

SYSTEM EARTH

Science with a Purpose

PLANETARY RESOURCES

Regenerative use of natural resources

DIGITAL REVOLUTION

Utilising data and digital technology
to benefit society



BUSINESS AND SOCIETY

Building resilient businesses,
industry, and communities

ENERGY TRANSITION

Clean energy solutions
for industry and society

 27.1.2026

Mitkä hankkeet toteutuvat, voiko Suomi poimia rusinat pullasta?

Jero Ahola, D.Sc., Professori, energiatehokkuus, osastonjohtaja
Sähkötekniikan osasto
LUT-yliopisto, Lappeenranta
Email: jero.ahola@lut.fi
Tel: +358 40 529 8524
X: @JeroAhola
Linkedin: <https://www.linkedin.com/in/jeroahola/>
BlueSky: <https://bsky.app/profile/jeroahola.bsky.social>

Sähkötaloudessa kyse on siirtymästä fossiilisten polttoaineiden aikakaudesta uusiutuviin, modulaarisiin ja skaalattaviin teknologioihin

Era of fossil fuels:

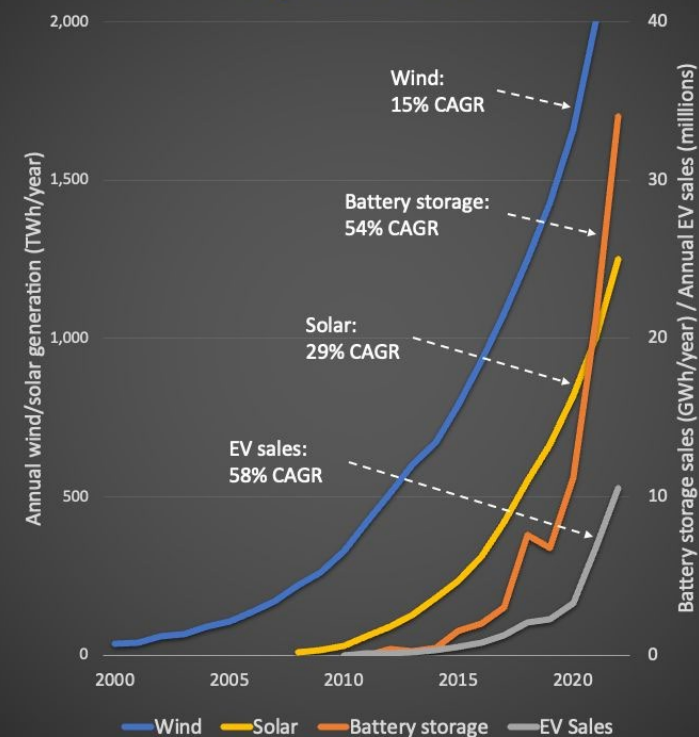
Exploration, extraction, mining, refining, transportation, and combustion of fossil fuels.



Era of renewable energy and its technologies:

Mass-produced wind and solar energy systems, batteries, electrolyzers, heat pumps, direct air capture of CO₂, and heat storage solutions will dominate. Electricity is set to become the main energy source.

The energy transition is exponential



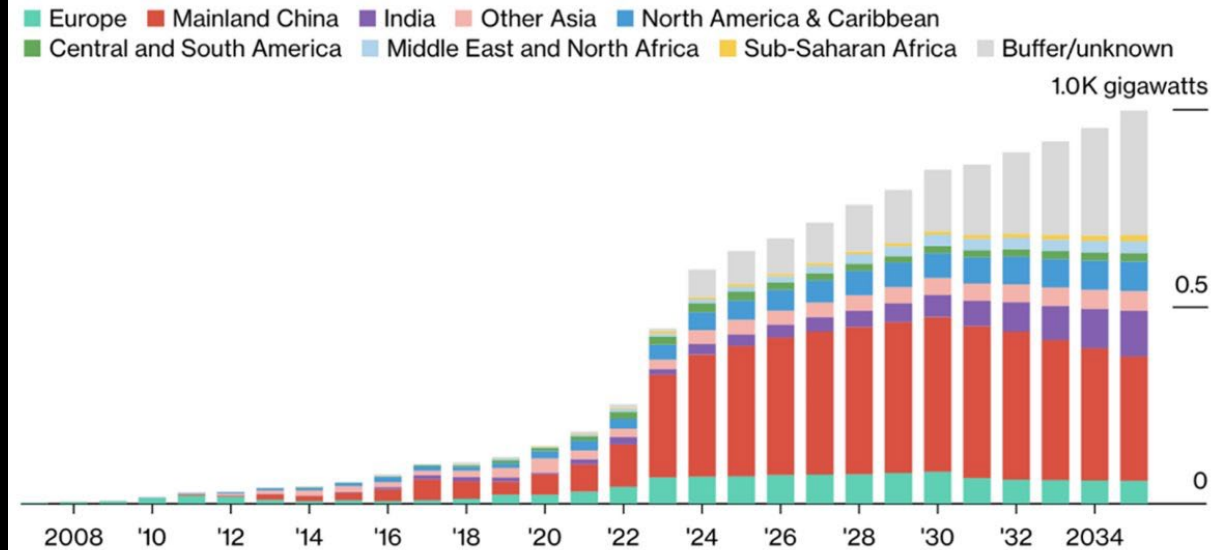
Source: RMI, BNEF, BP, Ember, EV Volumes
CAGRs shown are from 2012-2022

Miten energiamurros globaalisti etenee?

- Maaliskuuhun 2022 mennessä aurinkosähköä oli asennettu yhteensä 1 TW.
- Lisäksi 1 TW uutta aurinkosähkökapasiteettia asennettiin vuosina 2023–24.
- Emberin mukaan maailmassa asennettiin 2024 yhteensä 593 GW aurinkosähköä, ja WWEA:n mukaan 150 GW tuulivoimaa.
- Aurinkopaneelien globaali tuotantokapasiteetti ylittää jo 1 TW vuodessa.

Global PV Industry to Build 592 Gigawatts This Year

Solar power new build capacity by year, and BNEF's mid forecast



Source: BloombergNEF

Note: Capacity recorded is that of the solar modules.

