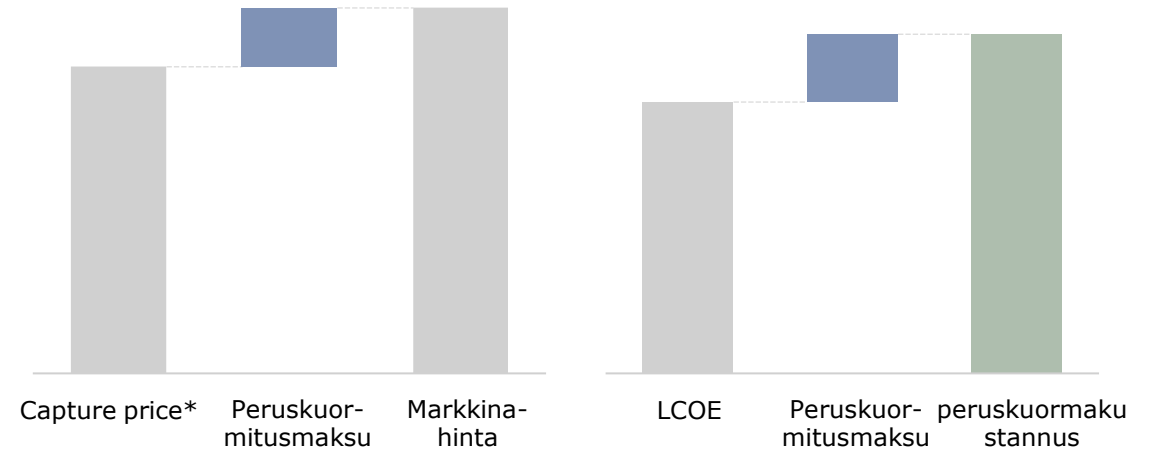
Huom. Esitetyt LCOE-vaihteluvälit voiva erota suuresti, kun käytetään eri laskentaoletuksia.

Jotta voidaan verrata vakaita ydinvoimainvestointeja sääriippuvaisiin RES-investointeihin, olemme arvioineet peruskuormasähkön kustannusta sekä ydinvoima- että RES-investoinneille

PERUSKUORMASÄHKÖ

- Peruskuormasähkö on sähkönkysynnän vähimmäistaso, jota tarvitaan jatkuvasti.
- Se takaa vakaan ja jatkuvan sähköntoimituksen välttämättömiin energiatarpeisiin, joita ei voida vähentää kysyntäjoustolla.
- Perinteisesti peruskuormasähköä tuotetaan hiili- ja ydinvoimalla sekä tietyillä vesivoimalaitoksilla.
- Uusiutuvilla energialähteillä tuotettuun peruskuormasähköön liittyy tuotantoprofiilista johtuvia lisäkustannuksia.
- **Uusiutuvien energialähteiden markkinaosuuden kasvaessa capture rate* laskee, mikä lisää sääriippuvaisen tuotannon peruskuormakustannuksia**
- **peruskuormakustannus** = teknologiakohtainen hinta, joka vastaa vakaan sähköntuotantoprofiilin hintaa siten, että vaihtelevaa tuotantoa täydennetään verkkosähköllä.
- **peruskuormamaksu** = Maksu, joka vastaa sähkön keskimääräisen markkinahinnan ja capture pricen välistä erotusta.

PERUSKUORMAKUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

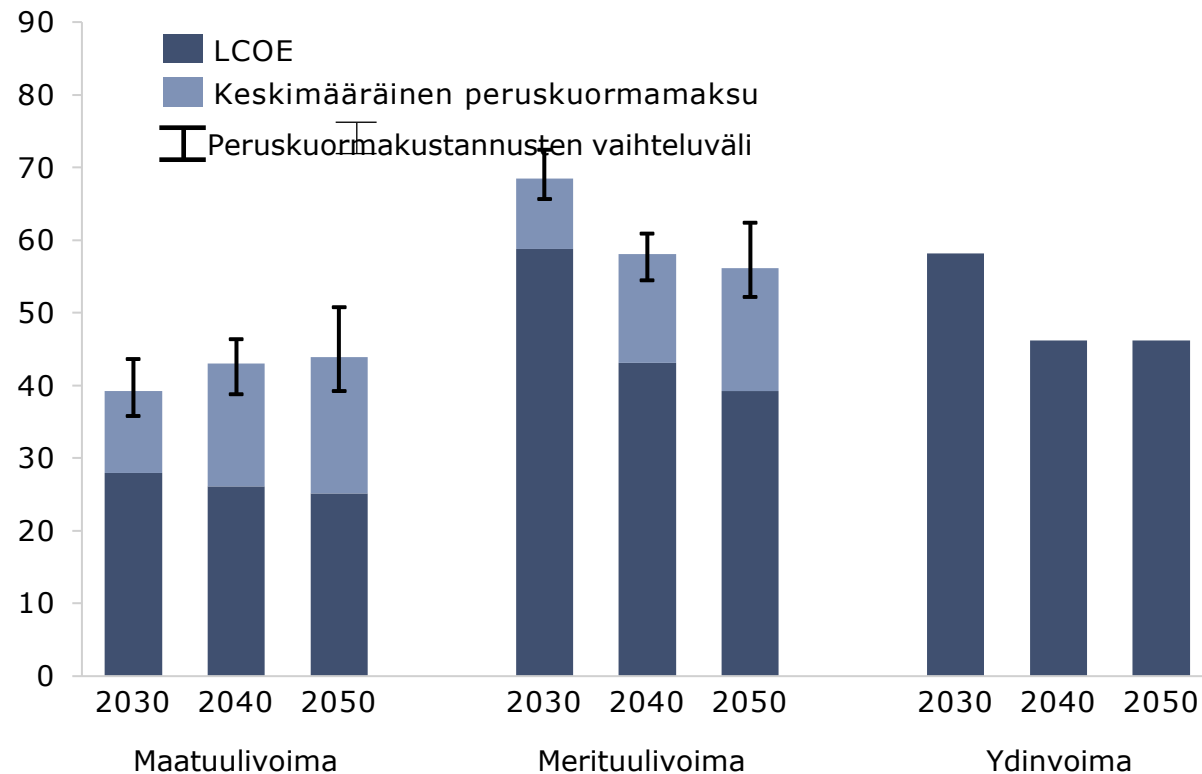


RES = Uusiutuva energianlähde (Renewable Energy Source) *Capture price = Volyyimilla painotettu keskihinta

*Capture rate = mittaa volyyimilla painotettua keskihintaa, jonka sähköntuotantotapa (esim. tuulipuisto) voi ansaita verrattuna tietyn ajanjakson sähkön kokonaishintaan

Uusiutuvien energialähteiden peruskuormakustannus lisää ydinvoiman suhteellista kilpailukykyä, vaikka sen LCOE-taso on muutoin korkeampi

PERUSKUORMATUOTANNON KUSTANNUKSET



PÄÄTELMÄT

- Baseloadingissa otetaan huomioon se, että uusiutuvat energialähteet eivät tuota sähköä jatkuvasti, vaan sitä on kompensoitava verkkosähköllä.
- Peruskuormakustannuksilla on suuri merkitys käyttäjille, jotka ovat riippuvaisia jatkuvasta sähkövirrasta ja vakaasta hinnasta. Tällaisia käyttäjiä ovat teollisuus ja muut suuret sähkökuluttajat.
- Uusiutuvan energian käytön lisääntyminen sähköjärjestelmässä lisää hintojen epävakautta ja siten myös baseloadingkustannuksia.
- Kokemuksen ja useiden projektien kautta ydinvoima voi olla kilpailukykyinen näillä yhä epävakammilla markkinoilla, joilla tarvitaan vakaata sähköntuotantoa peruskuormasähköksi.

