

Pelastavatko uudet energiateknologiat maapallon?

Peter Lund

Aalto-yliopisto

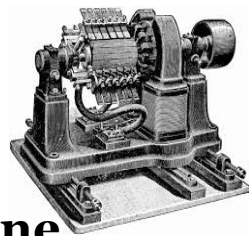
Rooman Klubin Suomen yhdistys

26.3.2018

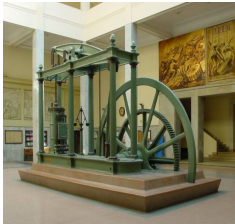
[Energian] evoluutio

Energian käyttö

Sähkö-
generaattori



Höyrykone



Fossiiliset polttoaineet

Tuli



-1 milj.

NYT

≈500 vuotta

Mitä energiaa
tulevaisuudessa?

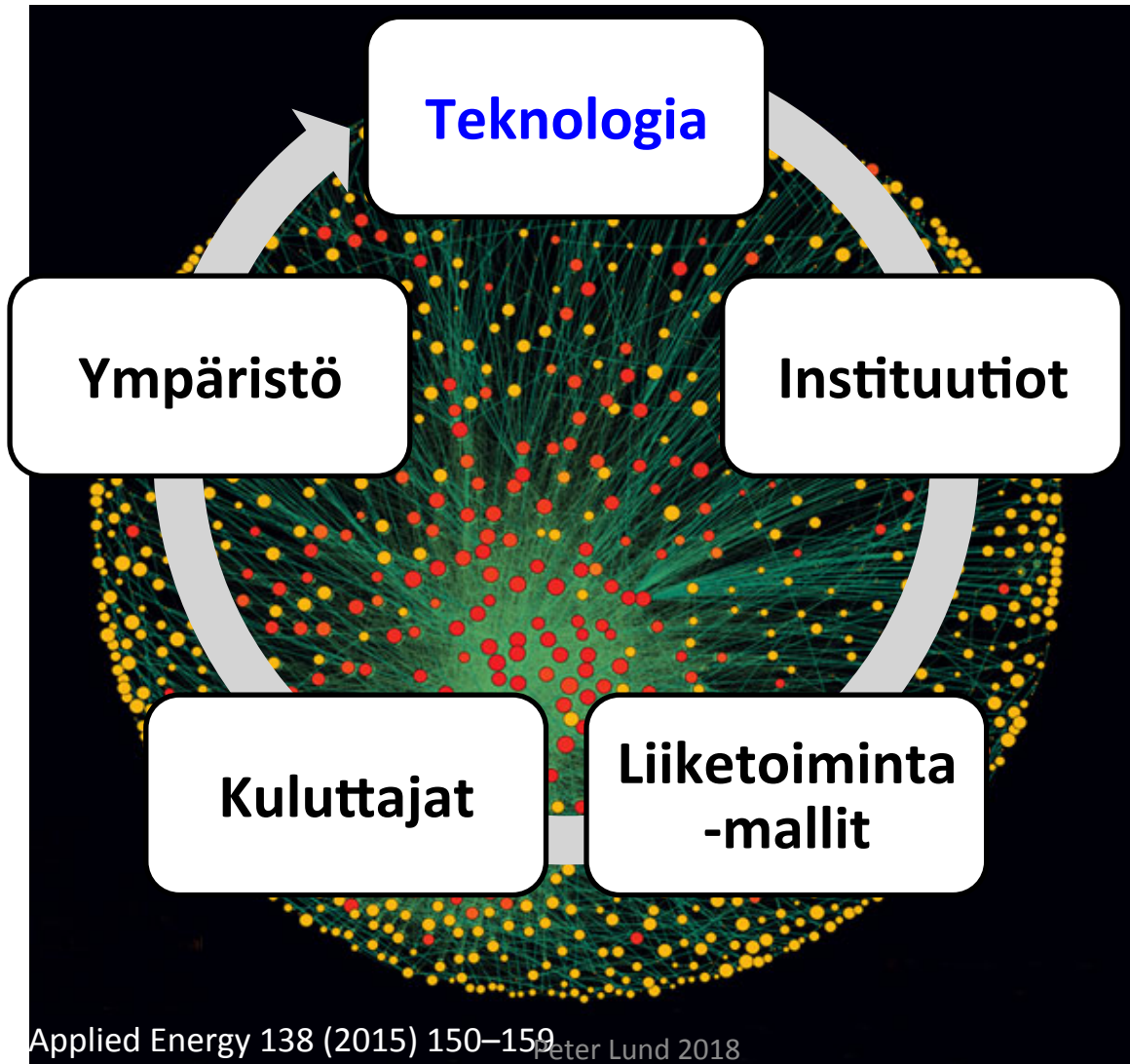
Suuret muutostekijät

1. Ilmastonmuutos

