

Systeminen näkökulma energiasiirtymään

Prof. Peter Lund
Aalto-yliopisto

peter.lund@aalto.fi



Aalto University
School of Science

Miltä näyttää tulevaisuuden energiantuotanto?

Suomalaisen Tiedeakatemian teemailta, 14.11.2022

Ongelman kehystäminen vaikuttaa ratkaisumalleihin

- Minkä tekijöiden & kysymysten suhteen tarkastellaan ongelmaa ja haetaan ratkaisuja?
- Monia erilaisia tapoja 'kehystää' energia-ilmastokysymyksiä
- Kehystäminen priorisoi arvoja ja muita tekijöitä, jotka muokkaavat ratkaisuja
- Poliittiset, taloudelliset, yms. mieltymykset vaikuttavat kehystämiseen antaen erilaisia ratkaisuja

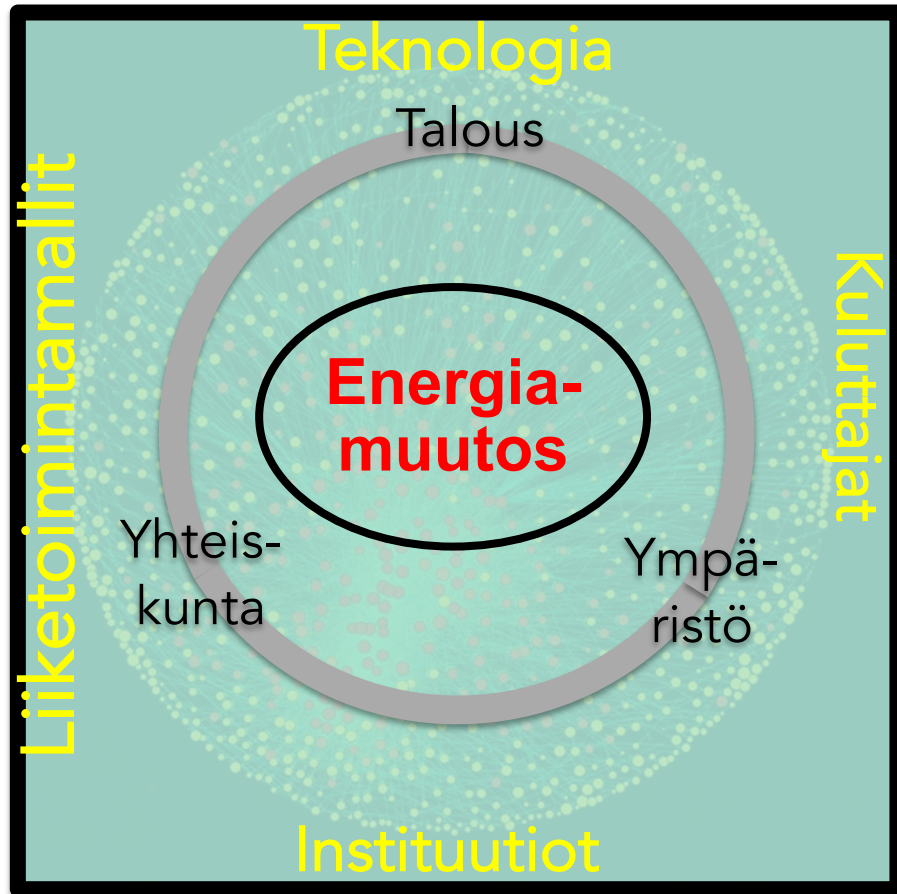
Lähde: Sun-Jin Yun, John Byrne, Lucy Baker, Patrick Bond, Goetz Kaufmann, Hans-Jochen Luhmann, Peter Lund, Joan Martinez-Alier, and Fuqiang Yang. 2018. Energy and Climate Change. In: Rethinking Environmentalism: Linking Justice, Sustainability, and Diversity, ed. S. Lele, E. S. Brondizio, J. Byrne, G. M. Mace, and J. Martinez-Alier. Strüngmann Forum Reports, vol. 23, J. Lupp, series editor. Cambridge, MA: MIT Press, 2018 ISBN 9780262038966.

Energiasiiirtymän kehystäminen

Energiasiiirtymässä ei ole kyse vain teknologian muutoksesta, vaan myös suurista yhteiskunnallisista muutoksista !

Kolme keskenään vuorovaikuttavaa 'järjestelmätasoa' vaikuttavat muutoksen lopputulokseen

Energiajärjestelmällä on omat erityispiirteensä



Teknis-
taloudellinen

Sosio-
tekninen

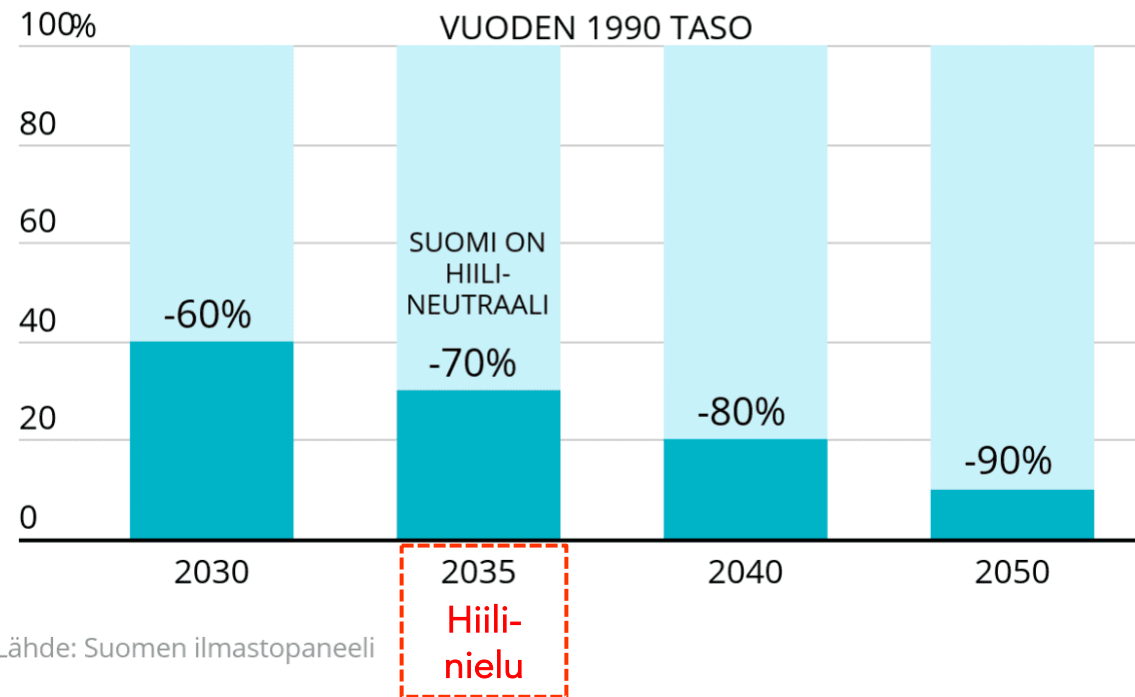
Poliittiset
toimet

- Useita toimijoita
- Useita teknologioita
- Verkottuminen
- Itseorganisointi
- Polkurippuvuus
- Oppiminen
- Sopeutuminen
- ...

Renewable & Sustainable Energy
Reviews 101 (2019) 440-452

Suomi on pyrkimässä hiilineutraaliuteen jo 2035

Vuoden 1990 tasoon nähden päästöt tulisi vähentää seuraavasti



Hallituksen keskeiset ilmastohankkeet:

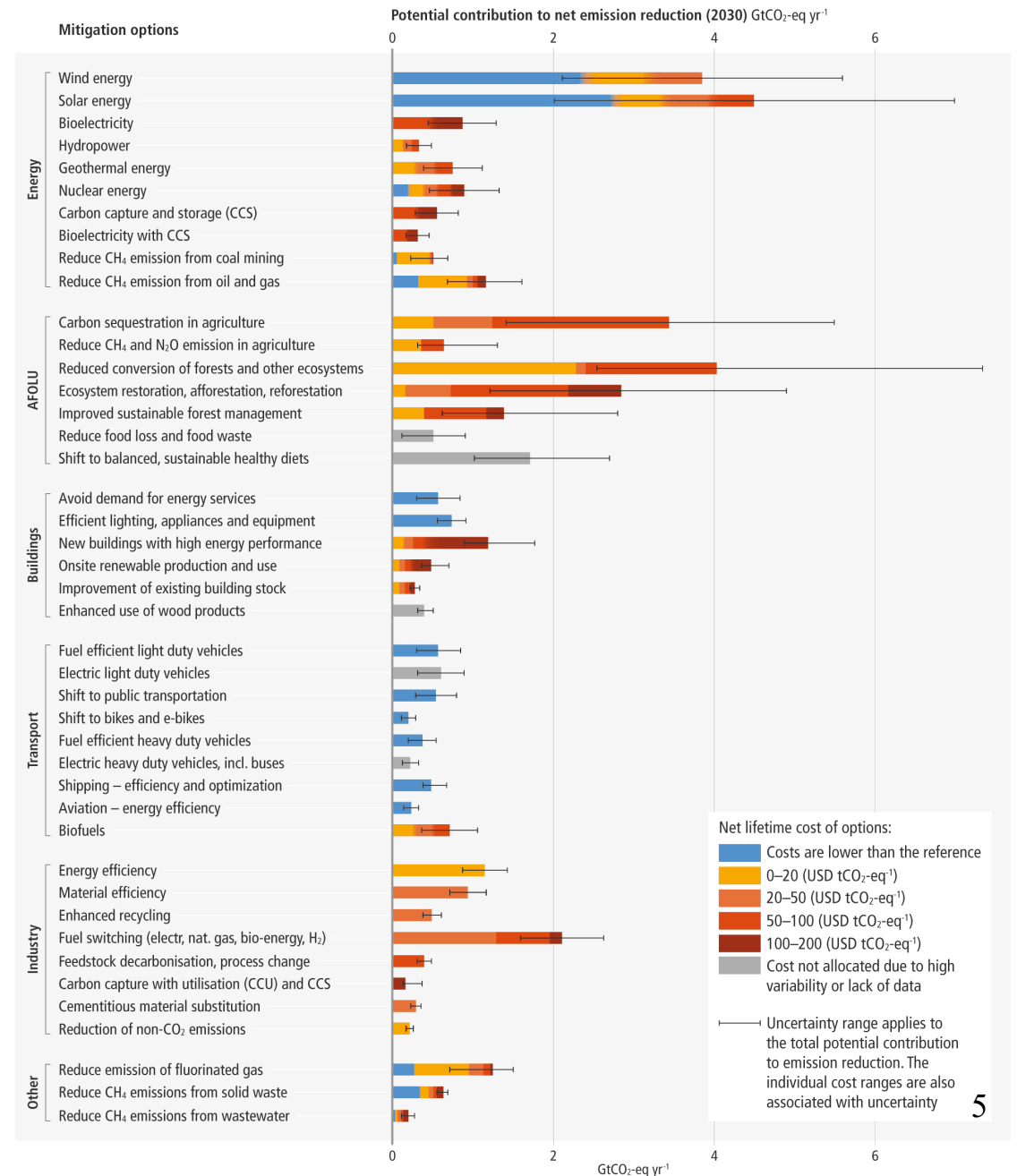
- Ilmastolaki
- Energia- ja ilmastostrategia
- Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma
- Maankäyttösektorin ilmasto-ohjelma
- Toimialakohtaiset vähähiilitiekartat
- Tiekartta fossiilittomaan liikenteeseen
- Vähähiilisen rakentamisen tiekartta
- ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategia
- Ilmatoruokaohjelma
- Helmi-ohjelma
- Kestävän verotuksen tiekartta
- Energiaverotuksen uudistus
- Kestävän liikenteen vero- ja maksu-uudistus
- Ilmastopoliitiikan pyöreä pöytä
- Kiertotalouden strateginen ohjelma
- Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistus
- Puurakentamisen ohjelma
- Öljylämmityksestä luopuminen