BloombergNEF

Resepti: 1. Tuuli- ja aurinkovoiman skaalaus, 2. Energian loppukäytön suora sähköistäminen, 3. Epäsuora sähköistäminen vedyllä

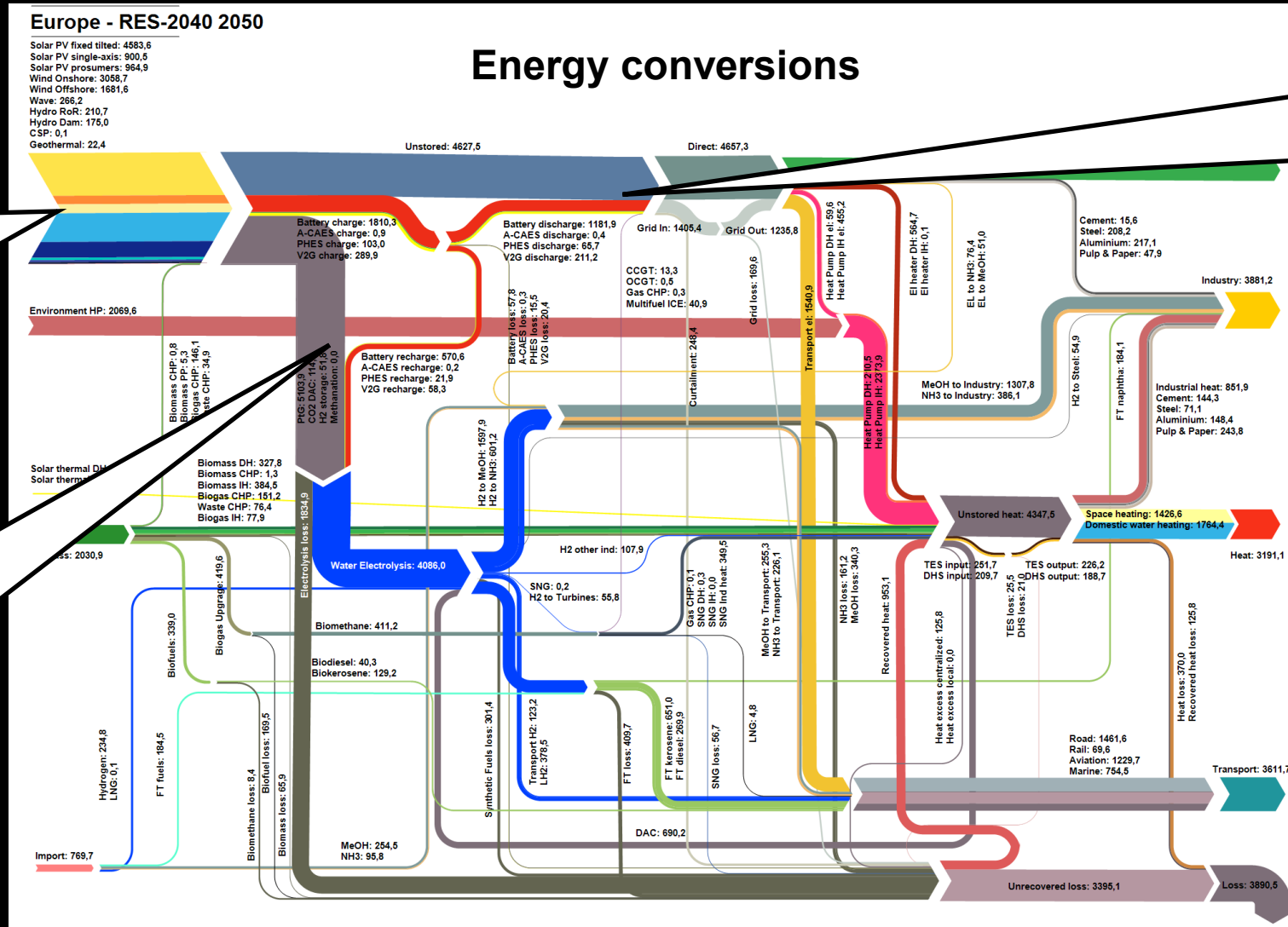
Priority 1: Scale-up of clean electricity, mostly solar and wind

Primary energy Sources

Priority 3: Indirect electrification, mostly by using green hydrogen: 40 % of electricity, driven by regulations, e.g. blending mandates

Priority 2: Direct electrification of energy end use: 60 % of electricity, driven e.g. by efficiency and emissions trading

Energy end use at different sectors



Christian Breyer, Gabriel Lopez, Dmitrii Bogdanov, Petteri Laaksonen, The role of electricity-based hydrogen in the emerging power-to-X economy, International Journal of Hydrogen Energy, 2023, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.170>

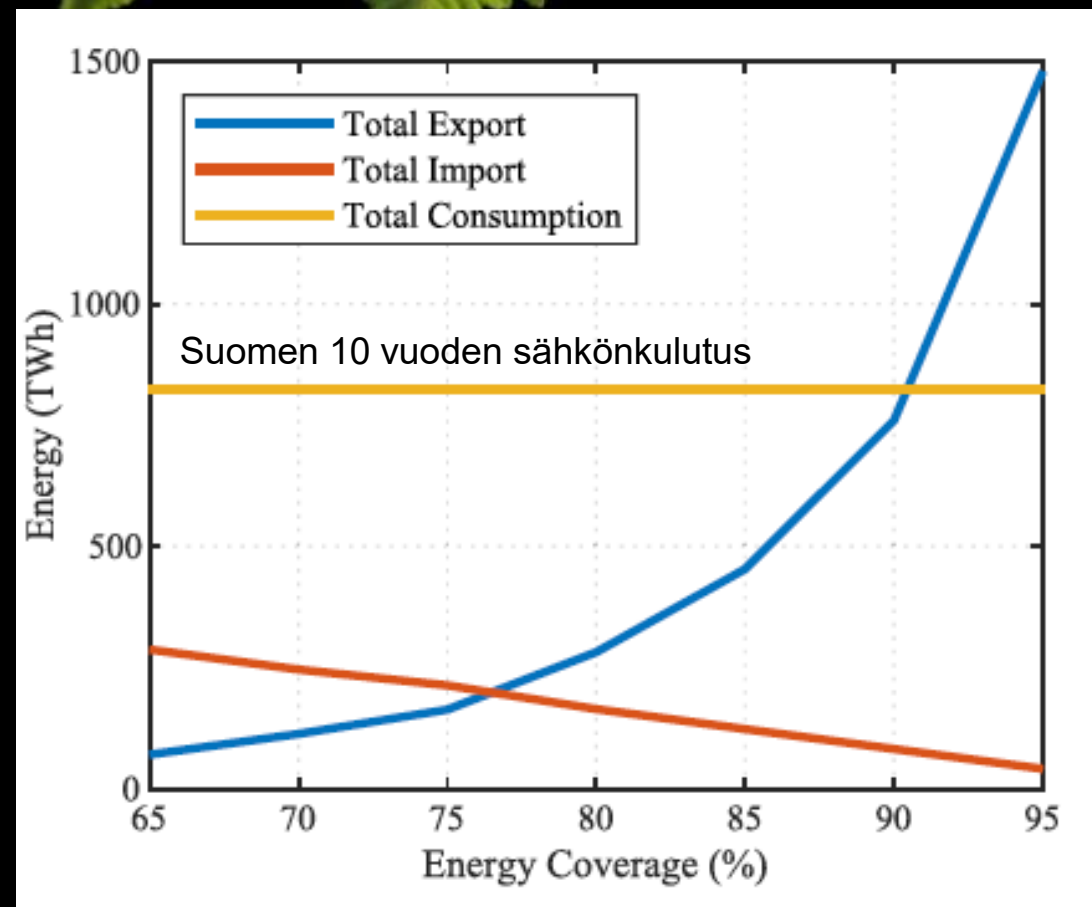
Pystymmekö Suomessa skaalaamaan edullista ja puhdasta sähköä?