2. Globalisaatio

3. Teknologia

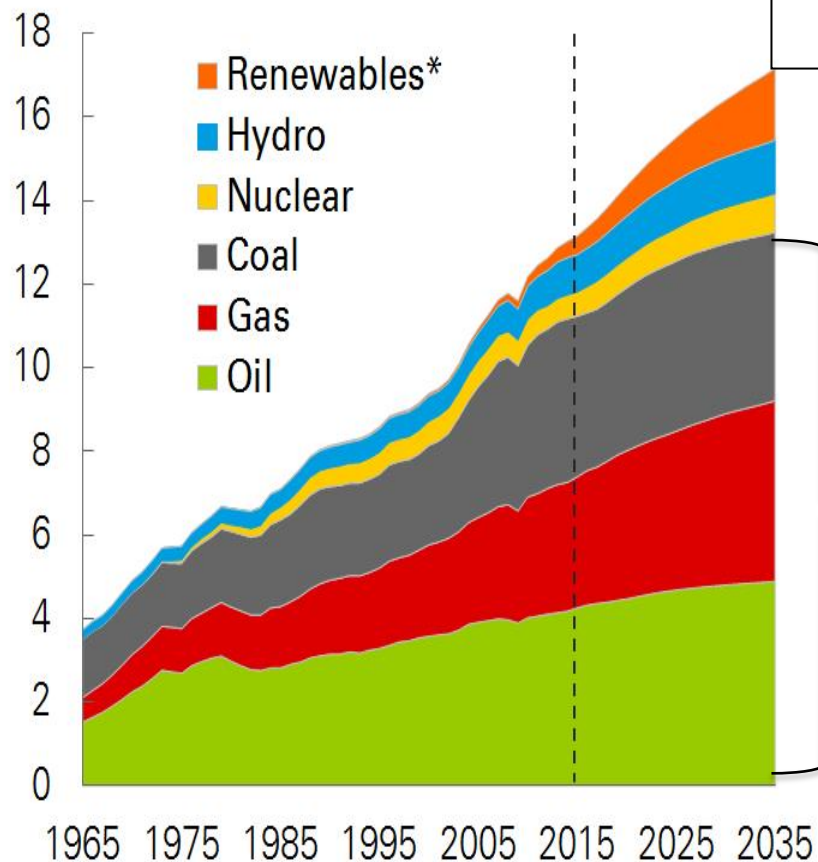
Teknologiamuutos vaikuttaa kaikkeen !



BAU:Fossiiliset polttoaineet hallitsevat maailman energiaa

Primary energy consumption by fuel

Billion toe



Uusiutuvat energiat & kaasu kasvattavat osuuttaan

Hiili/
vety

1

4

2

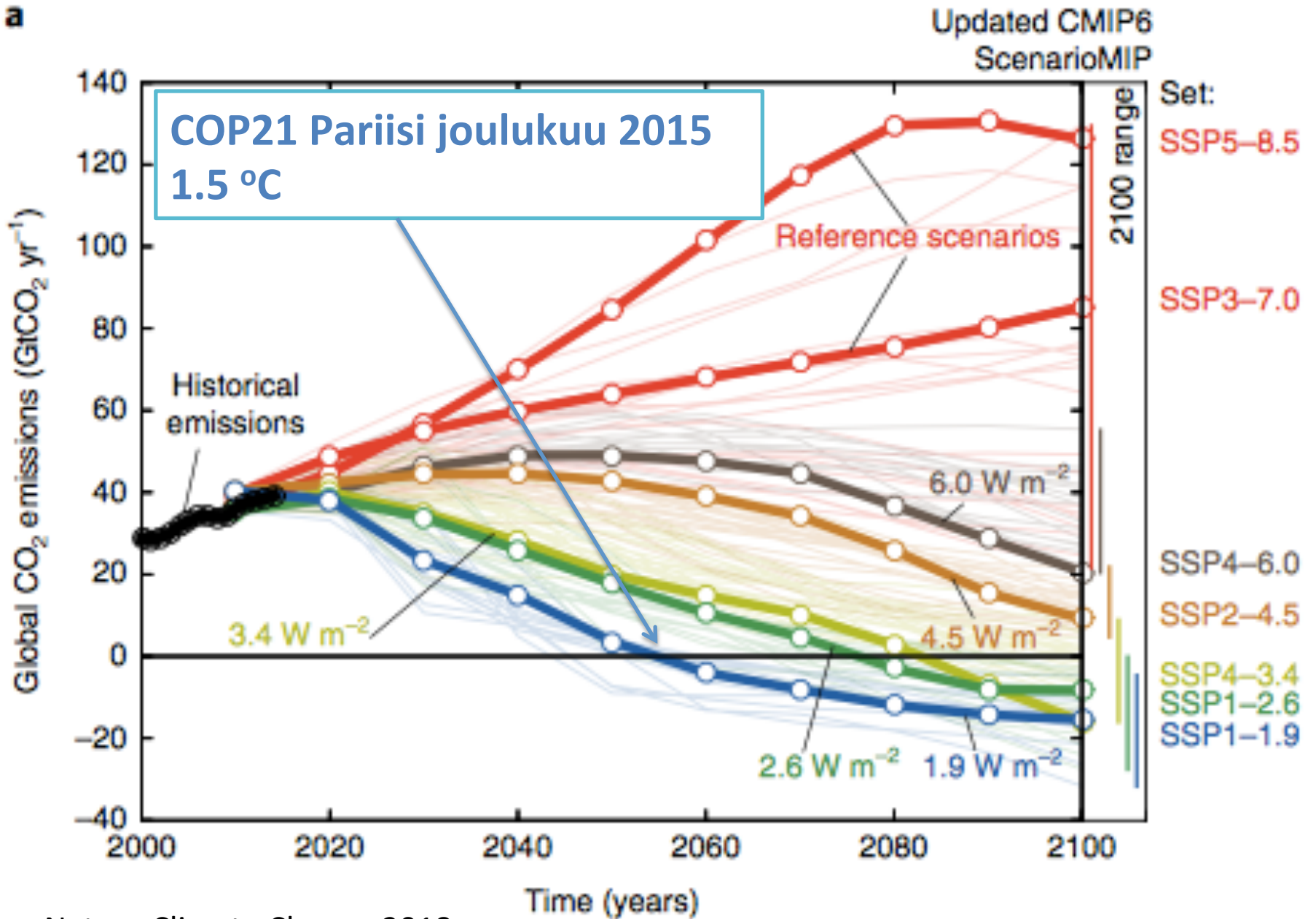
Business-as-usual:

- 1) Fossiiliset > 80% energiasta
- 2) Öljy 1/3 energiasta
- 3) Hiilivety-riippuvuus jatkuu pitkään