- Nettopäästöt = 0 vuonna 2035
- Negatiiviset päästöt 2035 eteenpäin

Eri ratkaisujen merkitys globaalien päästöjen leikkaamisessa kustannustehokkuuden mukaan (2030)

Lähde: IPCC 2022

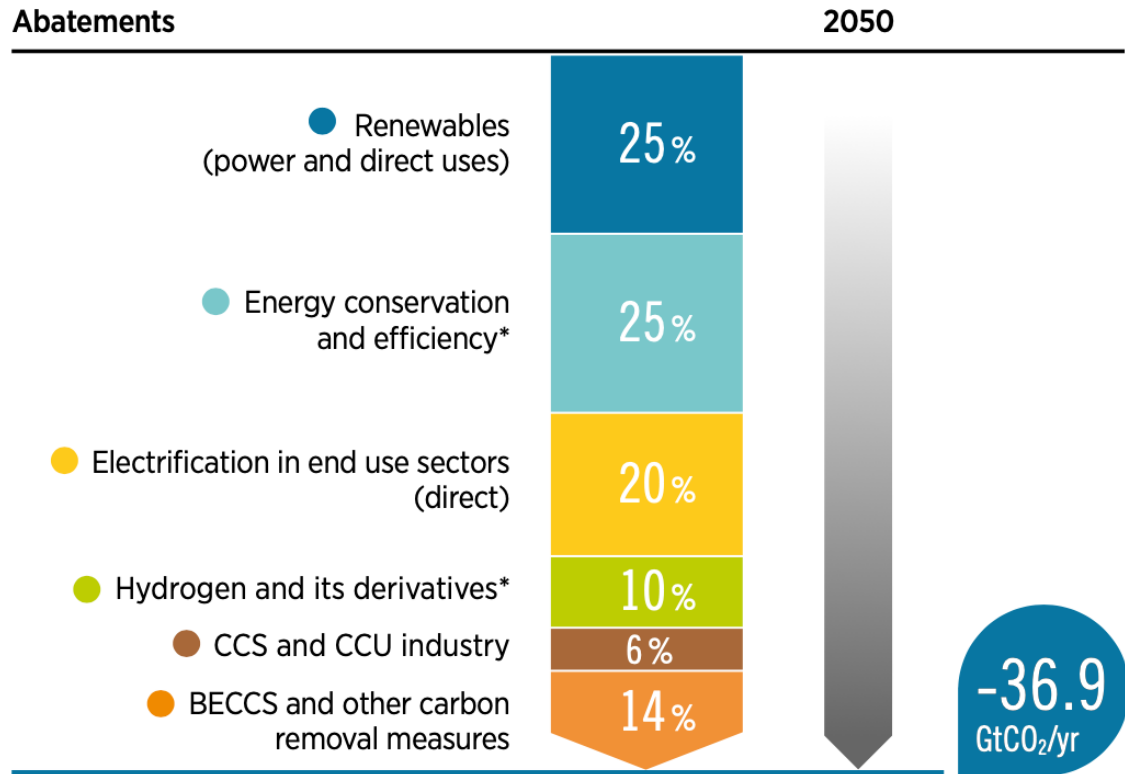
Many options available now in all sectors are estimated to offer substantial potential to reduce net emissions by 2030. Relative potentials and costs will vary across countries and in the longer term compared to 2030.



Uudet teknologiat globaalissa energiamuutoksessa

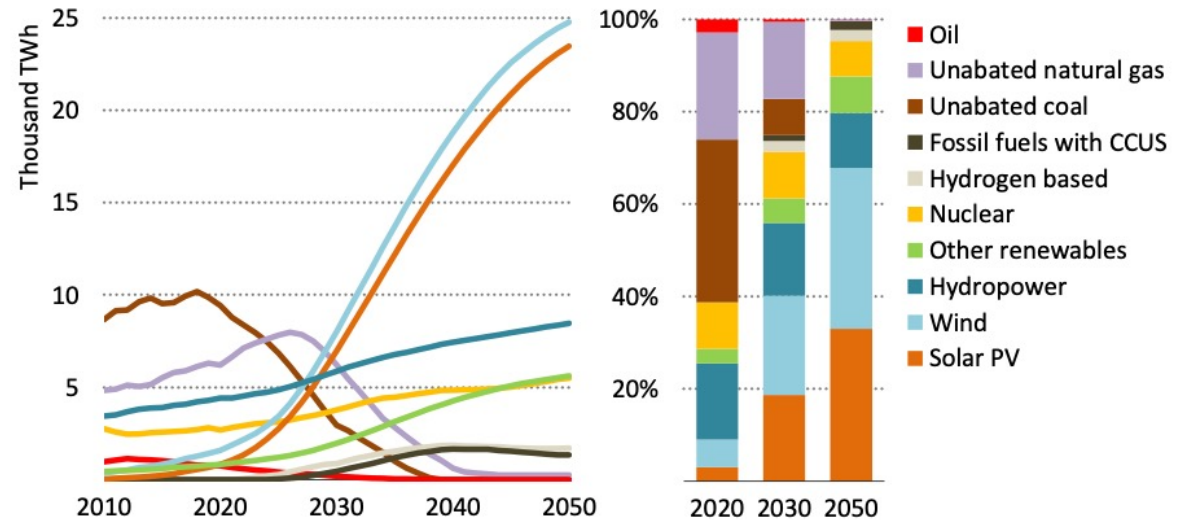
- ① Energiantuotannon ja -käytön sähköistyminen
- ② Sähköstä ja lämmöstä päästötöntä
- ③ Rakennuksista päästöttömiä

FIGURE S.4 Carbon emissions abatements under the 1.5°C Scenario (%)