Peruskuormalaskelmat

- Peruskuormakustannukset lasketaan capture pricen (tietyn teknologian keski-capture price) ja markkinasähkön keskihinnan erotuksen perusteella.
- Peruskuormakustannusten vaihteluväli perustuu erilaisiin sähkön hintaennusteisiin.
- Kolme sähkön hintaennustetta AFRY:n Valtioneuvostolle tekemästä tutkimuksesta *)

*) AFRY:n raportti: [Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään - Valto \(valtioneuvosto.fi\)](#)

Kapasiteettimarkkinat voisivat lisätä ydinvoimainvestointien kannattavuutta, jos uusi ydinvoima sisällytettäisiin mahdolliseen kapasiteettimekanismiin

KAPASITEETTIMARKKINAT VOISIVAT TARJOTA TUOTTOJA YDINVOIMAPROJEKTILLE

- Kapasiteettimarkkinat takaavat luotettavan ja kohtuuhintaisen sähkön tarjoamalla lisäkapasiteettia normaalin tuotannon lisäksi.
- Kapasiteettimarkkinoita tarvitaan, kun vaihteleva sähköntuotanto lisääntyy sähkömarkkinoilla uusiutuvien energialähteiden myötä.
- Kapasiteettimarkkinat kattaisivat ainakin huipputuotannon ja todennäköisesti myös peruskuormaa, koska se ei ole sääriippuvaista tuotantoa. Tämä tarkoittaa, että ydinvoimaprojekti voisi saada lisätuloja tarjoamalla kapasiteettia, mikä tekisi ydinvoimainvestoinneista houkuttelevampia.

PÄÄTELMÄT

- Kapasiteettimarkkinat tarjoaisivat lisätuloja, mikä tekisi ydinvoimasta houkuttelevampaa sähkömarkkinoilla jo aiemmin.
- Kysyntäpuolen joustavuus on todennäköisesti tärkeää hinnan kannalta, mutta myös verkon luotettavuuden kannalta tulevaisuudessa. Kapasiteettimarkkinoiden ja peruskuormasähkön osuuden kasvaessa riippuvuus kysyntäjoustosta vähenee.



A photograph of an industrial facility, likely a water or ammonia production plant. The scene is dominated by a complex network of large, dark-colored pipes and machinery. In the foreground, a large, curved pipe is prominent. To the right, there's a large cylindrical tank with a handwheel on top. The background shows a long, multi-story structure with a grid-like facade, possibly a cooling tower or a large storage tank. The lighting is bright, suggesting an outdoor or well-lit indoor environment. The overall color palette is a mix of dark greys, blues, and metallic tones.

Vedyn ja ammoniakin tuotannon houkuttelevuus Hanhikivellä

Ydinvoimalla tuotettu vety tarjoaa teknisiä etuja RES-vetyyn verrattuna, mutta siihen liittyy sääntelyriskejä, joiden odotetaan selkiytyvän pian

YDINVOIMALLA TUOTETUN VEDYN EDUT



SÄÄNTELYYN LIITTYVÄT ESTEET

- Ydinvoimaa ei ole selkeästi mainittu EU:n ilmastotavoitteissa. Ydinvoiman yleinen määritelmä puuttuu EU:n asiakirjoista.
- Nykyisen RFNBO:n delegoidun säädöksen mukaan ydinvoimalla tuotettua vetyä ei luokitella hiilivapaaksi vedyksi. Ydinvoimalla tuotettua vetyä voitaisiin pitää vähähiilisenä vetynä, jos se tuottaa 70% vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä elinkaarensa aikana kuin perinteinen maakaasusta tuotettu vety.
- EU:n tasolla keskustellaan aktiivisesti vetykysymyksestä, mikä voi johtaa nopeasti muuttuvaan toimintaympäristöön.
- **EU:ssa valmistellaan parhaillaan delegoitua säädöstä vähähiilisestä vedystä.** Näin ollen ydinvoiman aseman tässä yhteydessä odotetaan pian selkiytyvän.

AFRY:n LCOH- ja LCOA-mallinnusoletukset ydinvoimaan perustuville toteutettavuuslaskelmille

Oletus	Arvo	Selitys
Diskonttokorko / WACC	8 %	Reaaliarvot, vuosi 2022
Elektrolyyserin CAPEX	741 €/kW	AFRY:n teknologiakustannustiimin raportti q3 - 2023, todellisten tietojen puute lisää epävarmuutta CAPEX:n suhteen
Varaston CAPEX	0,6 - 19 €/kWh H2	AFRY:n teknologiakustannustiimin raportti q3 - 2023, todellisten tietojen puute lisää epävarmuutta CAPEX:n suhteen
Sähkön hinta	40-60 €/MWh	Sähkön hintaennusteet yhdistettynä ydinvoiman LCOE-arvioon. Käytetään ydinvoimamallinnuksessa Mukautettu joustavuusanalyysia varten.
Uusiutuvan energian OPEX	25 €/ kW_h2 / vuosi	Mallinnettu tuulivoiman talteenottokertoimen avulla
Elektrolyyserin hyötysuhde	72 %	AFRY:n vertailuarvot
Vedyn lämpöarvo	39,39 kWh / kgH2	Käytetty korkeampaa lämpöarvoa (HHV)