*Renewables includes wind, solar, geothermal, biomass, and biofuels

Peter Lund 2018

a



Nature Climate Change 2018

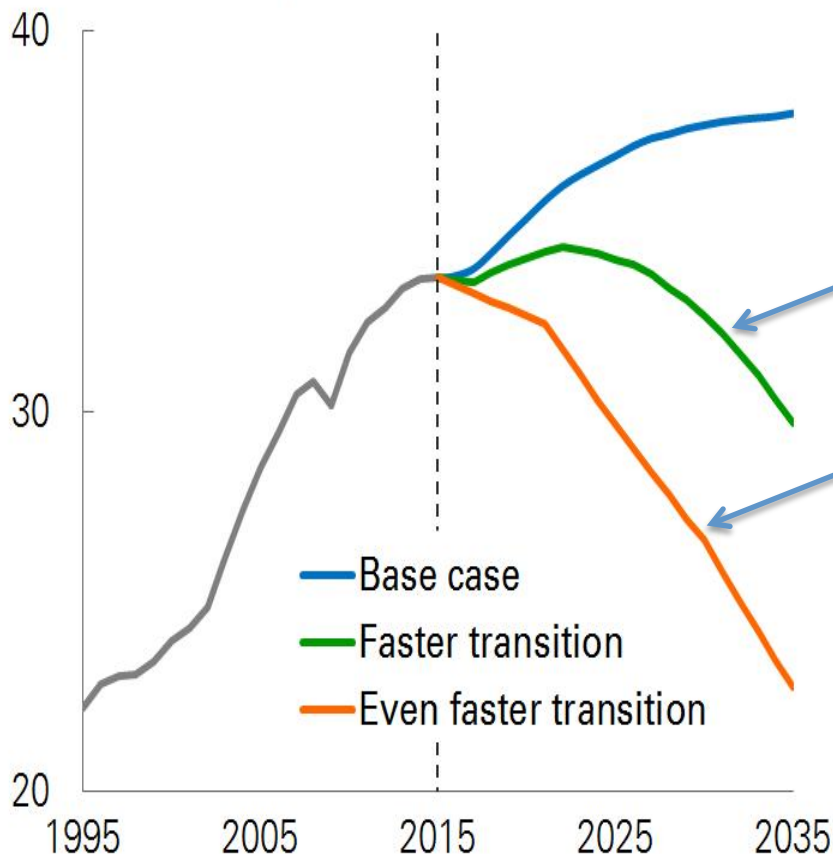
Peter Lund 2018

Pariisin ilmastopöimöksen vaikutukset (2035)