Source: IRENA, 2021

Figure 3.10 ▶ Global electricity generation by source in the NZE

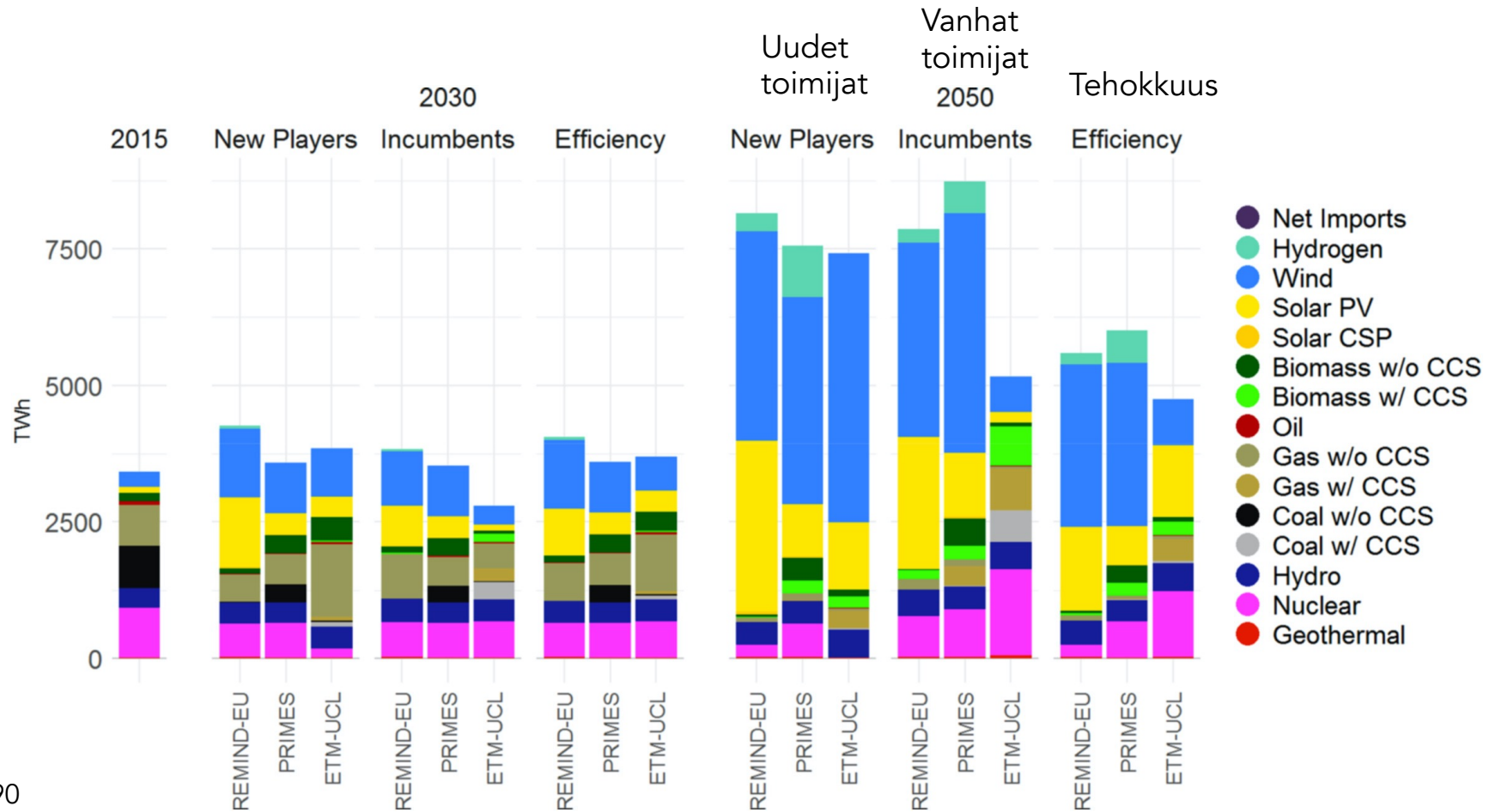


IEA. All rights reserved.

Solar and wind power race ahead, raising the share of renewables in total generation from 29% in 2020 to nearly 90% in 2050, complemented by nuclear, hydrogen and CCUS

Source: Net Zero by 2050. International Energy Agency, May 2021

EU:n sähkön tuotannon skenaarioita vuoteen 2050



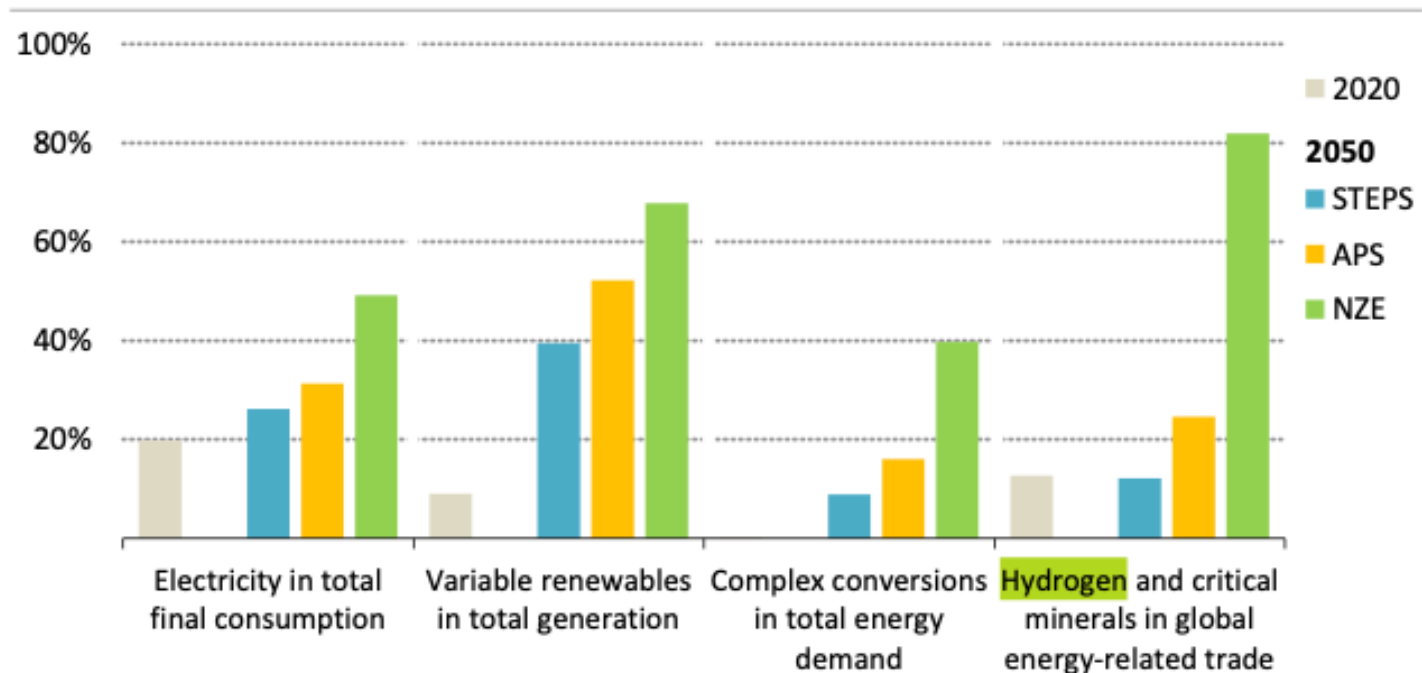
Ref. Energy 239 (2022) 12190
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121908>

EU-Innopath projekti

REMIND= global multi-regional energy-economy-climate model
 PRIMES=simulates the energy system of all EU Member States
 European TIMES Model (ETM-UCL)= minimises total discounted system costs; technology-rich, bottom-up model

Energiasiiirtymän monimutkaisuus

Figure 1.23 ▶ Key indicators of energy system change by scenario



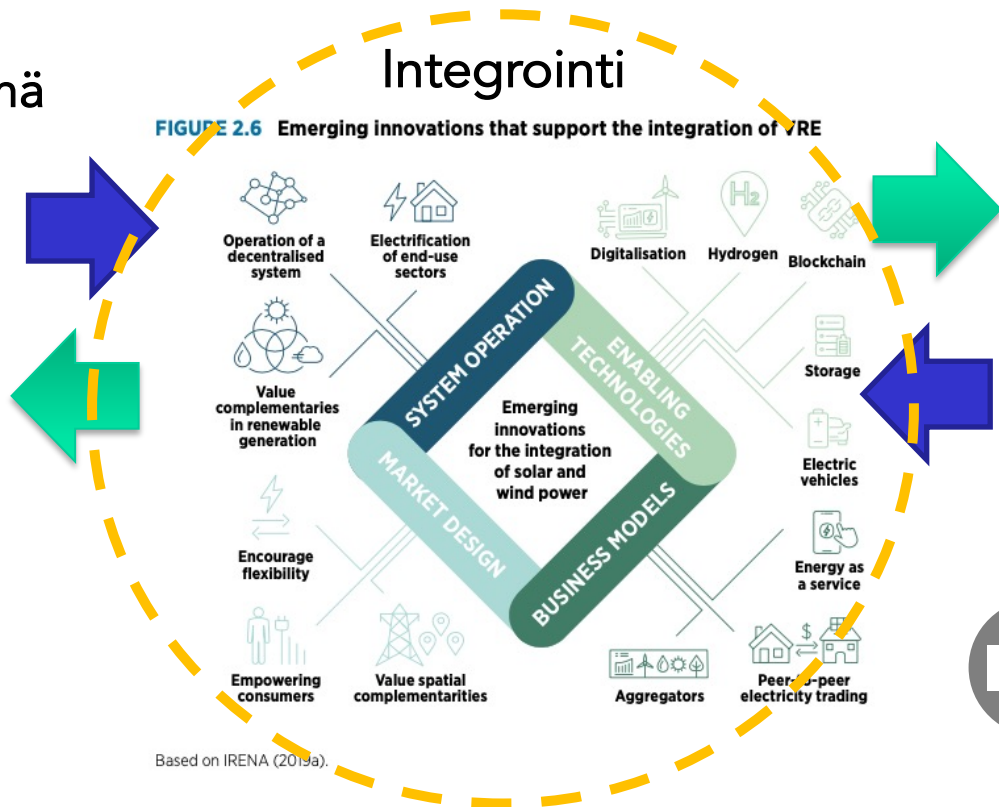
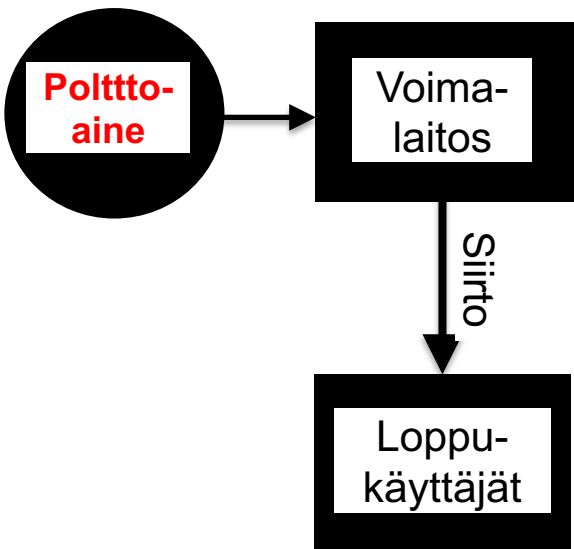
IEA. All rights reserved.