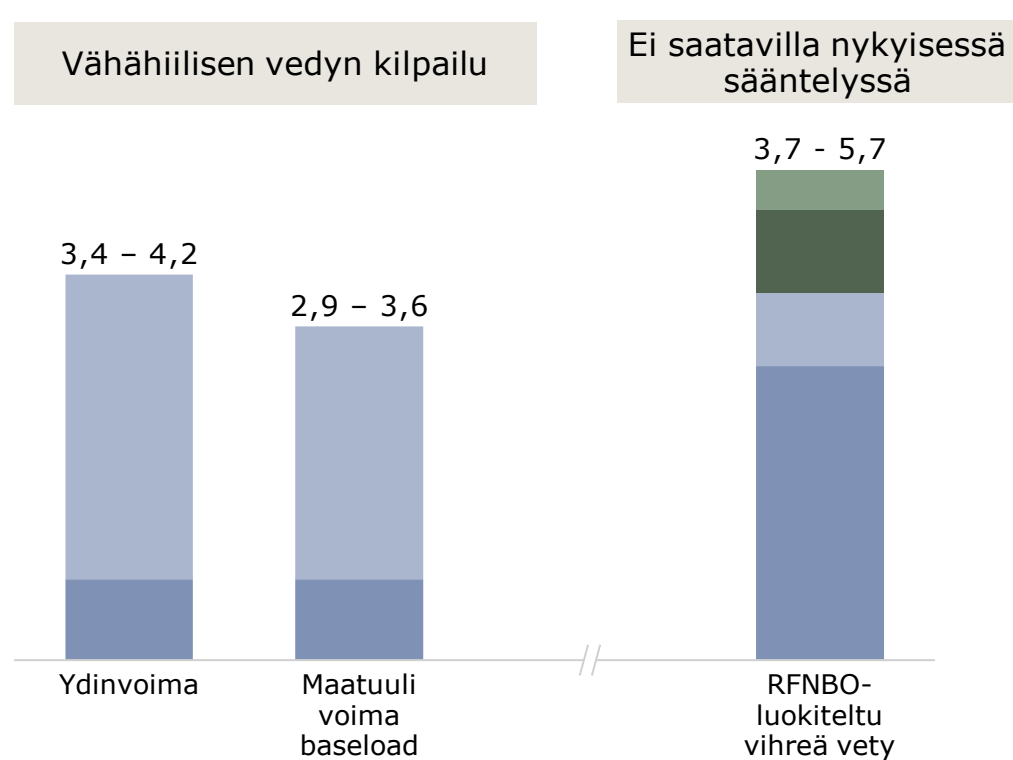
KOMMENTIT

- Uusiutuvaan energiaan pohjautuva mallinnus tehdään optimoimalla ylimitoitettun elektrolyyserin ja varastointikapasiteetin yhdistelmä
- Ammoniakin tuottaminen vedystä nähdään yhtä suurena lisäkustannuksena sekä ydinvoiman että uusiutuvan energian tapauksessa
- Korkean tason analyysissä emme ota huomioon komponenttien hajoamista, elektrolyyserien vähimmäiskuormituskertoimia tai hyötysuhteen vaihtelua kuormituskertoimen mukaan

Nykyisen sääntelyn takia ydinvoimalla tuotetun vedyn pitää kilpailla muun vähähiilisen vedyn kanssa

YDINVOIMALLA TUOTETUN VEDYN LCOH

€/kg H₂



■ Elektrolyseri CAPEX ■ Elektrolyseri OPEX ■ Varastoinnin CAPEX ■ Varastoinnin OPEX

KOMMENTIT

- Nykyinen regulaatio suosii RFNBO-luokiteltua vihreää vetyä rajoittaen siten markkinapotentiaalia vähähiiliselle vedylle, johon ydinvoimallakin tuotettu vety todennäköisesti kuuluu
- Suomessa verkkosähköllä tuotettua vetyä ei lasketa vihreäksi vedyksi ja se kilpailee siten ydinvoimalla tuotetun vedyn kanssa
 - Ydinvoimalla tuotettu vety ei ole yhtä kilpailukykyistä kuin verkkosähköllä valmistettu vähähiilinen vety

Huomioita

- Laskelmat ovat suuntaa-antavia, ja investointipäätöksiä varten tarvitaan projektikohtainen tarkempi analyysi
- Elektrolyysierien CAPEX-kehitykseen liittyy epävarmuustekijöitä, koska tosielämän dataa on niukasti saatavilla
- OPEX koostuu pääasiassa sähkökustannuksista
- Jos elektrolyyseri ylimitoitetaan uusiutuvia energiaa varten ja sitä täydennetään varastoinnilla, voidaan saavuttaa matalammat capture- hinnat. Selittää suurempia CAPEX- ja pienempiä OPEX-kustannuksia
- Kummassakaan tapauksessa ei oteta huomioon vetyverkkomaksuja
- Ydinvoiman tapauksessa ei oteta huomioon mahdollisia vikoja elektrolyysierissä, mikä vaatisi pientä varastointikapasiteettia

LCOH = Vedyn tasoitettut kustannukset (levelised cost of hydrogen), RFNBO = Ei-biologista alkuperää olevat uusiutuvat polttoaineet (Renewable Fuels of Non-Biological Origin)

Ammoniakki on todennäköisesti paras P2X-ratkaisu Hanhikivellä, biogeenisen hiilidioksidin puute laitosalueen läheisyydessä rajoittaa muita vaihtoehtoja

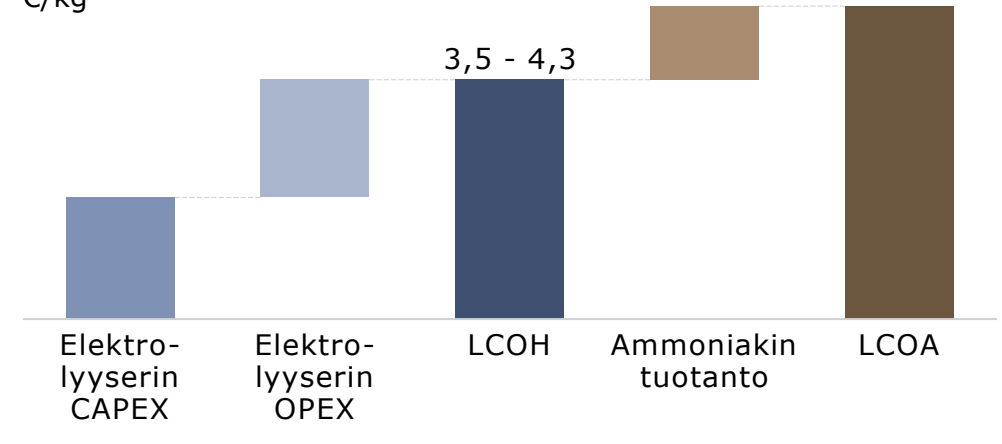
POWER TO X -MAHDOLLISUUDET HANHIKIVEN ALUEELLA

- Hanhikiven läheisyydessä ei ole suuria biogeenisiä CO₂ -lähteitä, joita tarvittaisiin hiilipohjaisten synteettisten polttoaineiden valmistukseen.
- Biogeenisen hiilidioksidin puutteen seurauksena power-to-X-mahdollisuudet rajoittuvat ammoniakkin tuottamiseen, ellei nesteytetyn hiilidioksidin laivakuljetusta laitosalueelle voida pitää vaihtoehtona tulevaisuudessa.
- Ammoniakille on mahdollisesti suurta kysyntää ympäri Eurooppaa lannoitteissa, kemikaaleissa ja merenkulun polttoaineena (lisätietoja seuraavalla sivulla).
- Vihreän ammoniakkin tärkeimmät raaka-aineet ovat vety ja typpi, minkä vuoksi vedyn kustannukset ovat ratkaisevassa asemassa ammoniakkin kustannusten osalta.
- Ammoniakkituotanto on riippuvainen jatkuvasta vetyvirrasta, ja näin ollen sen sähkönlähteeksi soveltuu ydinvoima tai uusiutuva energia yhdessä suuren vetyvaraston ja ylimitoitetun elektrolyyserin kanssa.