Meillä tilaa skaalata

- Suomessa maatuulivoimaa 2025 lopussa 9.3 GW ja aurinkovoimaa 1.5 GW (väkiluku 5.5 M)
- Saksassa oli vuoden 2025 lopussa maatuulivoimaa 68 GW (7 x Suomi) ja aurinkovoimaa 117 GW (78 x Suomi), (väkiluku 85 M, 15 x Suomi)

Suomen uusiutuva sähkö on puhdasta ja kilpailukykyistä

- Uuden maatuulivoiman tuotantokustannus ~30-40 €/MWh ja teollisen aurinkovoiman ~50-60 €/MWh
- Suomessa sähkön keskihinta 2025 oli 40.5 €/MWh, mikä on Euroopan halvimpia
- Suomessa tuuli- ja aurinko tuotantomuotoina täydentävät toisiaan
- Kapasiteetin hajauttaminen maan sisällä lisää luotettavuutta ja vähentää pitkiä tuotantokatkoja
- Tuulella ja auringolla voidaan päästä nykyisellä kulutuksen profiililla 76 % energiaomavaraisuuteen (vienti = tuonti vuositasolla), tuotantokustannus 6 % korolla 44 €/MWh



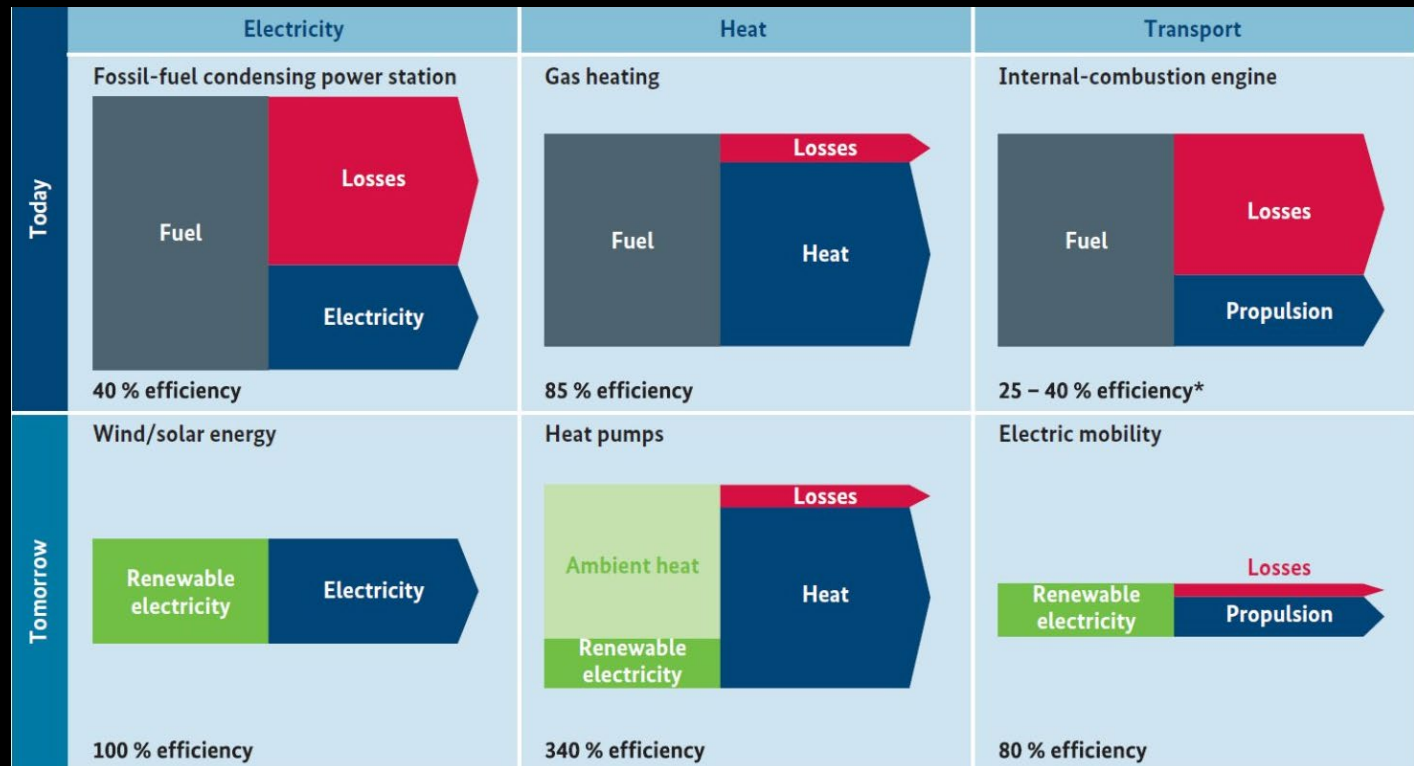
Sources:

- Germany' Renewable Energy Capacity up 11 % in 2025: <https://www.bernama.com/en/world/news.php?id=2510327>
- L. Gardemaister, et Al., Spatial optimization of solar PV and wind power capacity in Finland and correlation analysis, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.111386>

Suoraan sähköistämiseen perustuvat teolliset investoinnit

Skaalavana uutena teollisuutena suuret datakeskukset (power-to-bits)

- Investoinnit toteutuvat markkinaehtoisesti
 - Vähäinen jousto sähkön hinnan perusteella, koska pääomakustannus dominoi
- Sähkökattilat, lämpöpumput, liikenne ja akut
- Ajurina talous -> kustannustehokkuus energiatehokkuuden myötä ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen.
 - Akuilla sähköjärjestelmän tasapainotus ja energian varastointi. Liiketoiminta on syntynyt sähkön tuotantorakenteen muutoksen sekä akkujen hinnan laskun myötä.
 - Investoinneissa käyttökustannus alenee verrattuna fossiiliseen vaihtoehtoon, mutta samalla investointikustannus tyypillisesti kasvaa.



Datakeskus teollisena investointina

Datakeskuksen investointina

- Datakeskusinvestoinnit toteutuvat markkinaehtoisesti
- Datakeskuksen investointikustannus voi olla 10 000 – 40 000 €/kW_e
- Rakennusaikaisesti hanke voi työllistää tuhansia ihmisiä, operointivaiheessa työpaikkoja esimerkiksi 1-2 henkilöä/Mw_e

Datakeskuksen kustannusrakenne

- Datakeskuksen käyttökustannuksesta yli puolet tulee palvelinkorteista. Korttien taloudellinen elinikä on ~3 vuotta
- Sähkön osuus operointikustannuksesta on vain ~10-20 %.
- Teknisesti datakeskus on joustava kuorma, mutta teknistaloudellisuus tekee siitä joustamattoman kuorman



Kuva. Datakeskuksen esimerkkiluonteinen kustannusrakenne. Palvelinten pitoaika 3 a ja muun infran 15 a, korko 5 %.

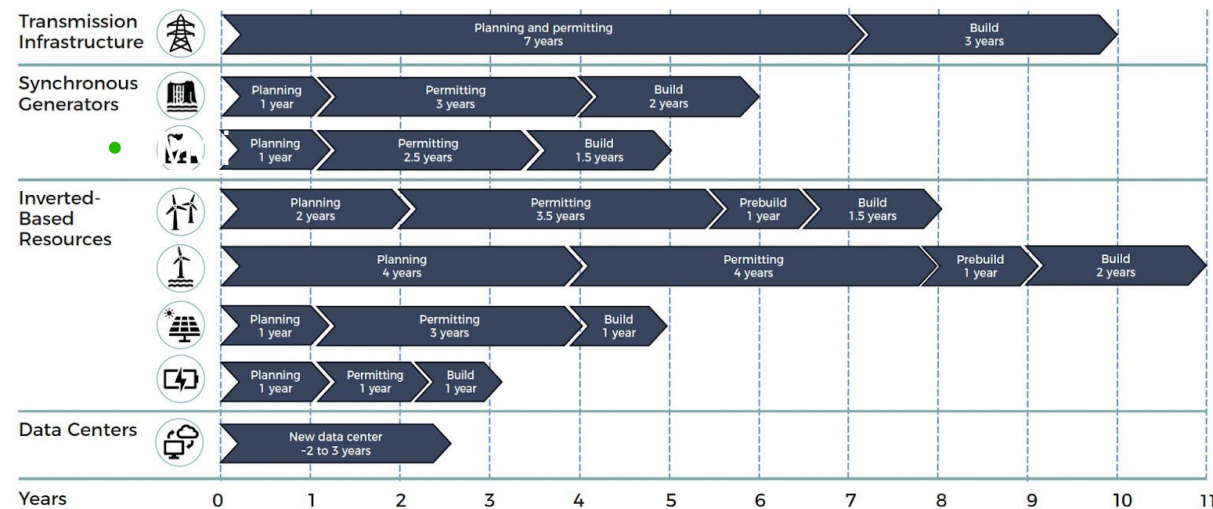
Sources:

- Cost of Power in Large-Scale Data Centers, <https://perspectives.mvdirona.com/2008/11/cost-of-power-in-large-scale-data-centers/>

Markkinoille pääsyaika (time-to-market) on nykyisissä datakeskushankkeissa keskeinen kilpailukytekijä

- Miten nopeasti ja millä tavoin saadaan toimitusvarma 24/7 sähköenergia hankkeelle?
- Esimerkiksi USA:ssa rakennetaan off-grid –kaasuturbiinilaitoksia datakeskuksen yhteyteen -> sähköverkko tulee myöhemmin
- Suomessa tällä tavoin voitaisiin mahdollisesti toteuttaa sääriippumatonta joustokapasiteettia, miten saataisiin tämä markkinalla?

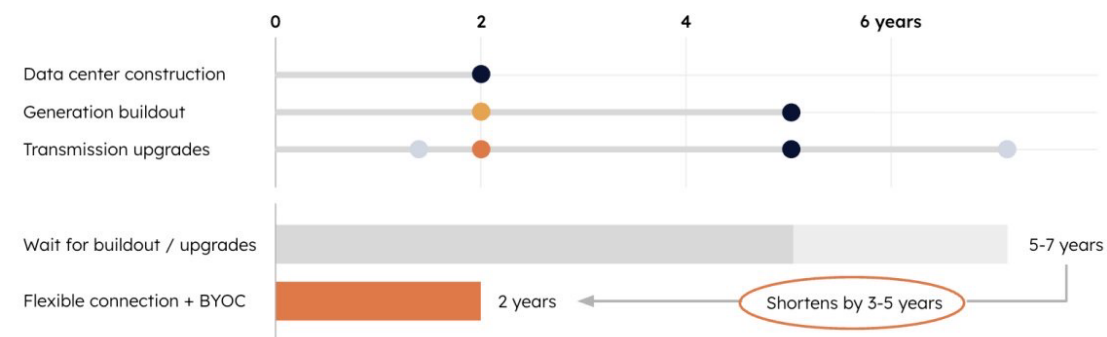
FIGURE 1.4. Illustrative Time to Market for Various Grid Projects



Timelines for grid infrastructure are not aligned with those for large load development, creating bottlenecks for grid supply of electricity. SOURCE: ADAPTED FROM S&P GLOBAL

Flexible connection and bring your own capacity (BYOC) shorten the wait for a data center grid connection by 3-5 years

● Low/High ● Normal case ● BYOC ● Flexible connection



Normal and high cases assume major transmission upgrades (e.g. new 230 kV or higher lines, significant reconductoring of lines) are required. Low case assumes extension of MV transmission and/or development of a new or retrofitted substation. Normal case for generation buildout assumes a new generation resource must navigate the PJM interconnection queue (start to finish).