New energy security challenges arise in systems increasingly reliant on electricity, low-carbon technologies, higher levels of supply variability and more complex conversions

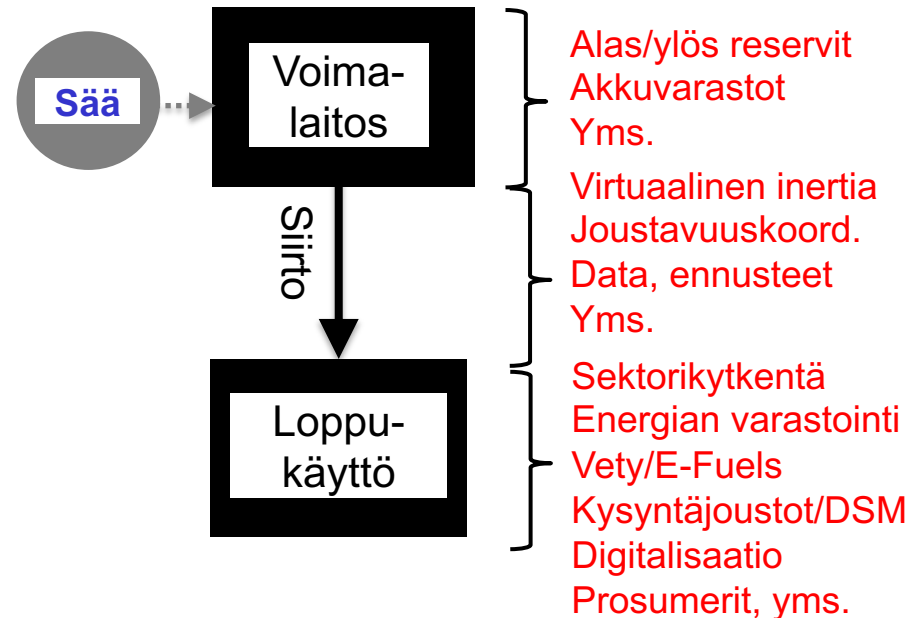
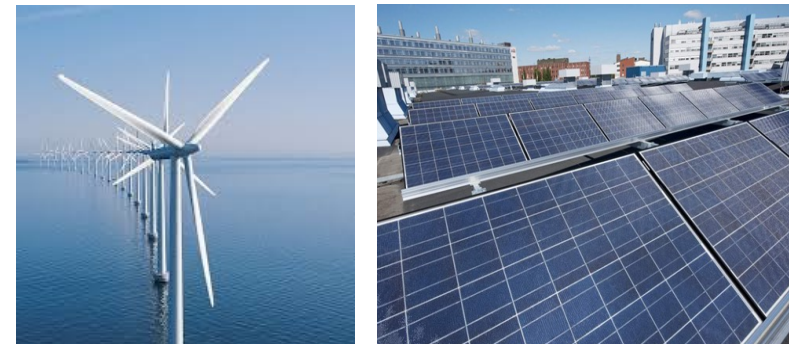
Note: Complex conversions are a primary energy source that has undergone two or more conversions before being delivered to end-users. It includes roundtrip battery storage.

Energiajärjestelmän hallinta siirtymässä

Polttoainepohjainen keskitetty energiajärjestelmä

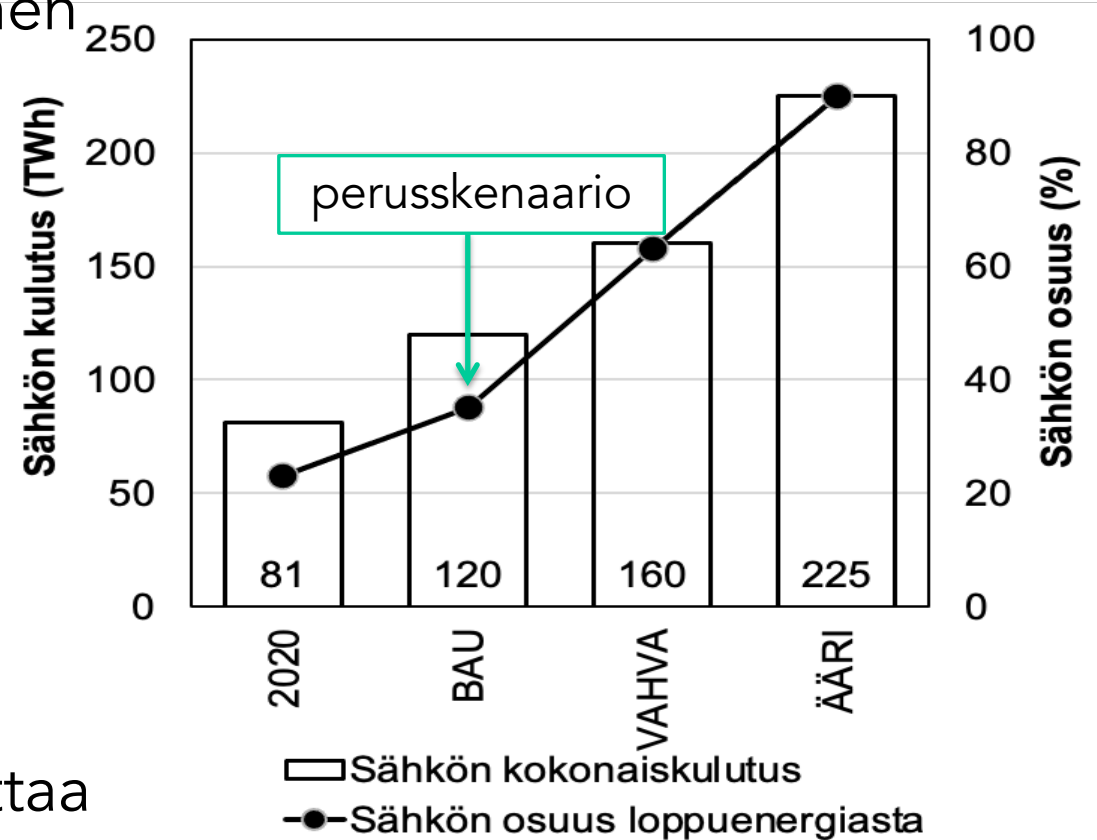


Sääriippuvainen, datapohjainen hajautettu järjestelmä



Miten sähkön kulutus muuttuu Suomessa?

- Energiajärjestelmä vuonna 2050, jolloin Suomen pitäisi olla hiilinegatiivinen
- Sähkön tarve voi yli kaksinkertaistua; kulutus muuttuu sää (lämmitys) ja aikariippuvaksi (liikenne) tuotannosta riippumatta
- Sähkön huippukulutus/tehohippu kasvaa
- Energiankäytön tehostamisella voidaan vaikuttaa sähköntarpeeseen ja -huippuihin.



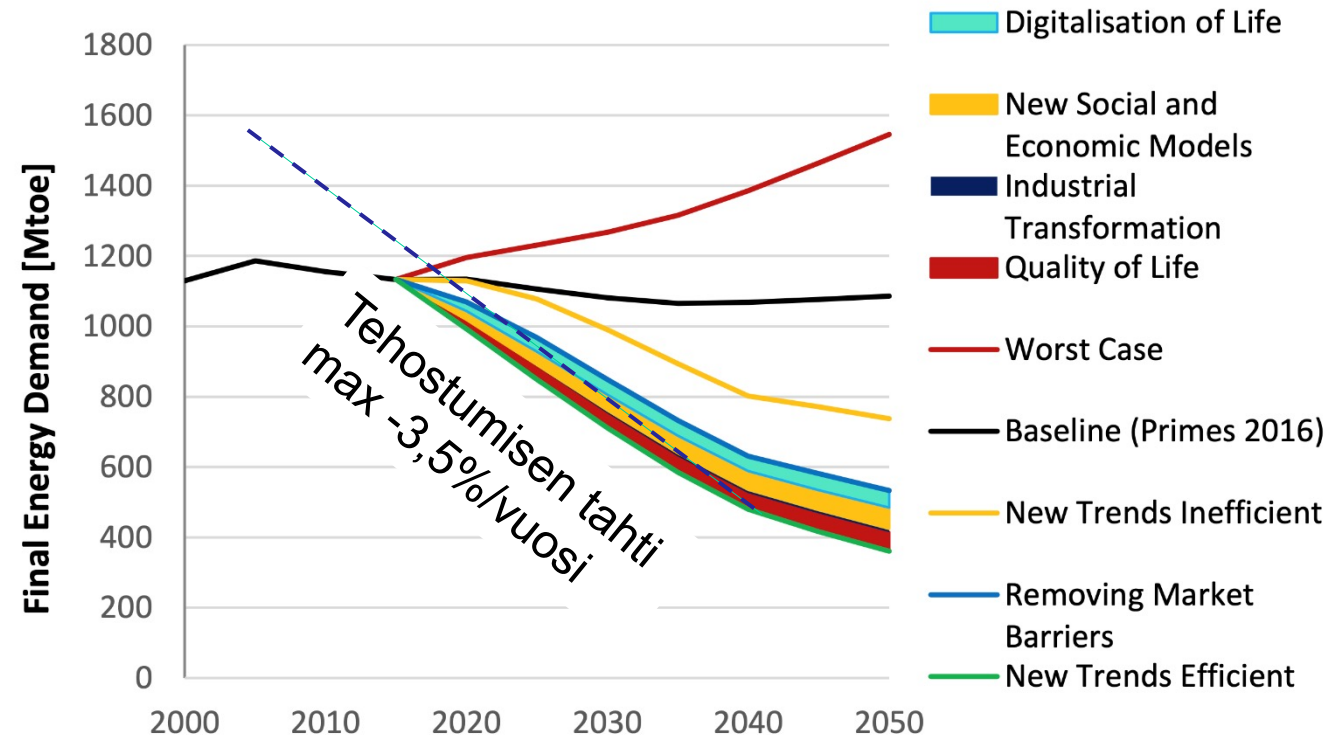
Arvioita sähkönkulutuksesta ja sen osuudesta kokonaisenergiankulutuksesta eri sähköistämistapauksissa vuonna 2050.