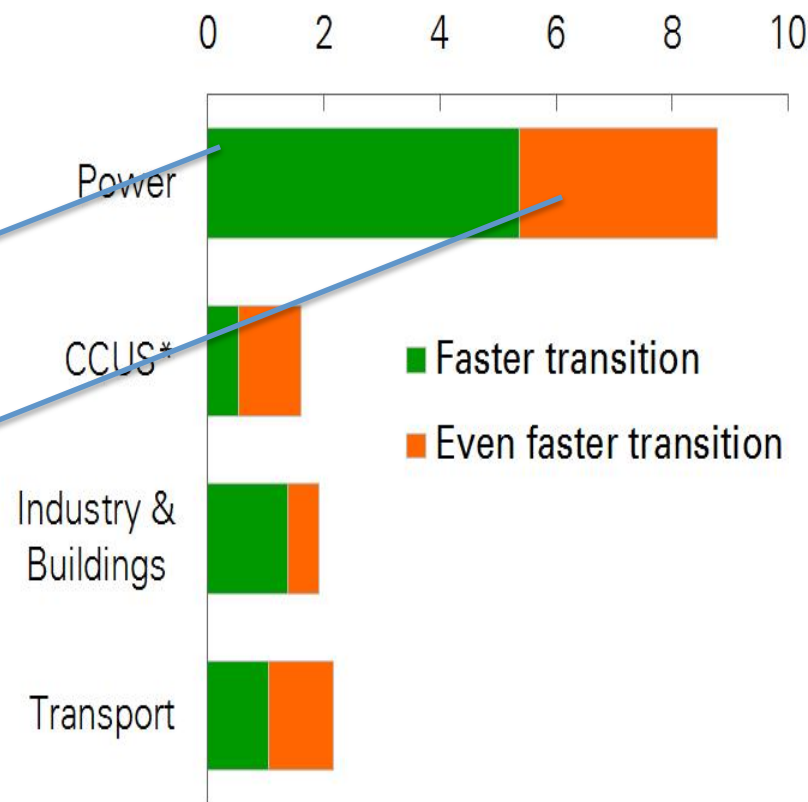
Carbon emissions

Reductions in emissions versus base case

Billion tonnes CO₂



Billion tonnes CO₂ in 2035



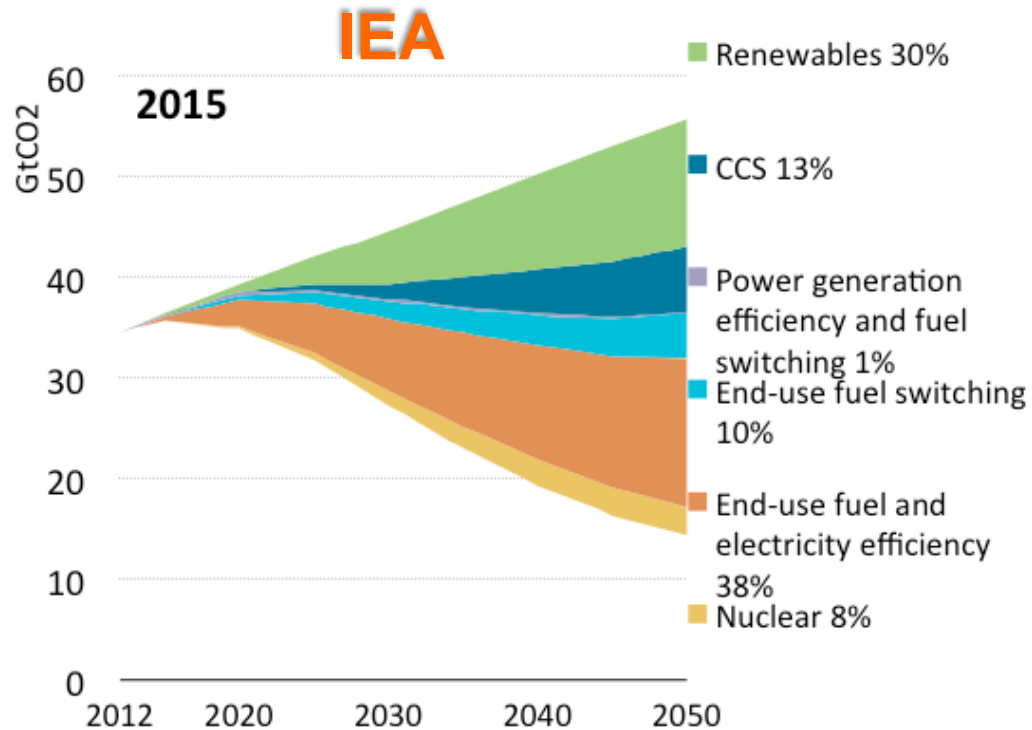
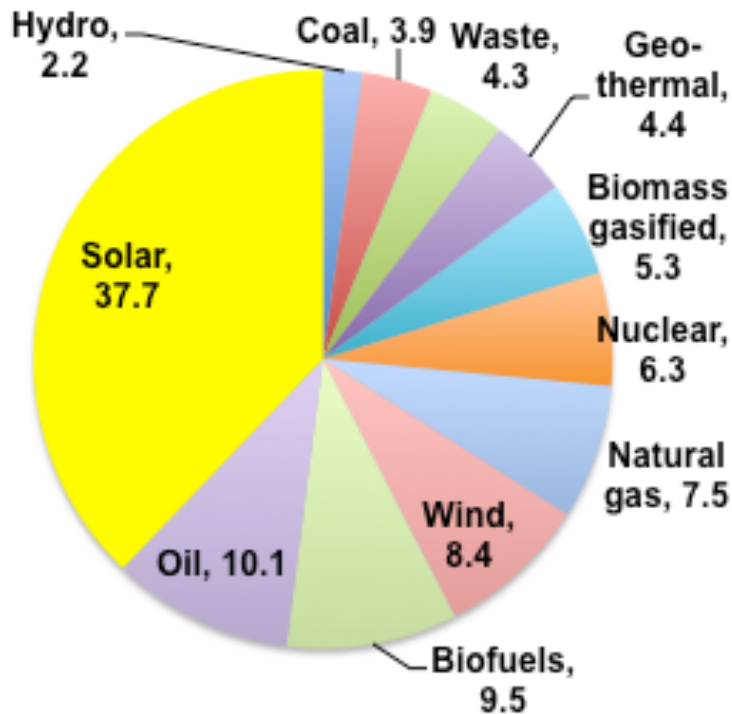
*Carbon capture, use and storage (predominantly in power sector)

Peter Lund 2018

Tuleva energiamuutos

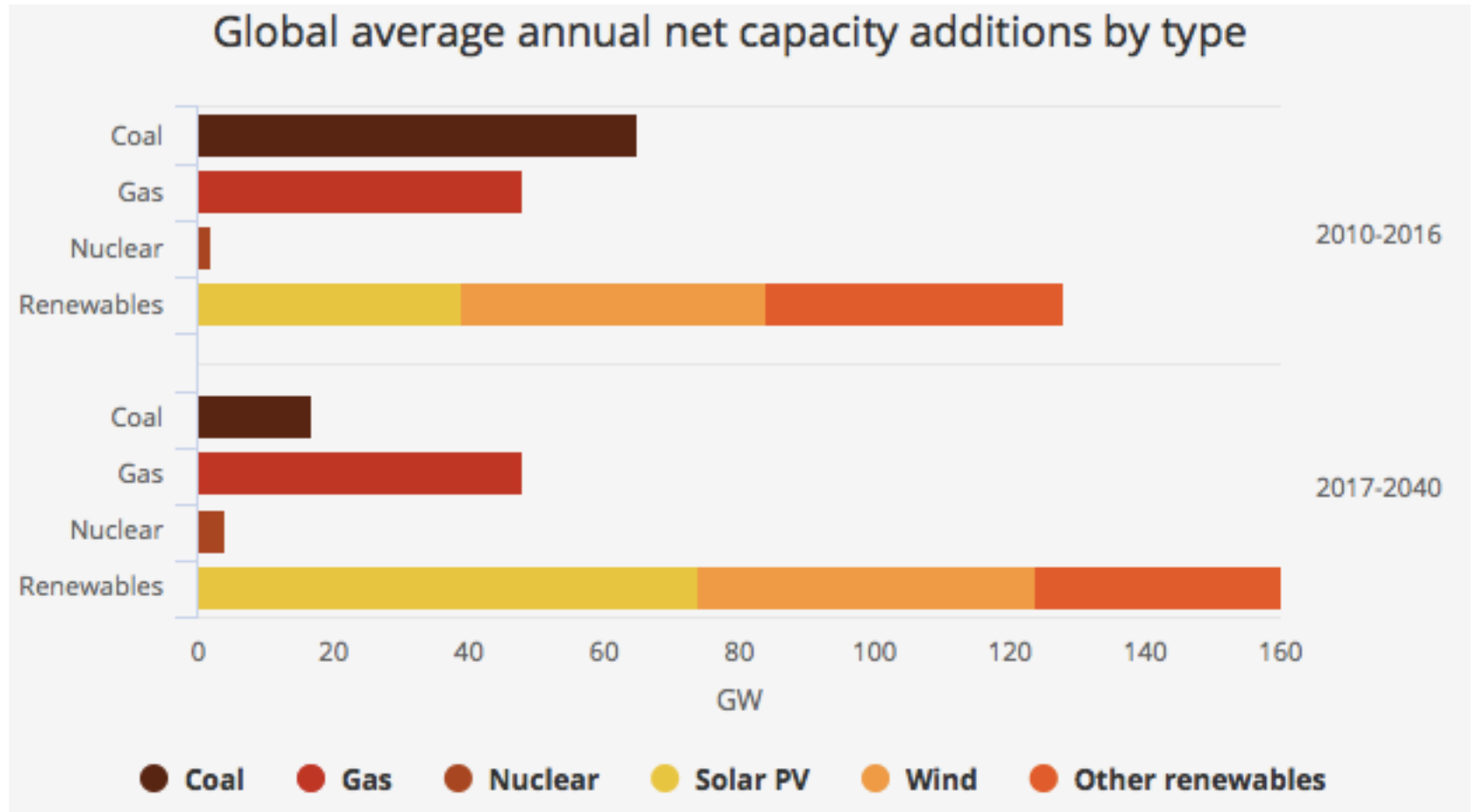
- **Fossiilinen energia: Nyt >80%; 22% v 2100**