AMMONIAKKI KATSOTAAN LISÄKUSTANNUKSEKSI

€/kg



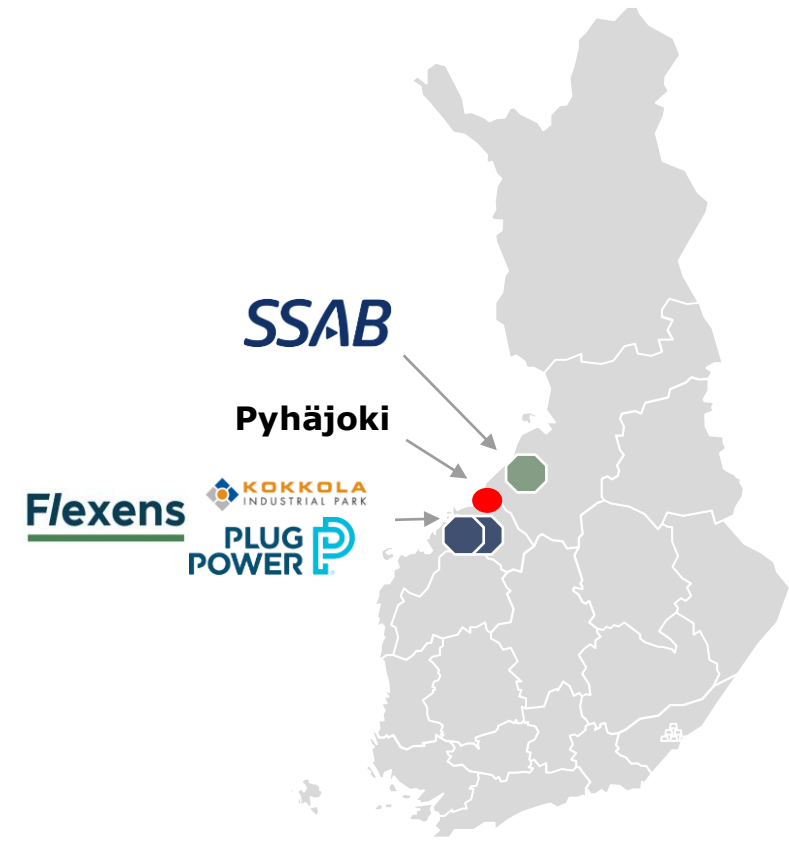
- Ammoniakin tuotantokustannukset katsotaan yllä lisäkustannukseksi LCOH-laskelmiin, joten ydinvoiman ja uusiutuvien energialähteiden välinen vertailu pysyy samana kuin LCOH:ssa.
- Tiedämme, että ammoniakkin tuotanto edellyttää jatkuvaa vetyvirtaa, mikä antaa teknologisen edun ydinvoimalla tuotetulle ammoniakille.

Pohjoismainen vetytalous on kehittymässä, ja Hanhikivi on joidenkin alan toimijoiden kannalta lupaavalla paikalla

VETYTALouden KEHITTYMINEN

- Pohjoismainen vetytalous kehittyy nopeasti, ja lukuisia hankkeita on julkistettu.
- PtX-hankkeet SSAB:n toimesta Raahessa sekä Flexensin ja Plug Powerin toimesta Kokkolassa ovat Pyhäjoen läheisyydessä.
- Muita hankkeita löytyy suunnitellun Nordic Hydrogen Route- vetyputken varrelta:
 - Oulu, Kemi, Tornio (hankkeita ei ole ilmoitettu, mutta voisivat tapahtua, koska CO2-päästöjä olisi saatavilla raaka-aineeksi)
 - Luulaja (BotnialänkenH2-projekti vedyn tuottamiseksi tuulivoimalla, Green Wolverine -projekti ammoniakkin ja vihreän lannoitteen tuottamiseksi, H2 Green Steel -projekti vihreän vedyn ja vihreän teräksen tuottamiseksi).
 - Skellefteå (Flagship Four, vedyn tuotanto ilmailualalle)
 - Kiiruna (LKAB aikoo tuottaa raudan pelkistyksessä käytettävää vetyä)
- Lisäksi Ruotsiin suunniteltu vetyputki saattaa lisätä vetyinvestointien houkuttelevuutta.
- Tuotannon tekniset vaatimukset määräytyvät myös sen mukaan, mihin vetyä käytetään, mutta taloudellinen toteutettavuus on silti tärkeää.

VEDYSTÄ RIIPPUVAISET HANKKEET PYHÄJOEN LÄHELLÄ



Energiamurros luo ammoniakille uusia loppukäyttökohteita polttoaineena ja vedyn kantajana

NYKYISET SOVELLUKSET

UUDET SOVELLUKSET

TÄRKEIMMÄT
SOVELLUKSET
MARKKINAKASVUN AJURIT/ESTEET

Teollisuuden raaka-aine



- Lannoitteet
- Teollisuuden kemikaalit

- ✓ Vähähiilinen ammoniakki korvaa harmaata ammoniakkia vähentäen siihen liittyviä CO₂-päästöjä
- ✓ Poliittiset päättäjät pyrkivät vähentämään lannoitteiden tuotannon ja käytön päästöjä
- ✓ Mahdollisuus parantaa elintarviketurvaa maissa, joissa on RES-potentiaalia ja joihin tuodaan paljon lannoitteita/elintarvikkeita
- ✗ Maatalousalan herkkyyksille lannoitekustannuksille

Energia



- Energiantuotanto

- ✓ Mahdollisuus vähentää nykyisten hiili- ja kaasuvoimaloiden CO₂-päästöjä
- ✗ Vielä tarvitaan tutkimusta, jotta 100% ammoniakki-pohjainen sähköntuotanto olisi mahdollista perinteisissä kattiloissa tai kaasuturbiineissa
- ✗ Palamisesta syntyvä NOx sekä turvallisuuskysymykset (esim. korkea myrkyllisyys) on ratkaistava

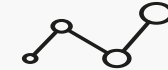
Liikenne



- Meriliikenteen polttoaine

- Laiva-alan OEM:t kehittävät parhaillaan kaasupoltto-moottoreita ja polttokenno-propulsioteknologiaa, nämä vielä testausvaiheessa
- ✓ Olemassaoleva globaali ammoniakki-kuljetusinfrastruktuuri
- ✗ Palamisesta syntyvä NOx sekä turvallisuuskysymykset (esim. myrkyllisyys) on ratkaistava
- ✗ Turvallisuus- ja käsittelysääntöjen sekä -standardien puute