Lähde: Sähköistämisen vaikutuksia ja mahdollisuuksia Suomen energiajärjestelmässä – skenaariotarkasteluja. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2022.

Energian säästö ja tehostaminen EU:ssa

- Energian käytön tehostaminen vähensi EU:n primäärienergian tarvetta 30% 1990-2016
- Trendit mm. digitalisaatio, jakamistalous, kuluttajien tietoisuus vaikuttavat energiatehokkuuteen
- **Rakennetussa ympäristössä paljon potentiaalia**
 - Lämmitys on suurin energian kulutuksen kohde, puolet kaikesta loppuenergiasta
 - Systemitason ratkaisut (rakennus kokonaisuutena); energiatehokkuus korjausrakentamisessa
- Sähköistämisen kautta mahdollisuuksia
- Uudet alueet (esim. ruoka)
- **MUTTA: Merkittävä pudotus loppuenergiassa edellyttää vahvoja politiikkatoimia**

Loppuenergian kulutus : -67% tai +40% vuoteen 2050



EU:n loppuenergian kulutus skenaariossa PRIMES-mallilla (Brugger et al., 2021)

Quantum computing could bring about step changes throughout the economy that would have a huge impact on carbon abatement and carbon removal.

Visualizing postquantum climate action



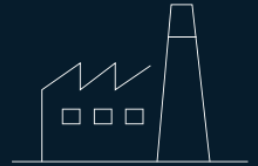
Reform food and forestry

- Green fertilizers
- Methane-reducing vaccines for ruminants



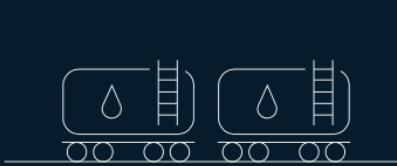
Electrify our lives

- Higher-density electric batteries for heavy-goods electric vehicles
- Higher-density electric batteries for energy storage



Reshape industrial operations

- Zero-carbon cement clinkers
- New carbon-capture utilization and storage (CCUS) solvents



Decarbonize power and fuel

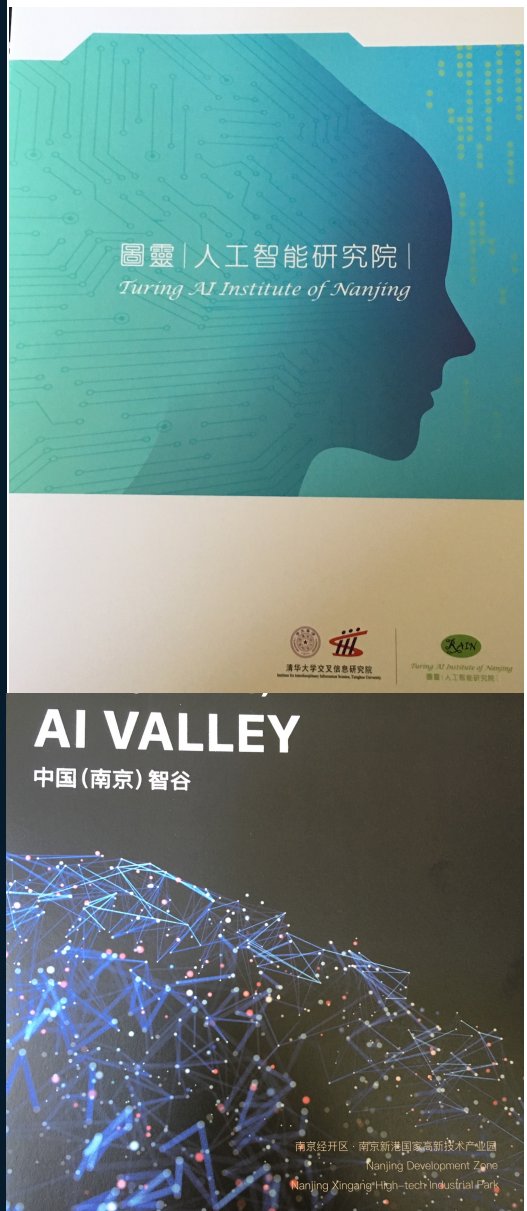
- CO₂ chemistry improvements for synfuels
- Better polymer electrolyte membrane and pulse electrolysis in H₂ generation
- More efficient perovskites for solar
- FeMo cofactor for green ammonia
- Green ammonia for shipping



Ramp up carbon markets

- New direct-air capture (DAC) adsorbents

Digitalisaatio 2.0



Materiaalien tarve siirtymässä

A BREAKDOWN OF THE CRITICAL METALS IN A SMARTPHONE

Some vital metals used to build these devices are considered at risk due to geological scarcity, geopolitical issues or trade policy. This infographic details the critical metals that you carry in your pocket.

TOUCH SCREEN
It contains a thin layer of **indium tin oxide**, highly conductive and transparent, allowing the screen to function as a touch screen.

DISPLAY
The display contains several **rare earth elements**. Small quantities are used to produce the colors on the liquid crystal display. Some give the screen its glow.

MICROPHONE, SPEAKERS, VIBRATION UNIT
Nickel is used in the microphone diaphragm (that vibrates in response to sound waves). Alloys containing **neodymium**, **praseodymium** and **gadolinium** are used in the magnets contained in the speaker and microphone. **Neodymium**, **terbium** and **dysprosium** are used in the vibration unit.

ELECTRONICS
Nickel is used in electrical connections. **Gallium** is used in semiconductors. **Tantalum** is the major component of micro capacitors, used for filtering and frequency tuning.

CASING
Nickel reduces electromagnetic interference. **Magnesium** alloys are superior at electromagnetic interference (EMI) shielding.

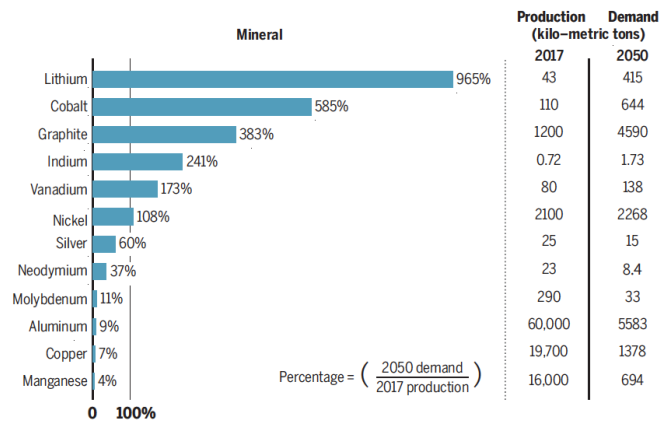
BATTERY
The majority of smartphones use **lithium-ion** batteries.

Source: University of Birmingham

The Earth's natural resources power our everyday lives. VC Elements breaks down the building blocks of the universe. We live in a material world.

ELEMENTS
elements.visualcapitalist.com

Growth in mineral needs for low-carbon energy technology



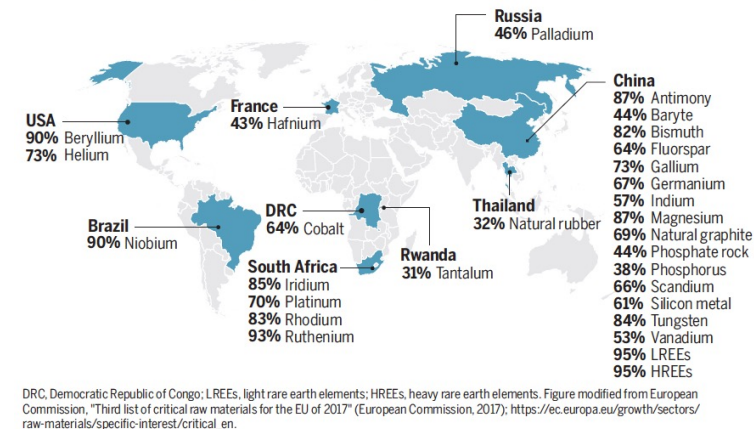
All production and demand data reflect annual values. 2017 data reflect annual production for all uses. 2050 data reflect estimated demand for only low-carbon energy technology uses. Data from (7).

Science (2020), 367 (6473), 30-33

Ratkaisuja 'niukkuuteen':

- Toimitusketjujen hallinta
- Teknologiaavainnukset
- Korvaavat materiaalit
- Metamateriaalit
- Prosessi/Materiaalitehokkuus
- Korkeampi tehotiheys
- Kierrättäminen
- Kiertotalous

Countries accounting for the largest share of critical raw materials

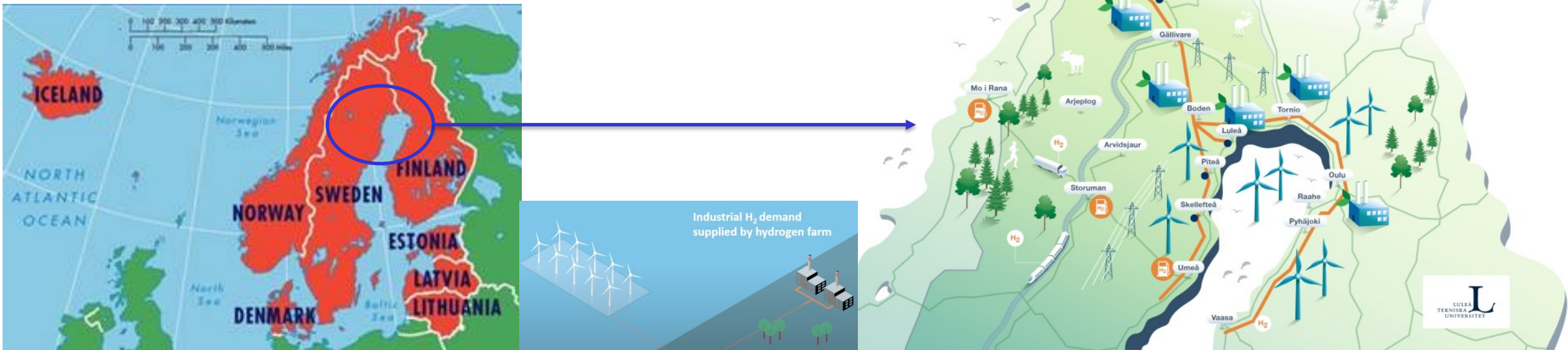


REF: NATURE COMMUNICATIONS | (2020)11:4570 | <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18402-y>