<http://www.shell.com/global/future-energy/scenarios/new-lens-scenarios.html>



eter Lund 2018

Globaali käänös puhtaaseen energiaan



IEA WEO 2017

Uuden energiatekniikan liiketoiminta merkittävää

RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT

Figure 35. Global New Investment in Renewable Power and Fuels, Developed, Emerging and Developing Countries, 2005–2015

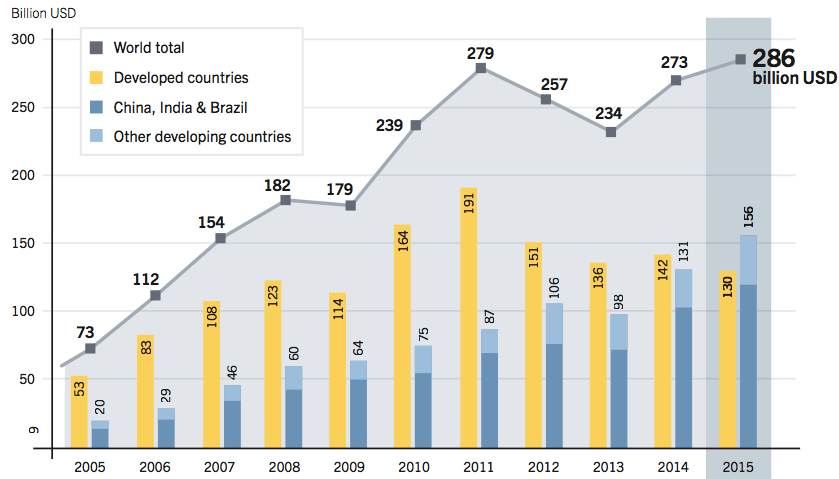
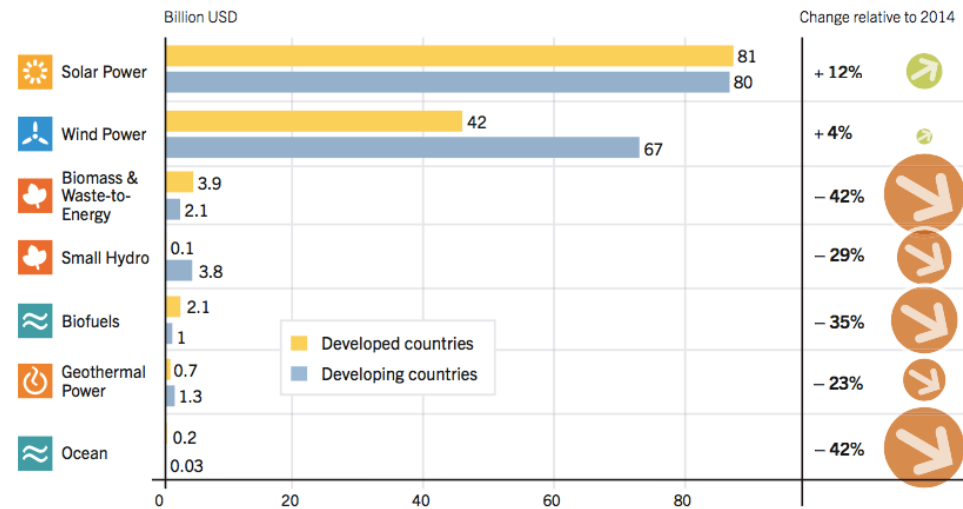
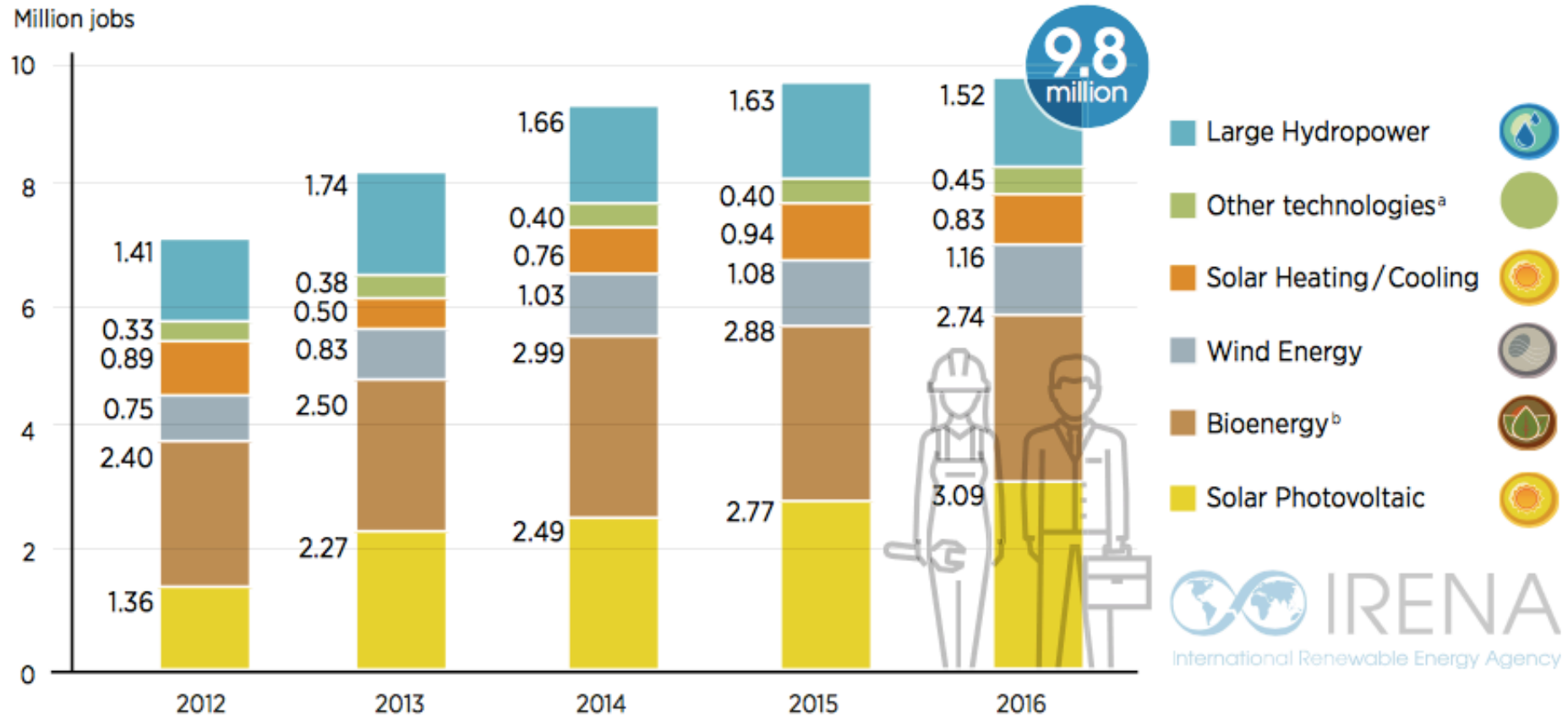