Vedyn kantaja

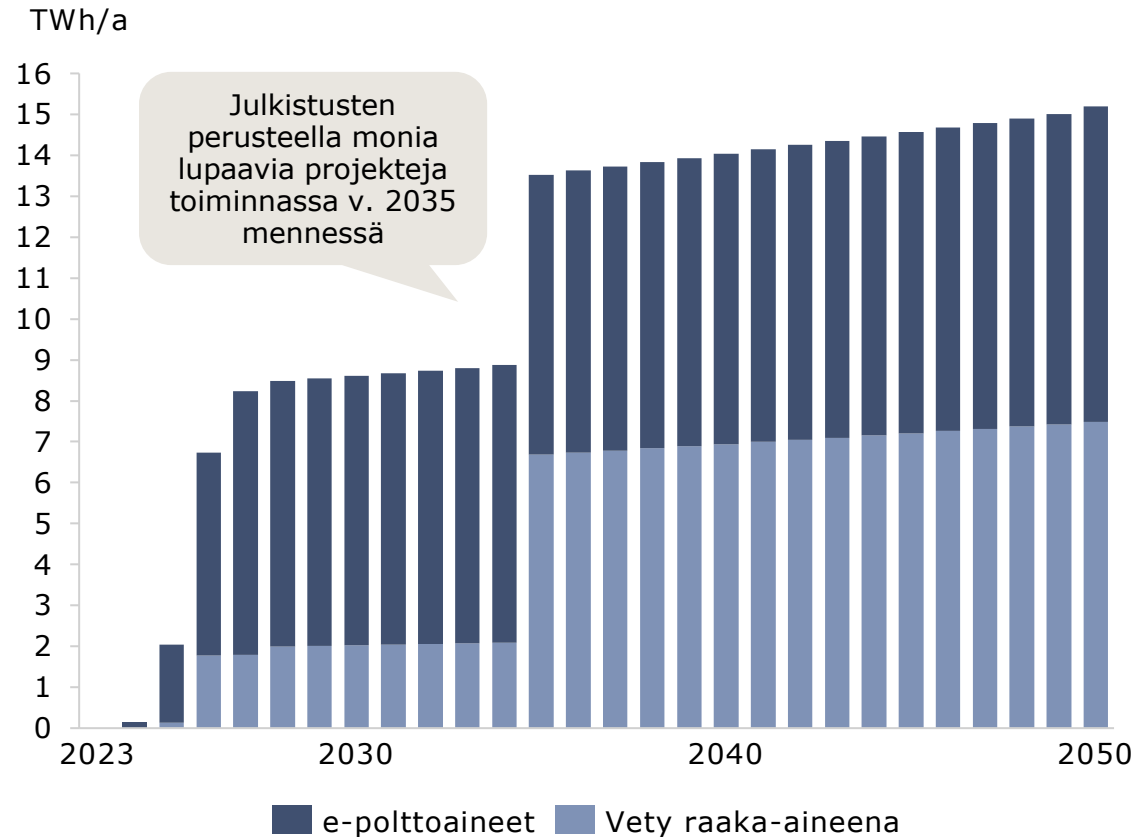


- H₂-kantaja (muutetaan myöh. takaisin vedyksi)

- ✓ Suotuisten RES-olosuhteiden alueilla tuotettu vihreä vety voidaan syntetisoida ammoniakiksi Haber-Bosch-menetelmällä ja toimittaa sitten alueille, joilla on epäsuotuisat RES-olosuhteet
- ✓ Olemassaoleva globaali ammoniakki-kuljetusinfrastruktuuri
- ✗ Mahdollisuus keskipitkän aikavälin pullonkauloihin kun infrastruktuuri laajenee

Suomessa on vaikuttava julkaistujen vetyprojektien kehityspotki, osana tätä voi toimia ydinvoimalla tuotettu H₂

VETYTALouden SÄHKÖN KYSYNNÄN KEHITYS (SUOMI)



KOMMENTIT

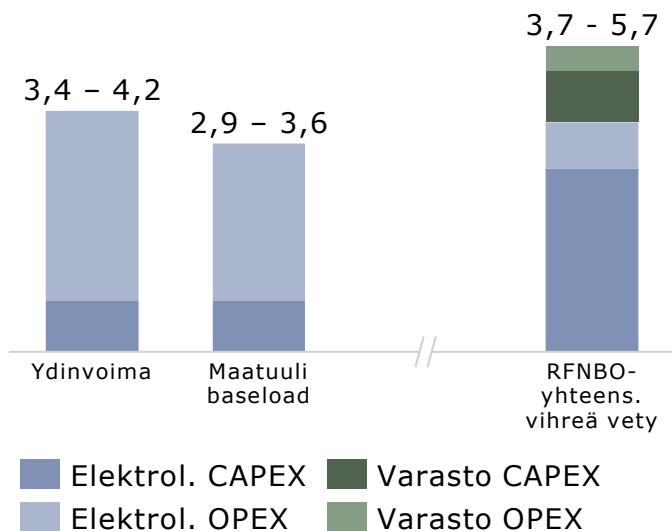
- Projektijulkistusten perusteella Suomeen on tulossa paljon vetyhankkeita. Monissa hankkeissa etsitään vedyn ja PtX-tuotteiden vientimahdollisuuksia.
- Tuleva vähähiilistä vetyä koskeva delegoitu säädös saattaa viimeinkin selvittää ydinvoiman asemaa vedyntuotannossa. Tämän seurauksena odotamme, että maksuhalukkuus vähähiilisestä vedystä on matalampaa kuin uusiutuvan vedyn kohdalla. Tämän ei kuitenkaan pitäisi olla suuri takaisku, kun otetaan huomioon teollisuuden kiinnostus ydinvoimaan ja se, että ydinvoimaan perustuva vety voi hyvinkin olla kustannuksiltaan kilpailukykyisempää kuin uusiutuviin energialähteisiin perustuva vety.
- Vedyn ja sähköpolttoaineiden tulevaan kysyntäkasvuun Euroopassa voi olla vaikea vastata pelkillä uusiutuvilla energialähteillä, varsinkin kun sähkön kokonaiskysyntä kasvaa samanaikaisesti.
- On odotettavissa, että Suomen projektitilanne muuttuu ajan mittaan - osa hankkeista peruuntuu tai lykkääntyy, samalla kun uusia ilmoitetaan. Hanhikiven alueen potentiaalista olisi siksi viestittävä sekä nykyisille että mahdollisille uusille rakennuttajille.



Toteutettavuusarvioiden yhteenveto

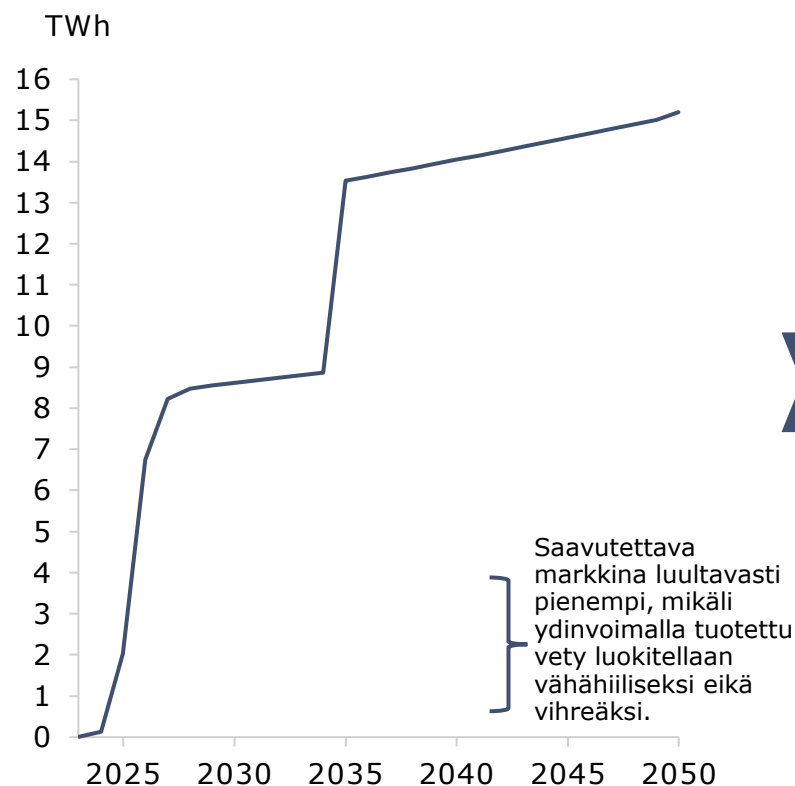
Ydinvoimalla tuotettu vety voi tarjota mahdollisuuksia Hanhikivellä, erityisesti jos se kategorisoitaisiin vihreäksi vedyksi RFNBO:n mukaisesti

LCOH-VERTAILU (€/KG)



- Elektrolyserin ylimitoitus ja optimointi varaston kanssa mahdollistaa matalammat capture-hinnat, mikä selittää suuremman CAPEX-osuuden ja matalamman OPEXin.
- Ammoniakin tuotantoa pidetään tasapuolisena lisäkustannuksena, eikä täten vaikuta tähän vertailuun.