Kiertotalous:

- >50% eräistä metalleista kierrätetään (teräs, sinkki, platina) ja kattavat >25% EU:n kulutuksesta
- Monien muiden materiaalien kierrätys hyvin heikkoa, erityisesti high-tech tuotteissa tarvittavat (mm. harvinaiset maametallit, indium, gallium)

Vety - Nordic Hydrogen Route



Nordic Hydrogen Route

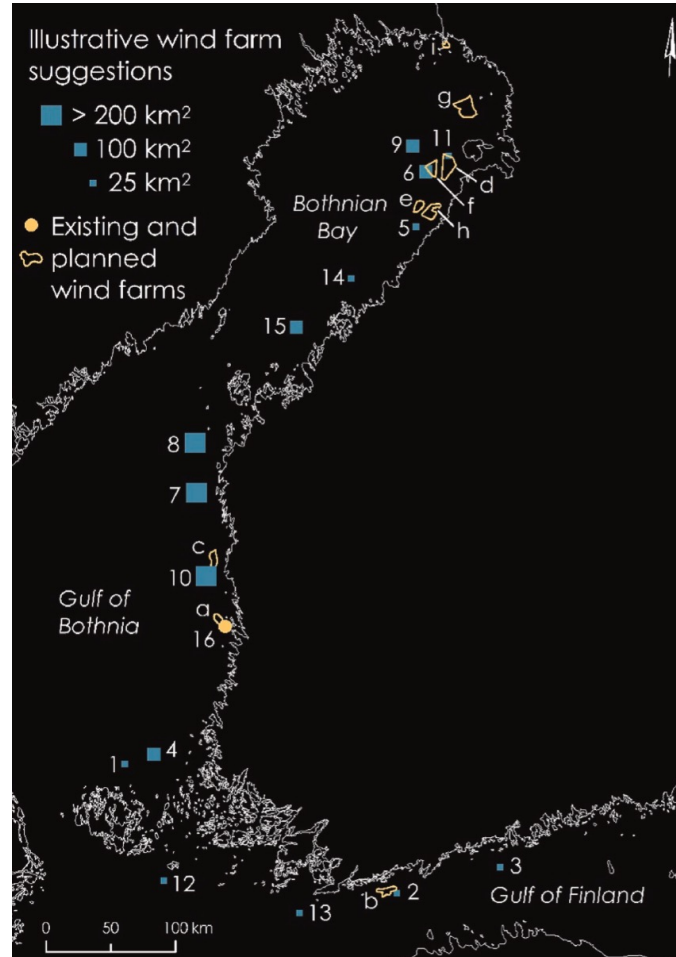
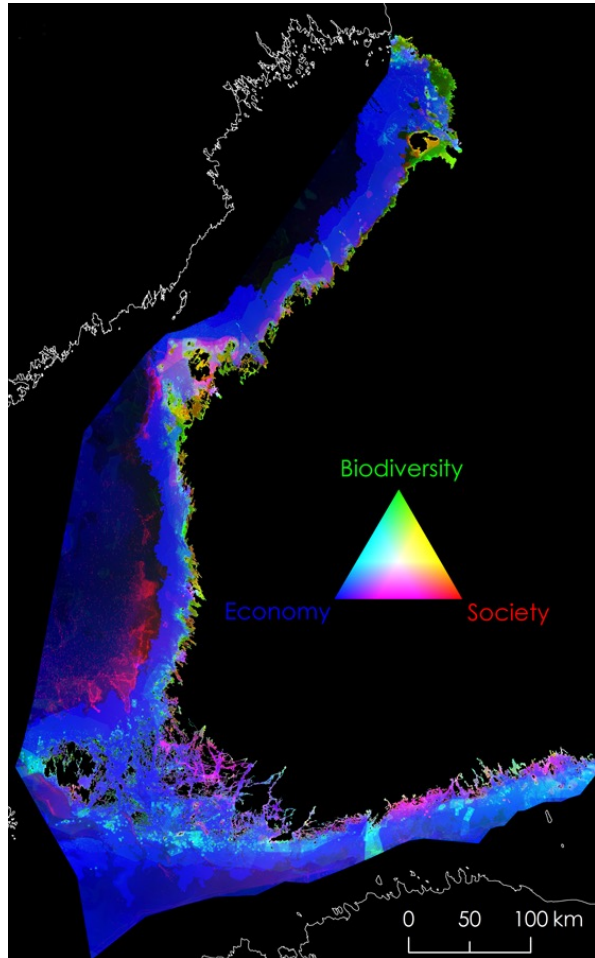
- 1000 km of H₂-pipelines (yellow.)
- Cost of transport 0.1-0.2 €/kgH₂
- 65 TWh H₂/year by 2050
 - 28 GW off-shore wind 2030, 48 GW in 2040

Hydrogen production and use

- Electrolytic H₂, biogenic H₂ ?
- Iron and steel, process and chemical industries

<https://nordichydrogenroute.com/fi/hanke/>

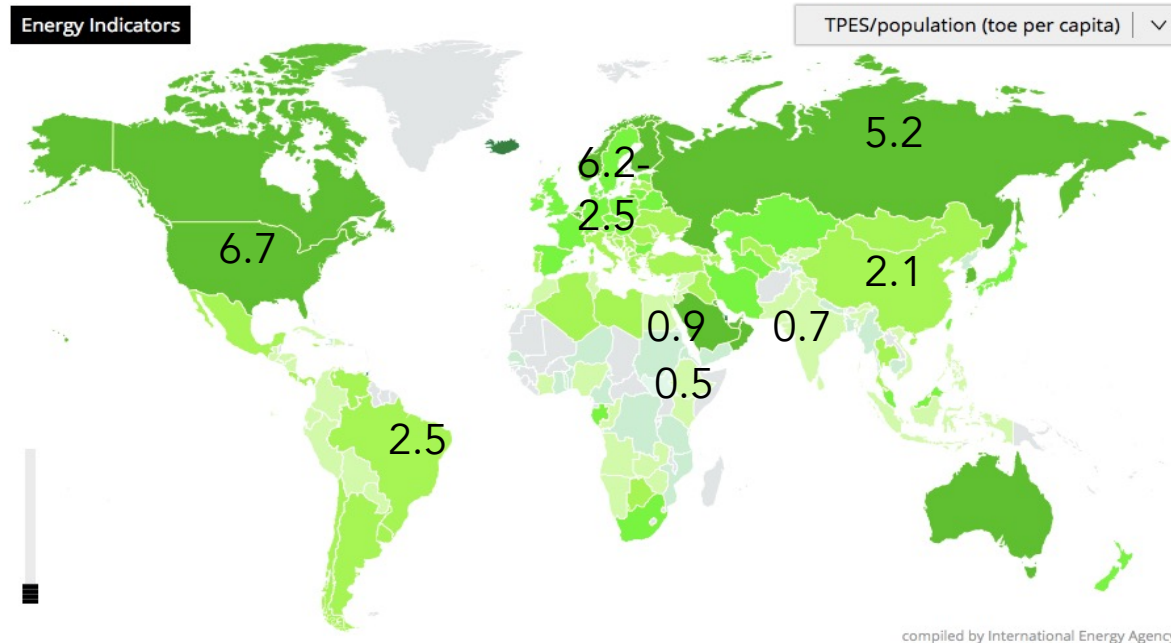
Tasapaino talouden, ympäristön ja sosiaalisten vaikutusten välillä: Case merituulivoiman sijoittelu



Site ID	Area (km ²)	Mean priority rank (%)
Potential sites for offshore wind farms		
1	25	91,40
2	25	86,90
3	25	83,50
4	100	82,40
5	25	94,90
6	100	95,30
7	354	91,00
8	227	91,00
9	100	92,20
10	361	84,6
11	25	95,60
12	25	87,2
13	25	84,70
14	25	78,70
15	100	83,20
Existing offshore wind farms		
16	5	74,50
Planned offshore wind farms		
a	39	60,20
b	60	72,60
c	58	54,50
d	134	92,20
e	44	25,80
f	64	97,00
g	163	74,30
h	87	92,80
i	17,0	14,8

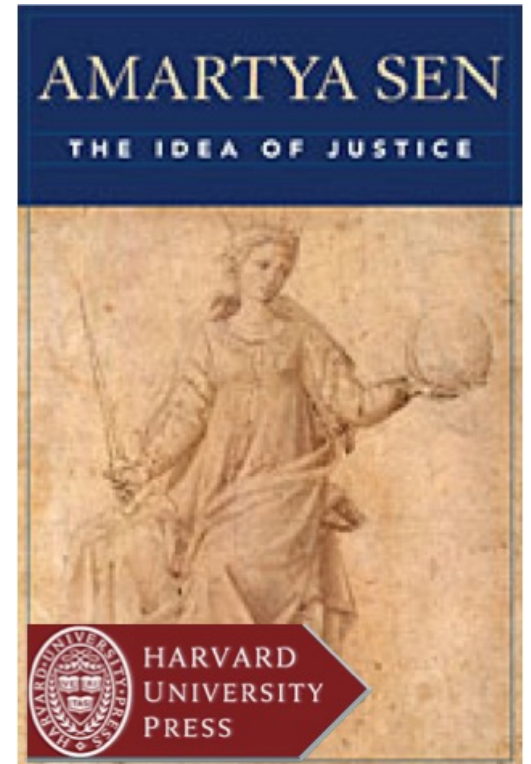
Oikeudenmukaisuuden näkökulma siirtymässä