Figure 37. Global New Investment in Renewable Energy by Technology, Developed and Developing Countries, 2015

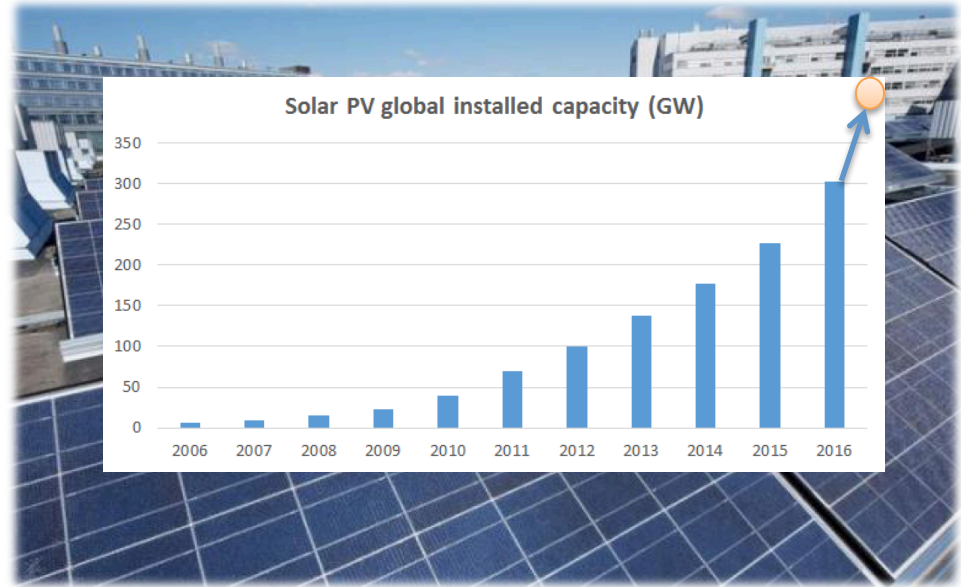


Uudesta teknologiasta syntyy uusia työpaikkoja

FIGURE 1: GLOBAL RENEWABLE ENERGY EMPLOYMENT, 2012-2016

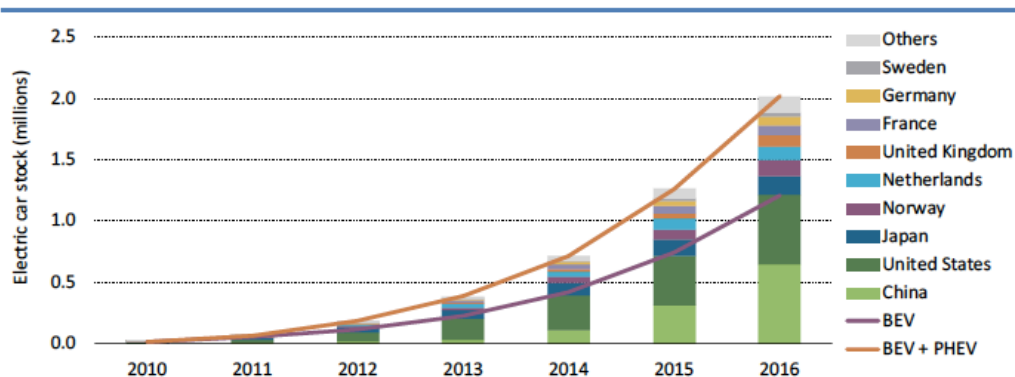


Aurinkosähkö kasvaa räjähdysmäisesti (v2017 n 100 GW)