SÄHKÖN TARVE VIHREÄLLE VEDYLLE



PÄÄTELMÄT

- Ydinvoimalla tuotettua vetyä koskeva EU:n lainsäädäntö on vasta kehittymässä, mutta todennäköisesti tulee olemaan epäsuotuisa, koska tällainen vety luokitellaan todennäköisemmin vähähiiliseksi kuin uusiutuvaksi
- Jos ydinvoimalla tuotettu vety luokitellaan vihreäksi, kohdennettu markkina vihreälle vedylle voi kasvaa 15 TWh:iin vuoteen 2050
- Muuten ydinvoimalla voidaan tuottaa vähähiilistä vetyä pienemmälle markkinalle
- Ydinvoima kilpailee muita vähähiilisiä tuotantomuotoja vastaan, jotka voivat olla edullisia

Ydinvoima voi olla tulevaisuuden sähkömarkkinoilla keskeisessä asemassa peruskuorman lähteenä, kun vakaan sähkön kysyntä kasvaa teollisuudessa

YDINVOIMALA HANHIKIVELLÄ: HYVÄT JA HUONOT PUOLET



Plussat

Vakaa peruskuormatuotanto

Laitosalueella jo tehdyistä töistä hyötyminen

Teknisiä hyötyjä teollisuuden käyttötarpeissa ja tulevaisuuden vetyteollisuudessa



Miinukset

Ydinvoimalla tuotettua vetyä koskeva EU:n lainsäädäntö

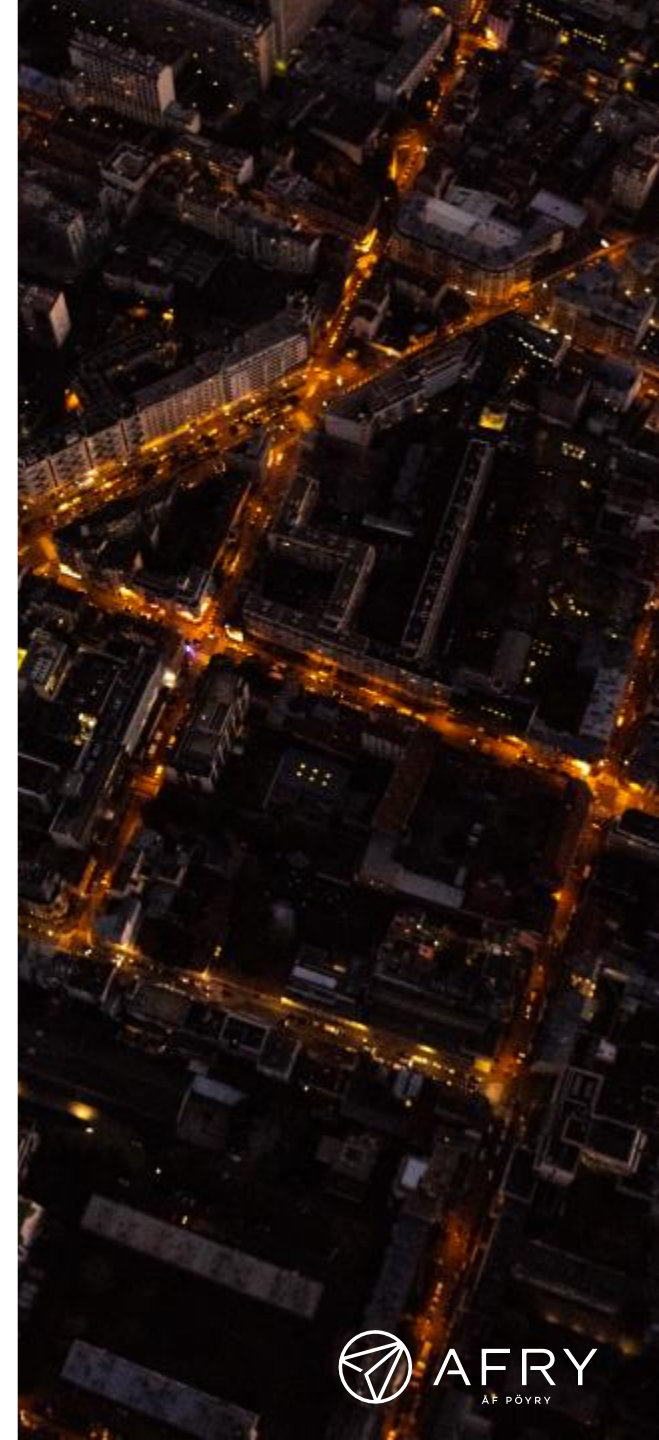
Projektin pitkä kesto

PÄÄTELMÄT

- Ydinvoima voisi olla kilpailukykyinen vaihtoehto vastaamaan kysyntäkasvuun uusilta teollisuudenaloilta, jotka arvostavat vakaata sähköntuotantoa ja ennustettavia hintoja. Laitosalueella tehdyt valmistelutyöt voisivat myös tuoda kustannussäästöjä heijastuen tuotetun sähkön LCOE:hon.
- Mahdollinen kapasiteettimarkkina voisi tehdä ydinvoimasta houkuttelevampaa.
- Ennakoitu sähkön kysyntäkasvu, josta suuri osa tulee vakaata sähköntuotantoa vaativasta vetyteollisuudesta, tekee peruskuormitusta tarjoavasta ydinvoimalasta ihanteellisen ratkaisun.
- Ydinvoimaloiden rakennusaika on kuitenkin pitkä. Täten epävarmuus kysynnän ja sähkön hinnan kehityksestä aiheuttaa merkittäviä riskejä sijoittajan näkökulmasta.
- Vetyä ja ammoniakkaa koskevan ylätasoinen case-tutkimuksen perusteella ydinvoiman vuotuiset kustannukset ovat hieman matalammat kuin uusiutuvaan energiaan ja varastointiin perustuvassa vedyntuotannossa.
- Ydinvoimalla tuotetun vedyn luokittelua on tarkoitus selventää pian EU:n lainsäädännössä. Tämä helpottaa päätöksentekoa muun muassa teollisille loppukäyttäjille.