- Kansallinen, EU ja globaali näkökulma
 - 20% maailman väestöstä käyttää 80% maapallon resursseista
 - ½ ihmisistä tienaa alle \$5.5/pv; yli 600 milj. alle \$2.15 /pv



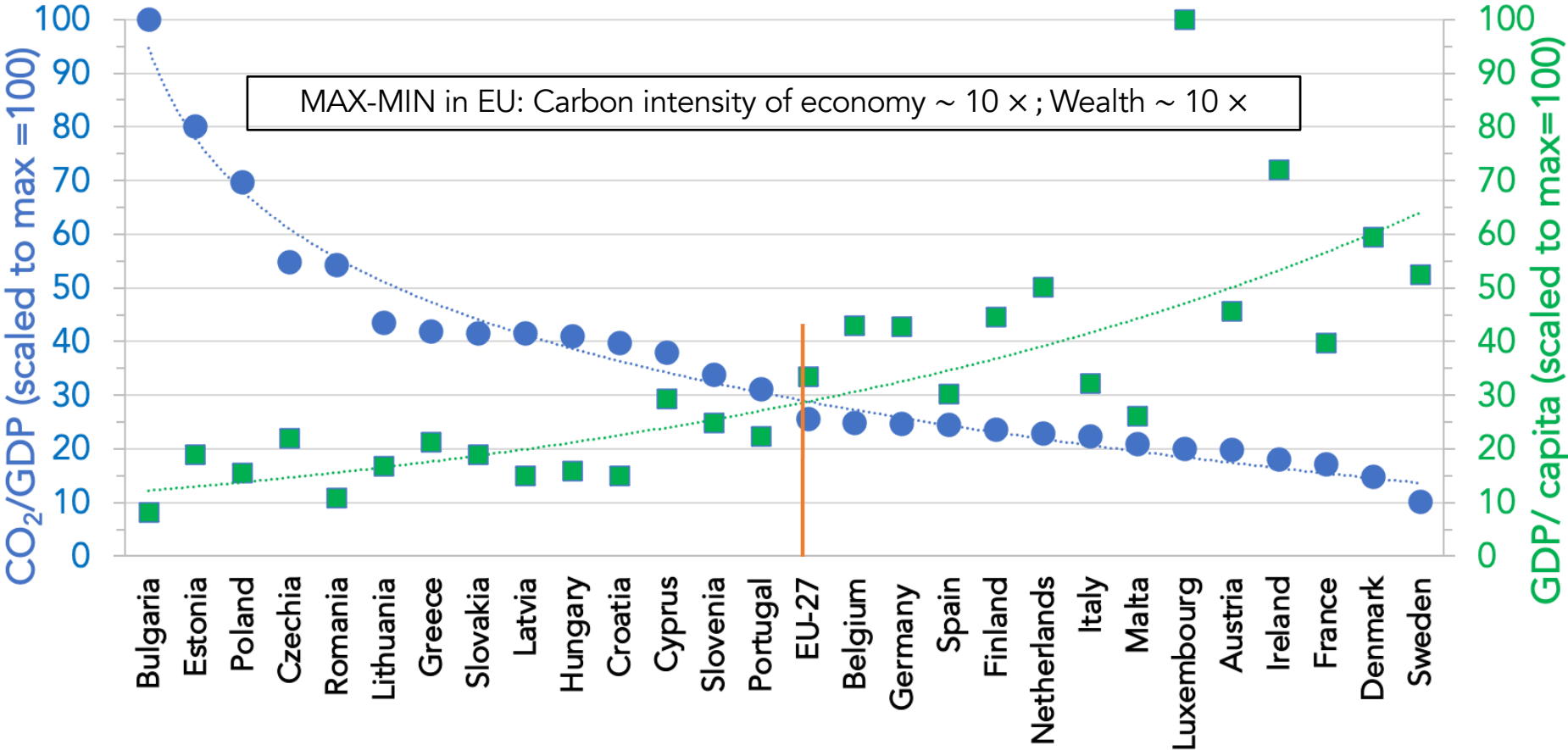
Energian käyttö henkilöä kohden

Viite: IEA Energy Atlas 2018



Lähtökohdat siirtymälle ja päästöjen leikkaamiselle EU:ssa

- EU tuo lähes 60% energiastaan
- Fossiilisten polttoaineiden osuus lähes 70%





A systemic approach to the energy transition in Europe

Evidence Review Report

www.sapea.info/energy



SAPEA

Science Advice for Policy by European Academies



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 737432.

Key message

There are many possible pathways towards a carbon-neutral future. But this is not just a technical challenge. To make the energy transition a reality, we need to solve a **huge systemic problem.**

- A strategic direction needed enabling long-term infrastructure related investments required to avoid technology lock-in risks and facilitate highly challenging deeper decarbonisation
- Regulatory actions needed that combine with other European objectives & social principles
- But any successful policy must involve a carbon pricing mechanism
- Huge systemic problem ahead, which involves coordinating an almost countless number of individual voluntary decisions on investment, consumption, and behaviour in the EU

The report doesn't recommend an unequivocal policy package for EU, but rather a set of policy options addressing various facets of the challenge.



Policy options

The policy options have been evaluated in terms of their potential to deliver an effective transition and reach the emission targets, their economic efficiency at the societal level, and their ability to maintain a social balance and social acceptability of the transition:

- 1) Shaping an effective and efficient regulatory strategy**
- 2) Supporting technical innovation**
- 3) Geopolitical perspective remains important**
- 4) Strong system integration key for expanding electrification**
- 5) Technology diversity should be maintained**
- 6) Policy must stimulate behaviour alongside technology**



UNIVERSAL VALUES

INTERNATIONAL SYMPOSIUM
PROCEEDINGS

Edited by

LOUCAS G. CHRISTOPHOROU AND GEORGE CONTOPOULOS



*In connection with the 2004 Olympics
Academy of Athens, May 26-28, 2004*



ΠΟΛΙΤΕΤΙΚΗ
ΟΛΥΜΠΙΑΔΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

ATHENS 2004

Vuoropuhelun tarve



Ylimääräisiä kalvoja

Polku hiilineutraaliuteen

Global greenhouse gas emissions and warming scenarios



- Each pathway comes with uncertainty, marked by the shading from low to high emissions under each scenario.
- Warming refers to the expected global temperature rise by 2100, relative to pre-industrial temperatures.

Annual global greenhouse gas emissions
in gigatonnes of carbon dioxide-equivalents

150 Gt

100 Gt

50 Gt

Greenhouse gas emissions
up to the present

0

1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100

No climate policies

4.1 – 4.8 °C

→ expected emissions in a baseline scenario if countries had not implemented climate reduction policies.

Current policies

2.5 – 2.9 °C

→ emissions with current climate policies in place result in warming of 2.5 to 2.9°C by 2100.

Pledges & targets (2.1 °C)

→ emissions if all countries delivered on reduction pledges result in warming of 2.1°C by 2100.

2°C pathways

1.5°C pathways

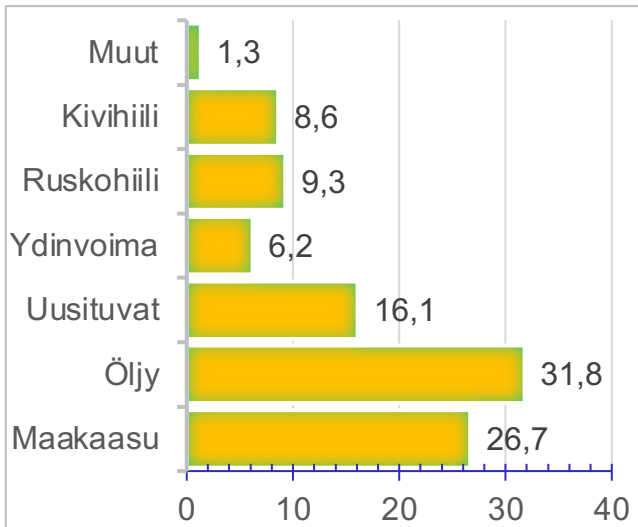
Data source: Climate Action Tracker (based on national policies and pledges as of November 2021).
[OurWorldinData.org](https://www.ourworldindata.org) - Research and data to make progress against the world's largest problems.

Last updated: April 2022.
Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie & Max Roser.