Sources: U.S. Department of Energy Transmission Impact Assessment, Bloomberg, primary industry interviews

Datakeskussähkö voidaan tehdä myös uusiutuvilla (off-grid)

Arabiemiraateissa: 1 GW perusvoimaa 5.2 GW aurinkovoimalan ja 19 GWh akuston avulla

UAE launches world's first 24/7 solar PV battery storage gigascale project

The facility will deliver up to 1GW of baseload power daily, generated from renewable energy sources.

January 15, 2025

Share

Baseload electricity supply
cost ~50-70 €/MWh



The initiative positions the UAE as a leader in renewable energy deployment. Credit: PRnewswire/Masdar.

The United Arab Emirates (UAE) has launched the world's first large-scale round-the-clock gigascale energy storage project in Abu Dhabi, combining solar power and battery storage in a significant development for the country's energy sector.

Source: <https://www.energymonitor.ai/news/uae-24-7-solar-pv-battery-storage/>

China's CGN New Energy announces winning bidders in 10 GWh BESS tender

The procurement exercise has attracted 50 battery energy storage companies but only seven have emerged as winners. The lowest bid stood at CNY 0.458/Wh (\$63/kWh).



By Marija Maisch | Jan 15, 2025

Battery energy storage
cost 63 €/kWh

Markets

Supply chain

Tenders

2



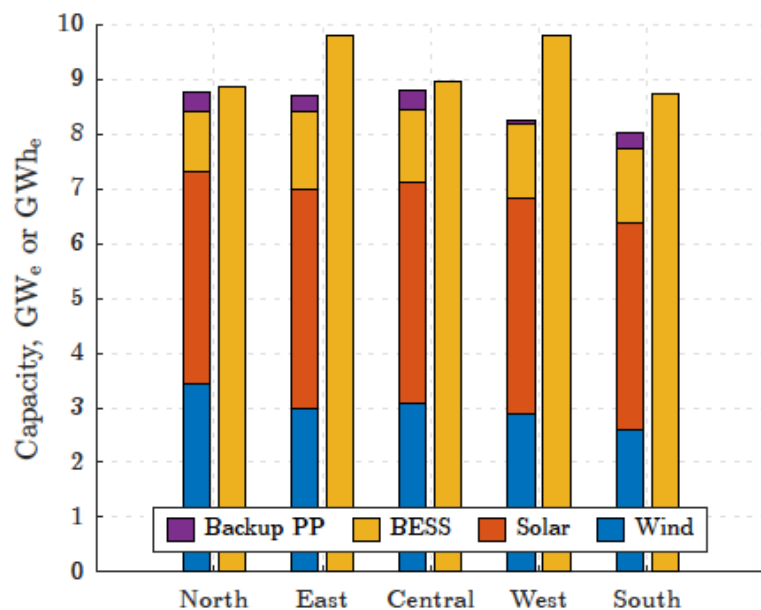
Image: Canadian Solar

Source: <https://www.ess-news.com/2025/01/15/chinas-cgn-new-energy-announces-winning-bidders-in-10-gwh-bess-tender/>

LUT-tutkimus: 1 GW uusiutuvan perusvoiman tuottaminen datakeskukselle Suomessa

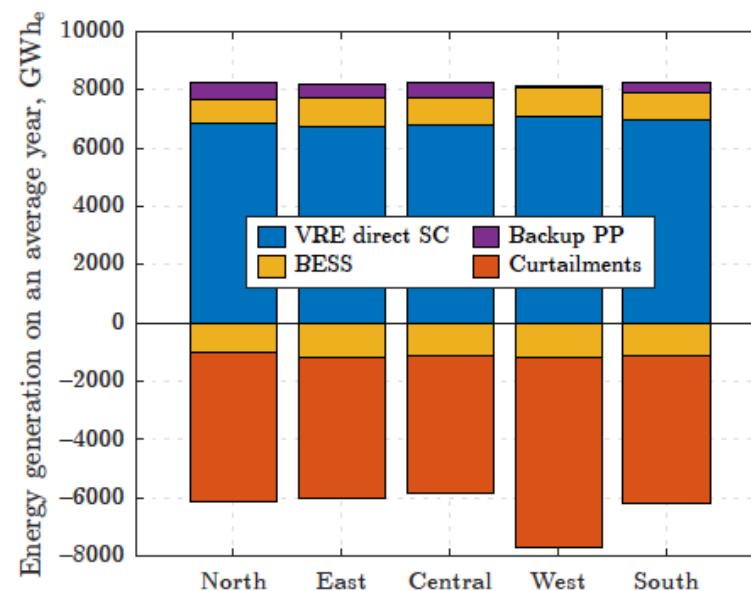
- Perusvoiman tuotantokustannus 79–103 €/MWh (8000 h/a), 105–120 €/MWh (8560 h/a), korko 6 %.
- Perusvoimalaitos, jota esimerkiksi datakeskus tarvitsee, koostuu tuulivoimalasta, aurinkovoimalasta, akustosta ja moottorivoimalasta.
- Tuottaa 1 GW perusvoimaa 8000 h/a, optimointi perustuu 10 vuoden tuntikohtaiseen aurinko- ja tuulidataan.