Liikenteen sähköistyminen

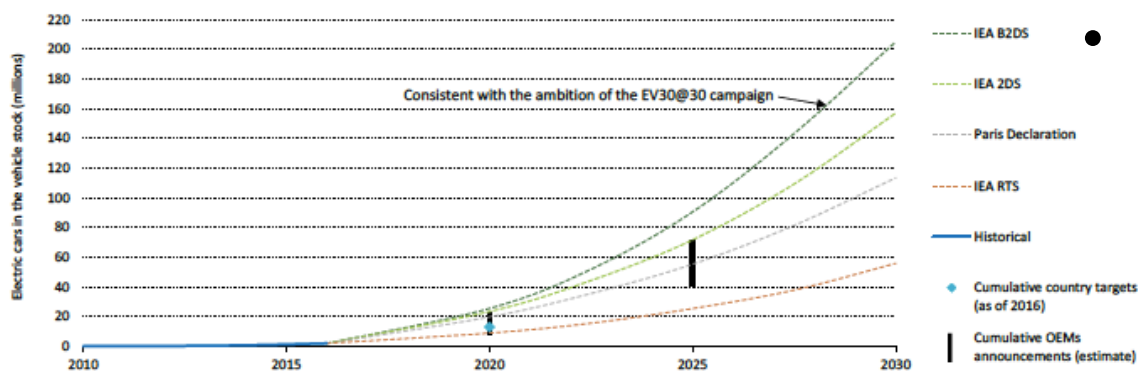
Figure 1 • Evolution of the global electric car stock, 2010-16



Notes: The electric car stock shown here is primarily estimated on the basis of cumulative sales since 2005. When available, stock numbers from official national statistics have been used, provided good consistency with sales evolutions.

Sources: IEA analysis based on EVI country submissions, complemented by EAFO (2017a), IHS Polk (2016), MarkLines (2017), ACEA (2017a, 2017b) and EEA (2017).

Figure 2 • Deployment scenarios for the stock of electric cars to 2030



Notes: The RTS incorporates technology improvements in energy efficiency and modal choices that support the achievement of policies that have been announced or are under consideration. The 2DS is consistent with a 50% probability of limiting the expected global average temperature increase to 2°C. The B2DS falls within the Paris Agreement range of ambition, corresponding to an average increase in the global temperature by 1.75°C.

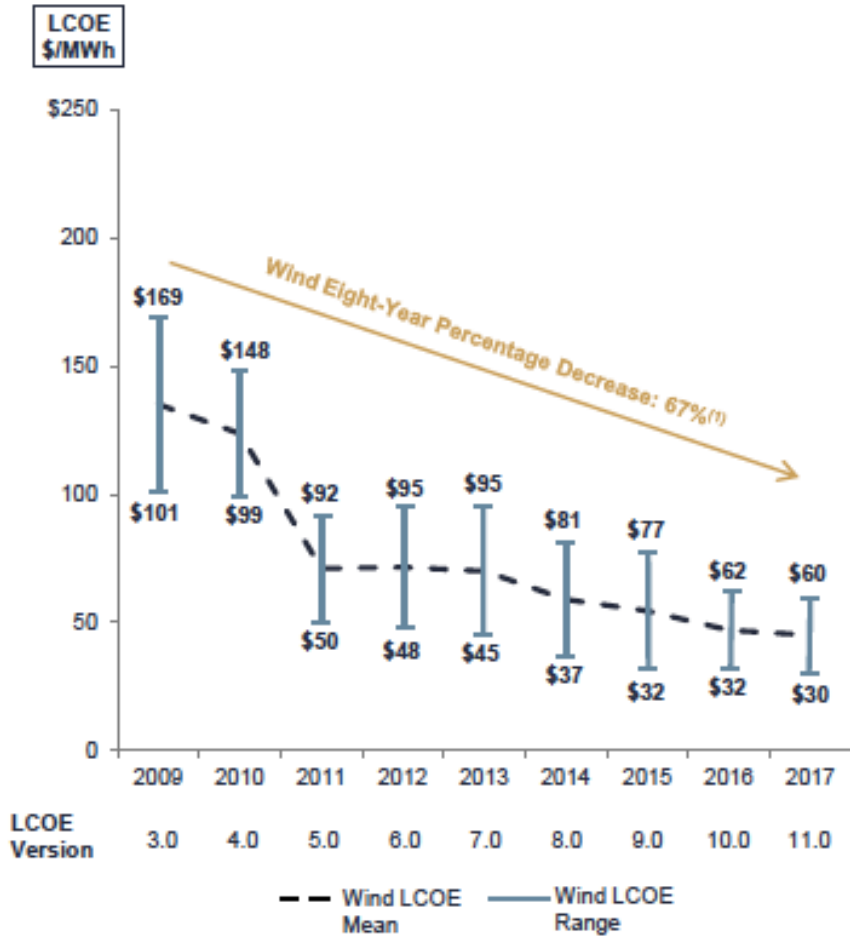
- 2016: 2 milj. sähköautoa, 2020: 9-20 milj., 2025: 40-70 milj