Sisältö

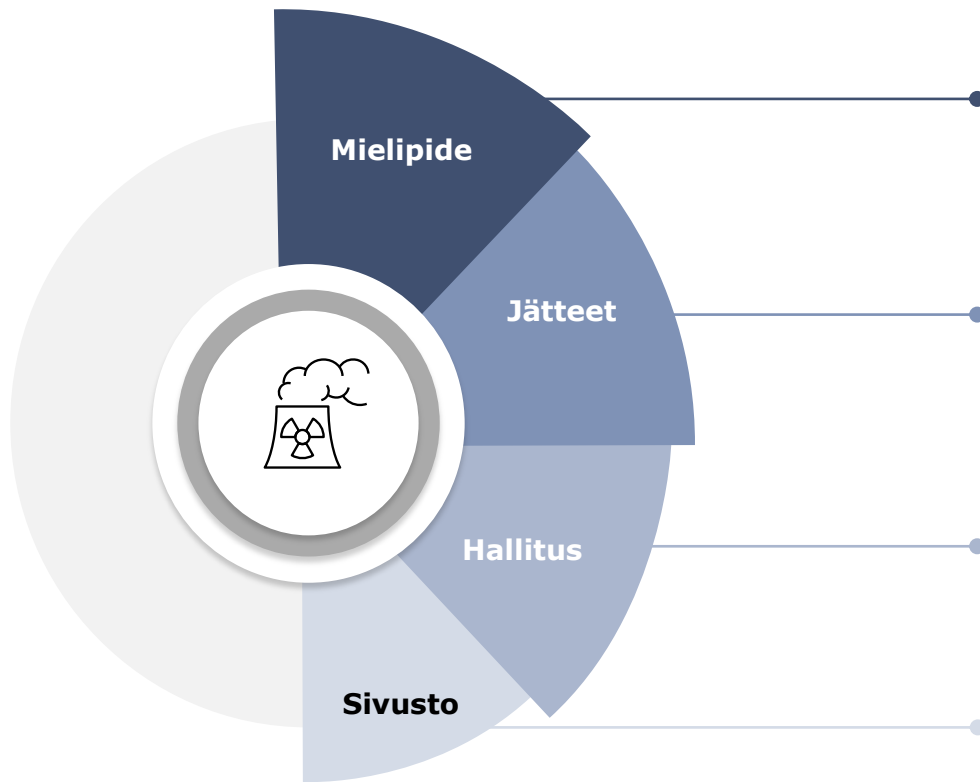
1. Tiivistelmä
2. Tausta
3. Puhtaan energian markkinatutkimus
4. Teknologia katsaus
5. Arviointi sidosryhmien kiinnostuksesta ja valmiudesta uusia hankkeita kohtaan
6. Ydinvoiman sekä vedyn ja ammoniakin tuotannon kilpailukyvyn arviointi
7. Päätelmät



An aerial photograph of a coastal industrial site. The foreground shows a large body of water with a rocky shoreline. In the middle ground, there is a large industrial complex with several large buildings and a central processing area. A semi-transparent architectural rendering is overlaid on the image, showing a detailed view of the industrial buildings and their layout. The background features a dense forest and a line of wind turbines on a hillside.

Päätelmät

Suomessa on suotuisa ympäristö uudelle ydinvoimalalle ja Hanhikivi on yksi parhaista sijoituspaikoista



SUOTUISA YLEINEN MIELIPIDE

Vuonna 2023 jopa 68 prosenttia suomalaisista kannatti ydinvoimaa ja vain 6 prosenttia vastusti sitä. *) Suomessa on vankka ydinvoima-alan perinne 1970-luvulta lähtien.

MAHDOLLISUUS JÄTTEIDEN KÄSITTELYYN

Posivan Onkalon ydinjätteen loppusijoituslaitos aloittaa toimintansa Olkiluodossa vuonna 2025, jos hanke saadaan valmiiksi aikataulun mukaisesti.

MYÖNTEINEN HALLITUKSEN NÄKÖKULMA

Suomen nykyinen hallitus suhtautuu myönteisesti ydinvoimaan ja on valmis vastaanottamaan uusia ydinvoimaloita tai SMR:ää koskevia hakemuksia hallituskautensa aikana.

HANHIKIVEN TYÖMAALLA ON RAKENTEELLISIA ETUJA YDINVOIMAN RAKENTAMISEEN

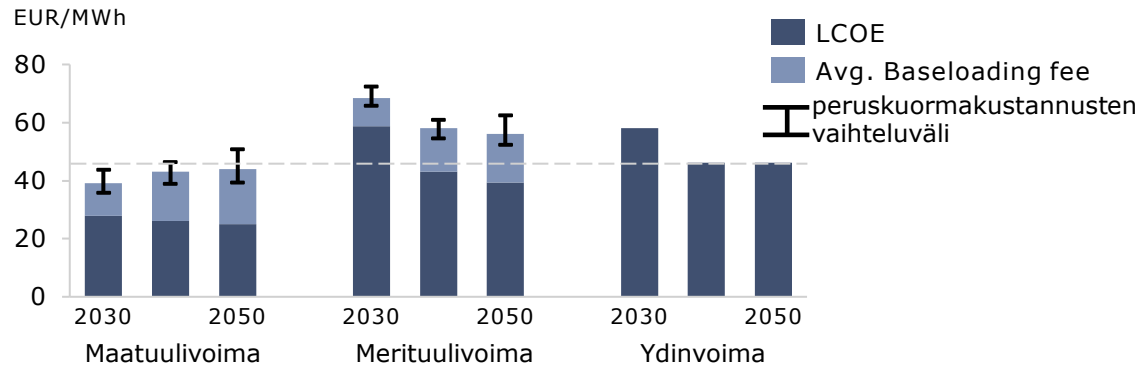
Hyvin edenneet pohjatyöt ja laitosalueen valmistelut antavat Hanhikiven laitosalueelle selkeän edun, kun verrataan uusien ydinvoimalaitosalueiden toteutettavuutta.

*) [Ydinvoiman suosio nousee Suomessa uuteen ennätykseen - Energiateollisuus](#)

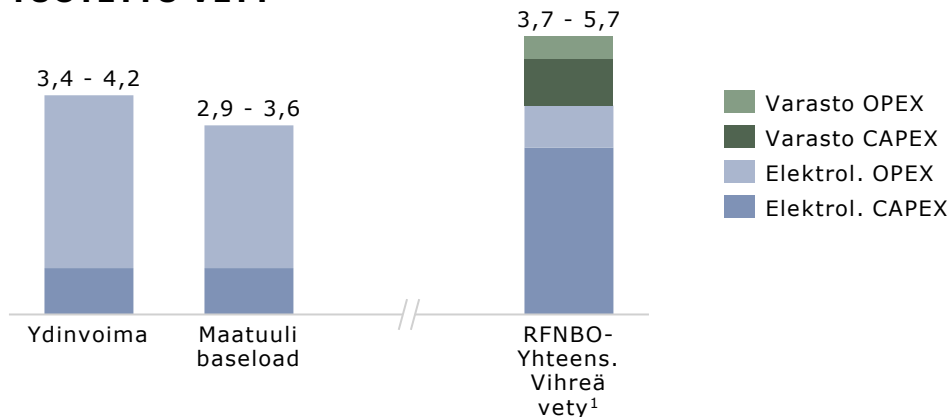
PÄÄTELMÄT

Hanhikiven ydinvoimalaitoksella on potentiaalia olla kilpailukykyinen, kun tarkastellaan tasaisen tuotantoprofiilin taloudellisia etuja

SÄHKÖN TUOTANTOKUSTANNUKSET PERUSKUORMITUKSELLA



LCOH-VERTAILU (€/KG) YDINVOIMAN VS. DEDICATED-RES¹ TUOTETTU VETY



¹ RFNBO:n mukaisessa tapauksessa oletetaan, että sähkönhankintasopimus sisältää rajoitettuja käyttötunteja ja että uusiutuvaan tuotantoon on varattu oma yhteys. Näin ollen varastointia tarvitaan, jos tuotetun vedyn loppukäyttö tapahtuu laitosalueella, esimerkiksi jatkojalostaminen ammoniakiksi. Jos vetyä siirretään putkistoyhteydellä, vety voitaisiin mahdollisesti syöttää siihen ilman välivarastointia.