Component capacities



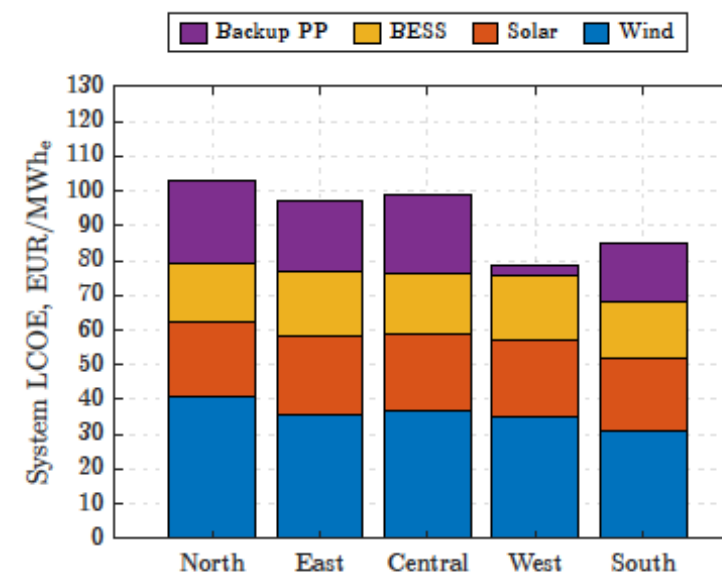
(b) FLH8000

Electricity generation



(b) FLH8000

Cost of electricity



(b) FLH8000

LUT-tutkimus: Akunvaihdon ja megawattitasoisen latauksen kilpailukyky raskaassa liikenteessä dieseliin verrattuna

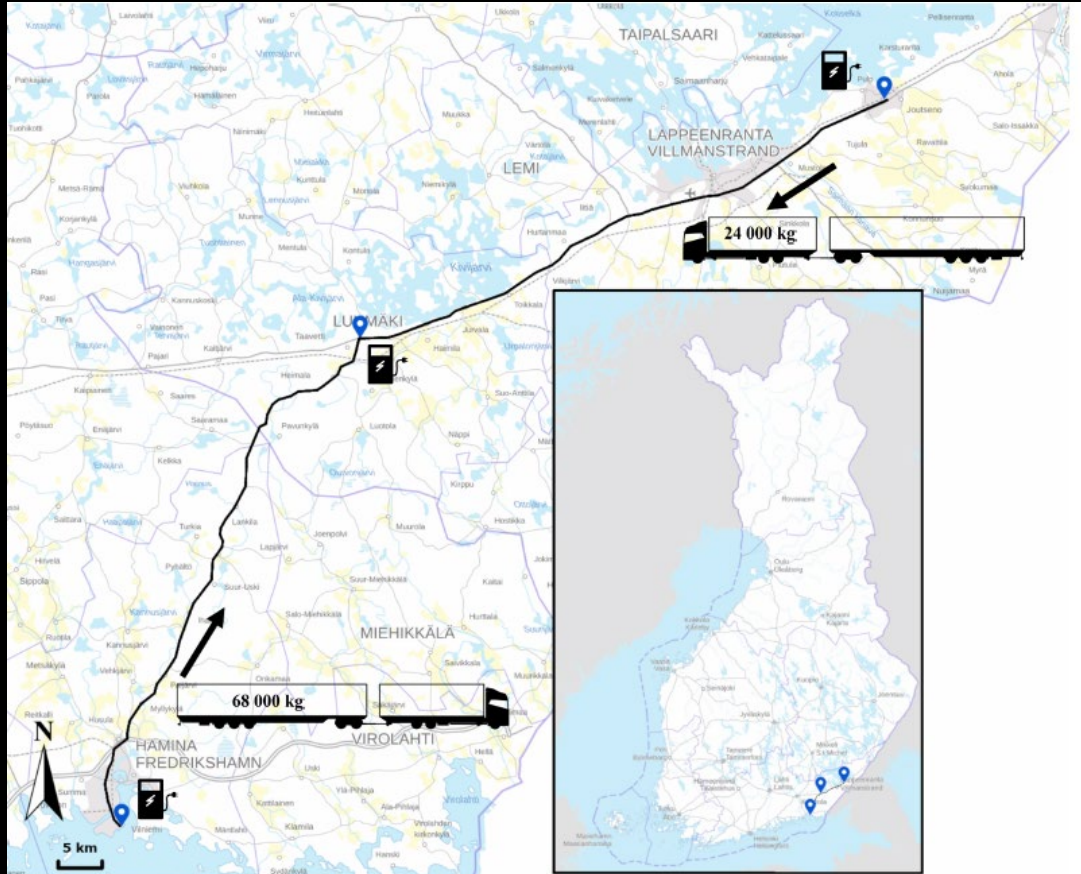


Fig. 2: Route of the case study. Possible charging station locations marked with charging station icon. Background map (raster) contains data from the National Land Survey of Finland Topographic Database 04/2024 [46]

Source:., Esa Tuviala, Altti Meriläinen, Teemu Hiltunen, Tuomo Lindh, Pertti Kauranen, Jero Ahola, Cost-optimization of battery electric heavy-duty vehicles from Nordic perspective: comparative cost-analysis of two separate charging solutions, Energy, 2025