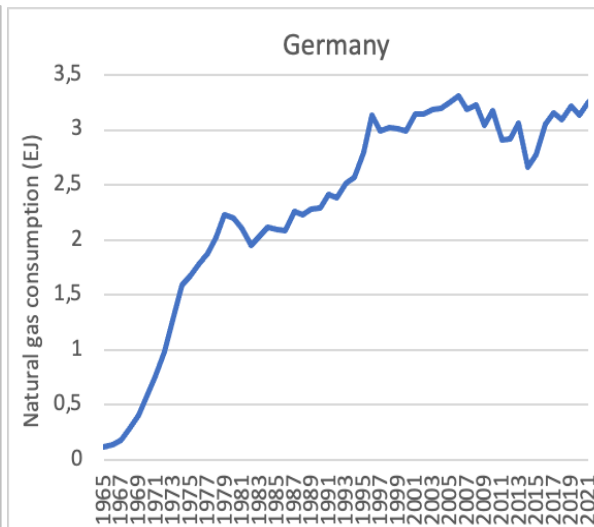
Saksan energiamuutos

- Kaasu 27% primäärienergiasta
- Kaasun kulutus pysynyt varsin tasaisena viimeiset 25 vuotta
- Kaasu 15% sähköstä, kaasun käyttö ei ole juurikaan kasvanut sitten vuoden 2008
- Tavoitteena tuottaa 100% sähköstä uusiutuvilla vuoteen 2035 (nyt noin 1/2)

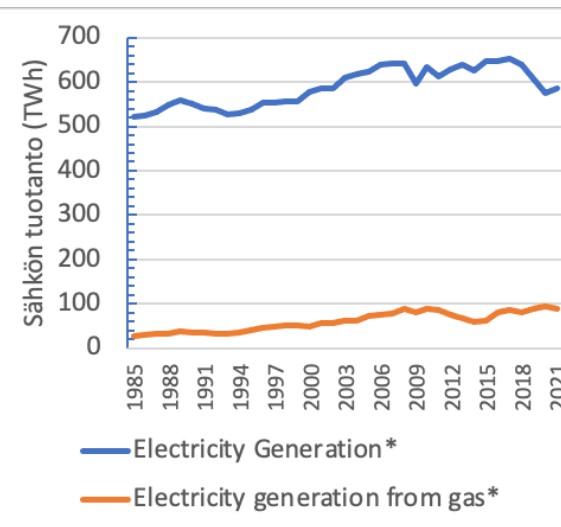
Primäärienergiaosuudet
2021



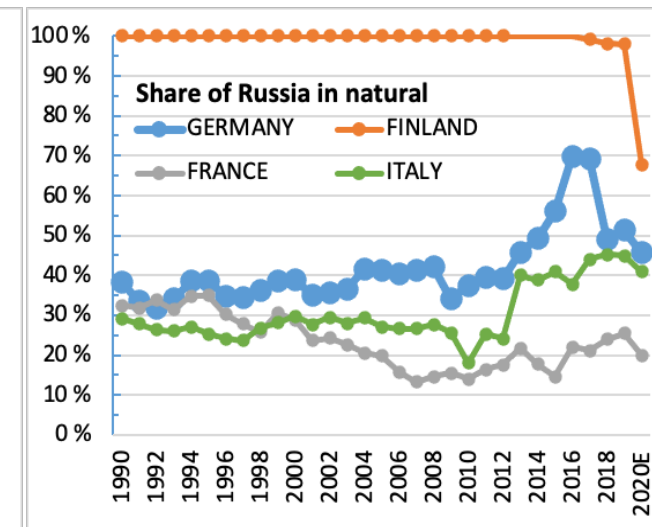
Kaasun kulutus
1965-2021



Kaasun käyttö sähkön
tuotannossa 1985-

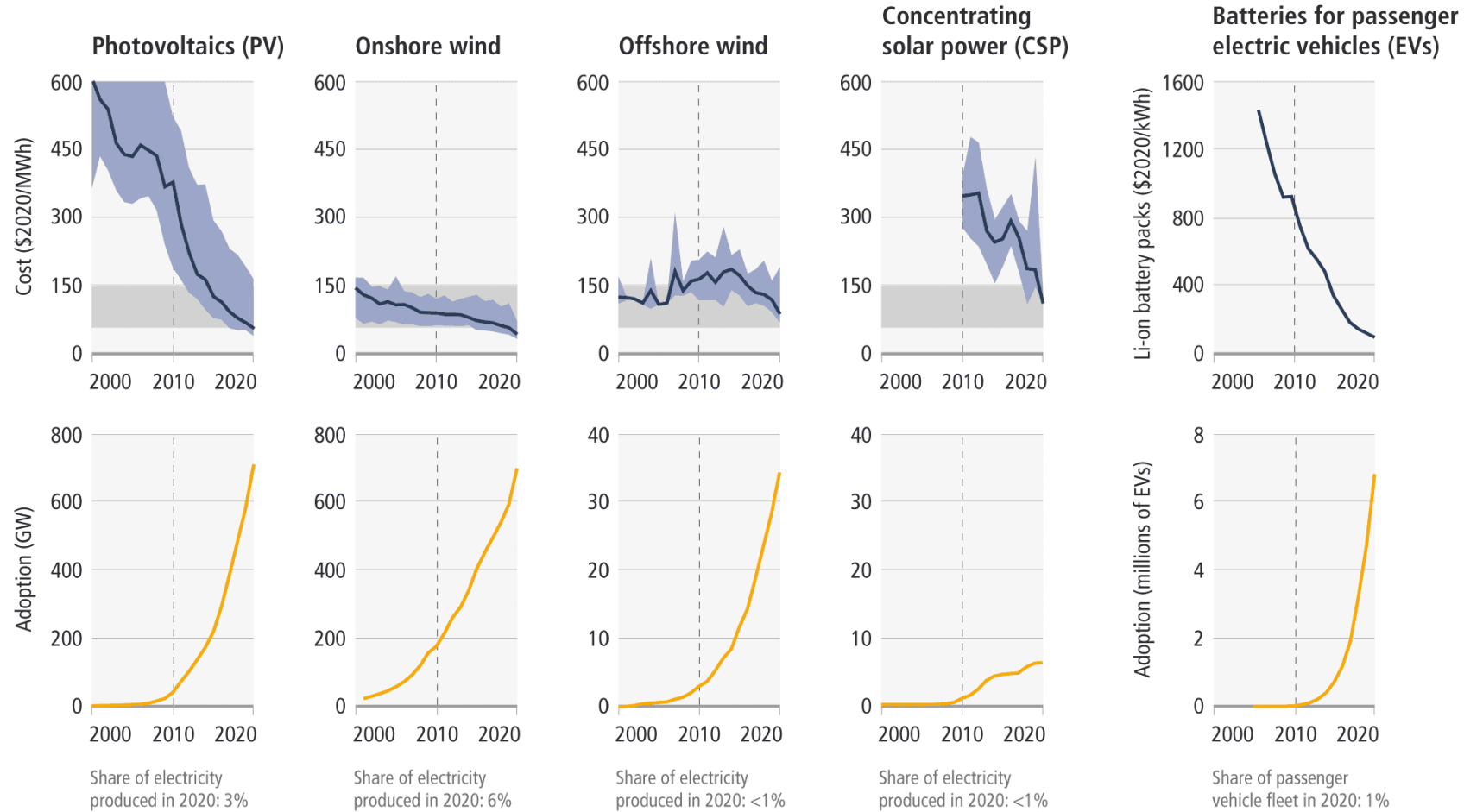


Venäläisen kaasun osuus
1990-2020



Uudet teknologiat kehittyvät myönteisesti

The unit costs of some forms of renewable energy and of batteries for passenger EVs have fallen, and their use continues to rise.



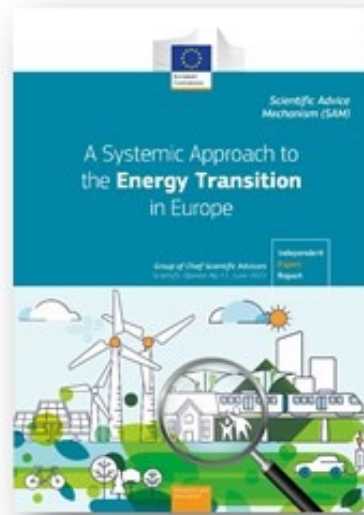
Lähde: IPCC 2022

European Commission's Scientific Advice Mechanism

Chief Scientific
Advisors

SAPEA*

Scientific Opinion



College of
European
Commissioners

Policy
challenge

Evidence Review Report



Scoping question

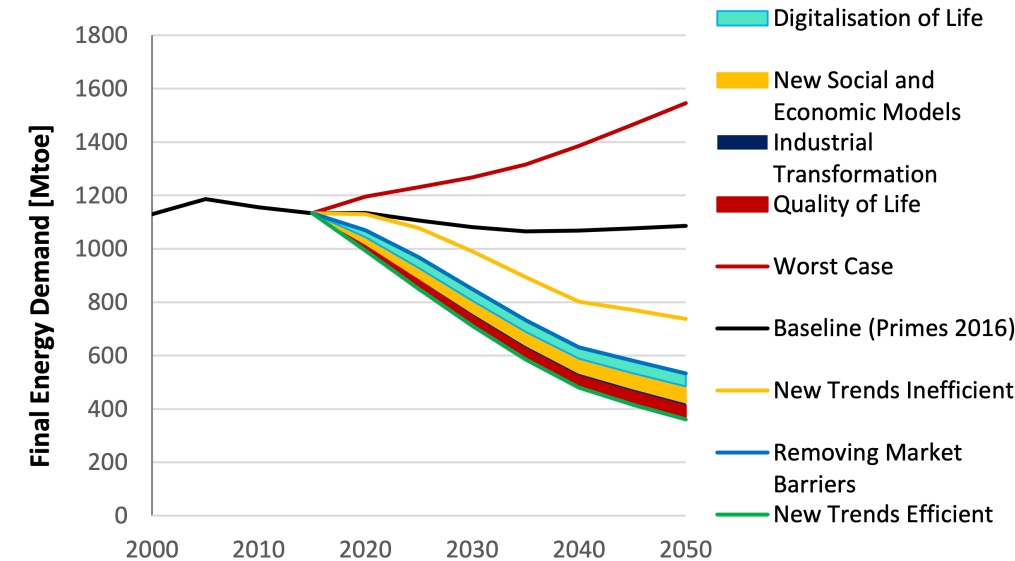
How can the European Commission contribute to the preparation for, acceleration, and facilitation of the energy transition in Europe given the present state of knowledge on the possible transition pathways?

(Considering the constraints from technologies, services, energy sources, economics, raw materials, social issues, environmental boundaries, etc.)



Future outlook on EU energy demand

- Reduced demand reduces transition costs, increases energy security
 - Synergies between demand and supply chain and other impacts
 - Electrification may increase efficiency in replacing inefficient fuel conversion processes
 - Low Energy Demand (LED) scenario has not yet been down-scaled to the EU level
- Significant reduction in final energy demand is highly unlikely without strong policy measures
- Policy environment embedding societal and technological transitions
- Rebounds effects



Final energy demand (EU-28) in 4 scenarios and baseline from PRIMES model (from Brugger et al., 2021)