VAKAUDEN ARVO SÄHKÖNTUOTANNOSSA

- Ydinvoima ei ole kilpailukykyinen maatuulivoimaa vastaan puhtaasti LCOE:n perusteella.
- Kun otetaan huomioon ydintuotannon vakauden arvo peruskuormalogiikan avulla, ydinvoimasta tulee tulevaisuudessa potentiaalisesti kilpailukykyinen erityisesti merituulivoimaa vastaan.
- Lisäksi mahdollinen kapasiteettimekanismi saattaa vaikuttaa kannattavuusvertailuun tulevaisuudessa - ei kustannuspuolella vaan tulopotentiaalin kautta.

VETYTUOTANNON VAKAUDEN ARVO

- Jos sähköntuotanto on vakaata, vedyn tuotanto voi mahdollisesti saavuttaa alhaisemman kustannustason kuin uusiutuvista energialähteistä tuotettu vety, jos uusiutuviin energialähteisiin perustuvan tuotannon varastot huomioidaan.
- Ydinvoimalla tuotettua vetyä ja ammoniakkeja ei kuitenkaan todennäköisesti pidettäisi RFNBO:na, mikä vähentäisi potentiaalisia markkinoita ja asiakkaiden maksuhalukkuutta.
- Kun sähkö on vakaata, elektrolyysikapasiteettia ei tarvitse ylivoimaisesti, jolloin investointikustannukset ovat pienemmät.
- Myöskään varastointia ja siihen liittyviä kustannuksia ei tarvita.

Ydinvoiman kehittäjien on onnistuttava riskien hallinnassa, jotta ydinvoimaprojekti voidaan toteuttaa Hanhikivellä



RISKIT

Ydinvoimalaitos on riski-investointi, investointikustannukset ovat suuret ja aikataulu pitkä.

Riskejä hallittava tehokkaasti, erityisesti jos ne liittyvät teollisuushankkeisiin.

- CAPEX, aikataulu, lupamenettelyt, hankinnat jne.
- Alueen hyödyt ja riskit on tutkittava perusteellisesti ennen investointipäätöstä.



RAHOITUS

Rahoituskustannukset on minimoitava korkeiden CAPEX-kustannusten vuoksi.

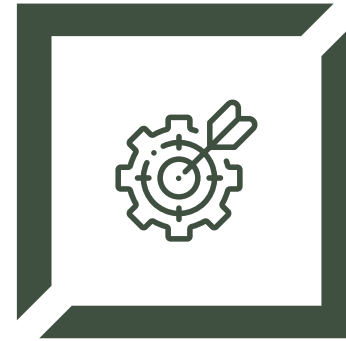
- Vaihtoehtoja, kuten Mankalamallia ja muita innovatiivisia ratkaisuja, olisi harkittava.



TEKNOLOGIA

Hyväksi todettu teknologia ja kokeneet toimittajat, jotka ovat valmiita sopeutumaan Suomen olosuhteisiin, ovat avainasemassa riskisalkun käsittelyssä.

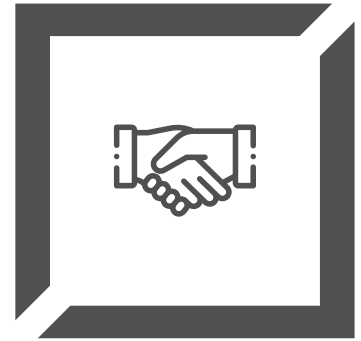
Toimittajan referenssit ja kokemukset samankaltaisista hankkeista ovat tärkeitä.



HENKILÖSTÖ JA TOIMITTAJAT

Käyttöhenkilöstö on palkattava ja koulutettava hyvissä ajoin hankkeen toteuttamisen aikana.

On luotava ja ylläpidettävä hyvää alihankintaverkostoa.



SUHTEET

Paikallisen julkisen ja poliittisen tuen hallinta ja säilyttäminen on olennaisen tärkeää hankkeen onnistumisen kannalta.

Avoin vuoropuhelu STUKin ja muiden viranomaisten kanssa on tärkeää kaikissa hankkeen vaiheissa.

PÄÄTELMÄT

Ydinsähkön tuotanto Hanhikiven laitosalueella on tulevaisuuden mahdollisuus sähkön loppukäyttäjille, jotka arvostavat vakaata sähkönsaantia. Alue soveltuu myös uusiutuvaan tai ydinvoimaan perustuvaan vety- ja ammoniakkituotantoon paikan päällä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että Hanhikiven alueella on neljä mielenkiintoista vaihtoehtoa, jotka riippuvat investointien aikataulusta ja tulevasta EU:n sääntelystä:

1. Vedyn ja ammoniakin tuotanto paikan päällä, joka perustuu uusiutuvan energian verkkosähkön ostosopimukseen tai suoraan uusiutuvan energian tuotantoon. Näin saatua vetyä tai ammoniakkia pidettäisiin RFNBO:n mukaisena ammoniakkina.
2. Ydinvoiman tuotanto verkkoon ostettavaksi tai ydinvoimaan kytketyille teollisille loppukäyttäjille, jotka arvostavat vakaata sähköntoimitusta. Tämä tarjoaa tulevaisuudessa kilpailukykyiset sähköntuotantokustannukset verrattuna muun tyyppisiin peruskuormasähkön ostosopimukseen.
3. Ydinvoiman tuotanto laitospaikalla tapahtuvaa vedyn ja ammoniakin tuotantoa varten edellyttäen, että ydinvoimaan perustuva vety hyväksytään vähähiiliseksi vedyksi EU:n tulevassa sääntelyssä ja että vähähiilisen vedyn hinnoittelu on kilpailukykyistä markkinoilla. Laitospaikalla tapahtuva teollinen tuotanto vaatii tarkempaa tutkimista, mutta ainakin SMR:n kanssa se on luultavasti tulevaisuudessa mahdollista.
4. Ydinvoiman tuotanto laitospaikalla tapahtuvaa vedyntuotantoa varten, joka on liitetty vetyputkistoon yhdelle tai useammalle vedyn loppukäyttäjälle edellyttäen, että ydinvoimaan perustuva vety hyväksytään vähähiiliseksi vedyksi tulevassa EU:n sääntelyssä ja että vähähiilisen vedyn hinnoittelu on kilpailukykyistä markkinoilla. Laitospaikalla tapahtuva teollinen tuotanto vaatii tarkempaa tutkimista, mutta ainakin SMR:n kanssa se on luultavasti tulevaisuudessa mahdollista.

Making Future