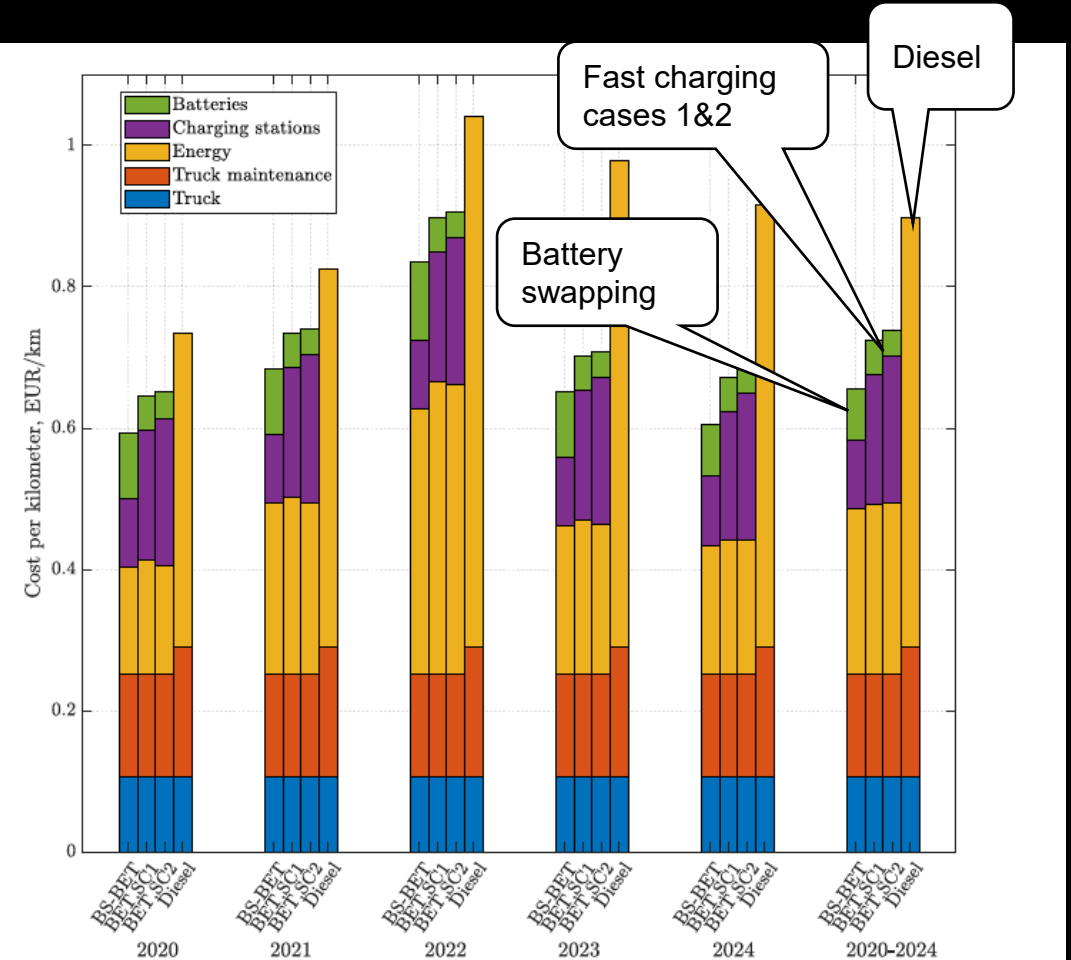


Fig. 4: Cost components for different scenarios with interest rate of 6 %. BS-BET refers to battery swapping, BET, SC1 to scenario one and BET, SC2 to scenario two.

In Finland, trucks account for 3.5% of the total vehicle fleet and contribute over 16% of greenhouse gas emissions from transportation.

Vihreään vetyyn perustuvat teolliset investoinnit

Suurin sähkön käyttöpotentialiaali on vetyyn perustavassa teollisuudessa

- Toteutumisen ehtona edullinen ja puhdas sähkö -> kulutus joustaa tuotannon mukaan ja/tai vetyä varastoidaan
- Sähkö, vety-, ja kaukolämpöinfrastruktuuri tukevat toisiansa mahdollistaen kulutuksen jouston
- Proteiinit, globaali markkina jo olemassa
- Hiilineutraali teräs -> päästökauppa tekee fossiilisesta teräksestä kannattamatonta
- Sekoitevelvoitteet luovat markkinan lento-, ja meriliikenteen polttoaineille -> regulaatoriski

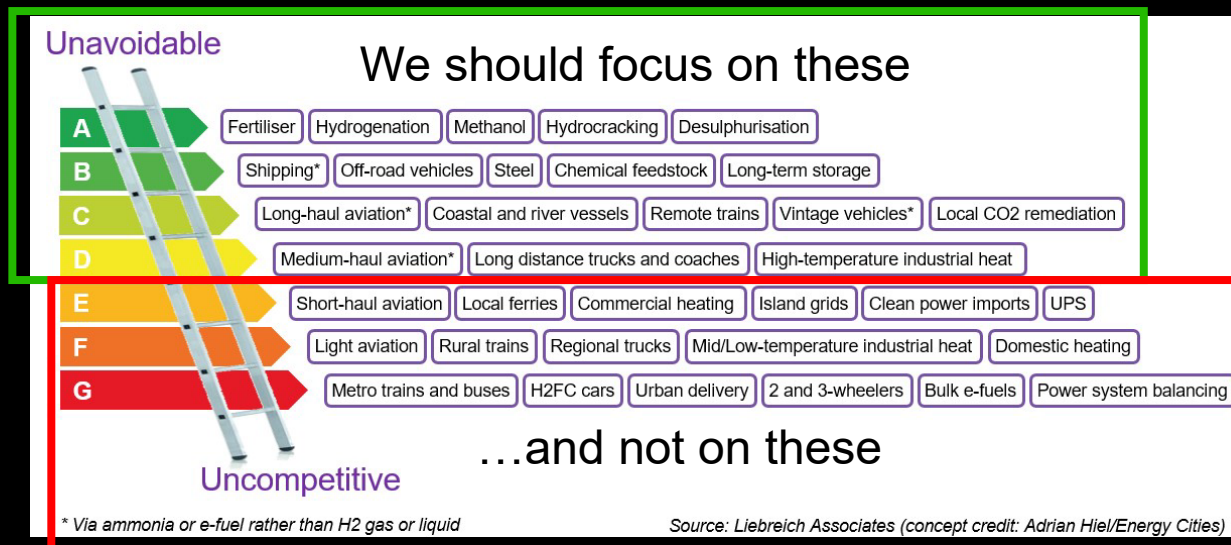
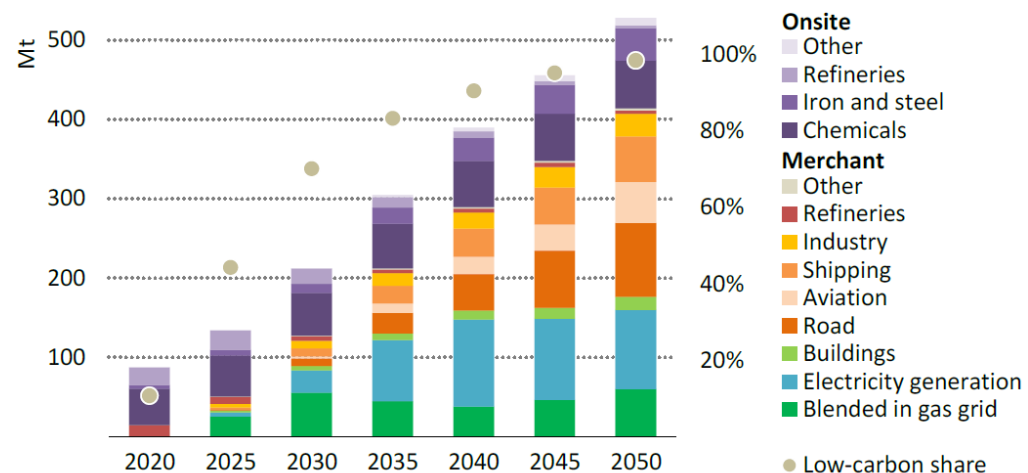


Figure 2.19 ▶ Global hydrogen and hydrogen-based fuel use in the NZE



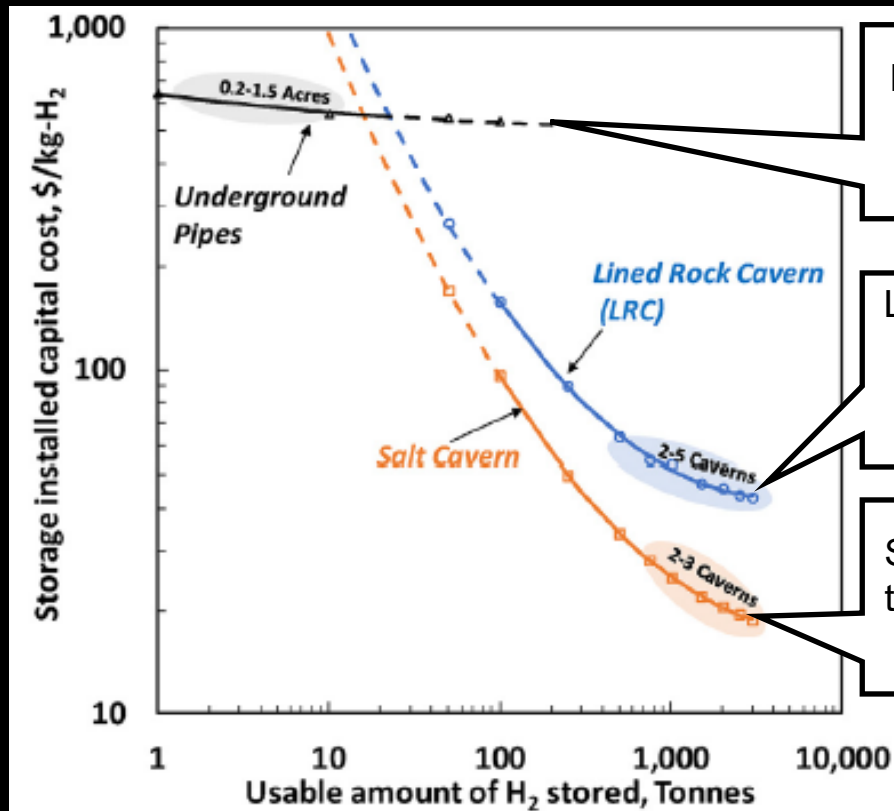
IEA. All rights reserved.

European objectives approved by the Parliament and the Council	AVIATION Incorporation rate of low-carbon fuels	MARITIME Carbon intensity reduction
2025	2%	2%
2030	6%	6%
2035	20%	14,5%
2040	34%	31%
2045	42%	62%
2050	70%	80%

Table 1: Decarbonisation trajectories for the aviation and maritime sectors, as adopted by the European Parliament and Council in 2023.

Source: IEA, Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021 : <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

Vetyvarastoja tarvitaan muuttamaan vaihteleva uusiutuva vedyn tuotanto peruskuormavedyn tuotannoksi. Teollisen mittakaavan vetyvaraston investointikustannus on ~1 % akkuvaraston investointikustannuksesta.

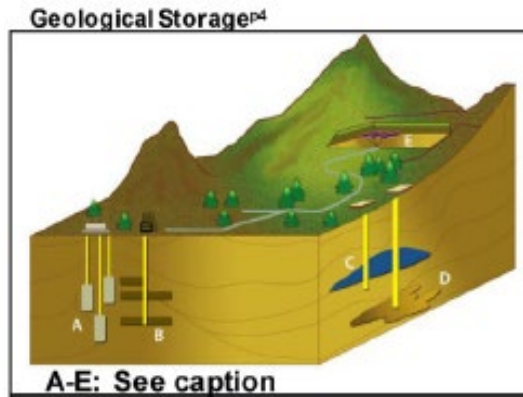


(a) Installed capital cost

Pipe storage 550
€/kgH₂ = 17
€/kWhH₂

Lined rock cavern
(3000 tH₂), 44
€/kgH₂ = 1.3
€/kWhH₂

Salt cavern (3000
tH₂), 17 €/kgH₂ =
0.5 €/kWhH₂



NG Pipe Storage, Erdgas, Switzerland^{p2}



Yhteenveto

- Suomessa on merkittävä potentiaali uusiutuvan sähkön tuotannon moninkertaistamiseen, joten ei ole tarpeen yrittää ”poimia rusinoita pullasta”
- Sähköjärjestelmän kannalta keskeisinä haasteina ovat sähköverkon kapasiteetin riittävyys sekä säädettävän sääriippumattoman sähköntuotantokapasiteetin puute.
- Datakeskushankkeet toteutuvat markkinaehtoisesti. Sähkön hinta tai sijainti eivät todennäköisesti ole rajoitteita, vaan tärkeämpää on taattu sähkön saatavuus ja projektin toteutuksen kesto (time-to-market).
- Myös lämmityksen sähköistäminen ja akkuvarastot toteutuvat nyt markkinaehtoisesti.
- Vetyyn perustuvissa hankkeissa on suurin potentiaali sähköenergian käytön lisäämisessä. Suurin osa näistä hankkeista on sääntelyn ohjaamia (ETS, sekoitevelvoitteet). Ne tarvitsevat edullista sähköä, minkä vuoksi ne myös joustavat uusiutuvan sähkön tuotannon mukaan.
- Suurissa teollisissa sähköä käyttävissä investoinneissa tullaan todennäköisesti näkemään ratkaisuja, joissa kulutus sijoittuu sähköntuotannon läheisyyteen.



 LUT is one of the world's

TOP 10 UNIVERSITIES

in terms of climate actions – SDG 13

The Times Higher Education Impact Rankings 2021 assess the social and economic impact of universities against the UN's Sustainable Development Goals.