- Kiina, USA, Norja, yms. johtavat e-liikenteen käyttöönottoa

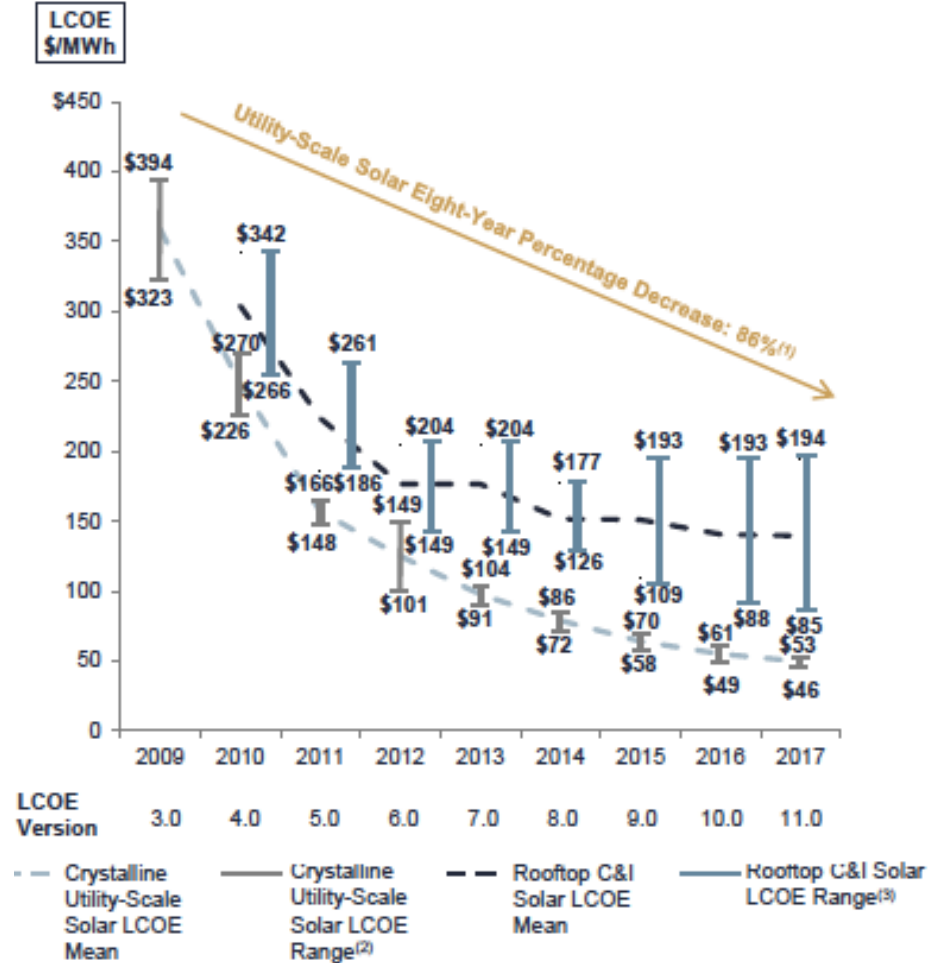
- Sähköautot → automaattiautot, polttokennoteknologia yms.

Uuden uusiutuvan sähkön (tuuli&aurinko) hinta laskee

Wind LCOE

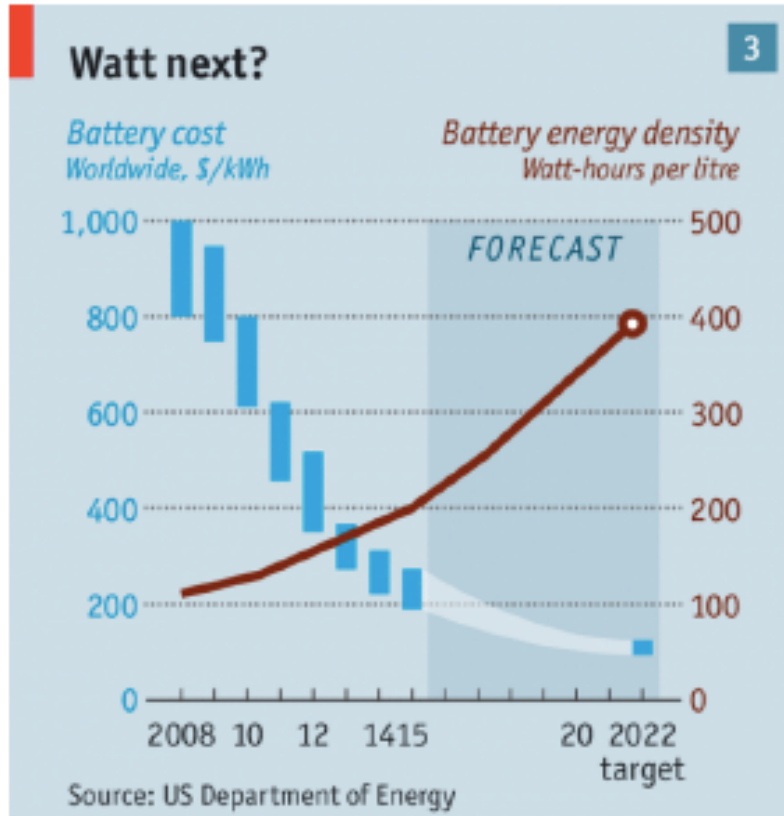


Solar PV LCOE



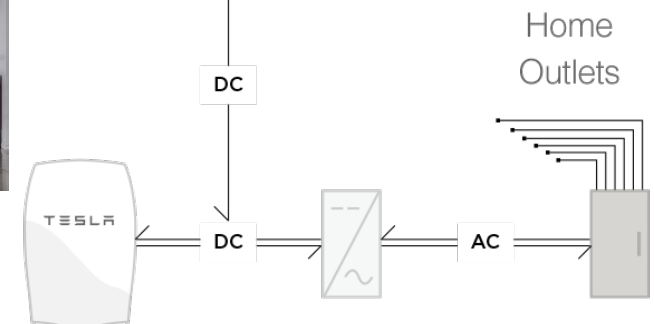
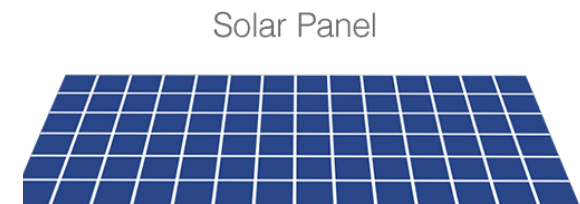
Lazard, 2017

Li-akun hinta tippuu



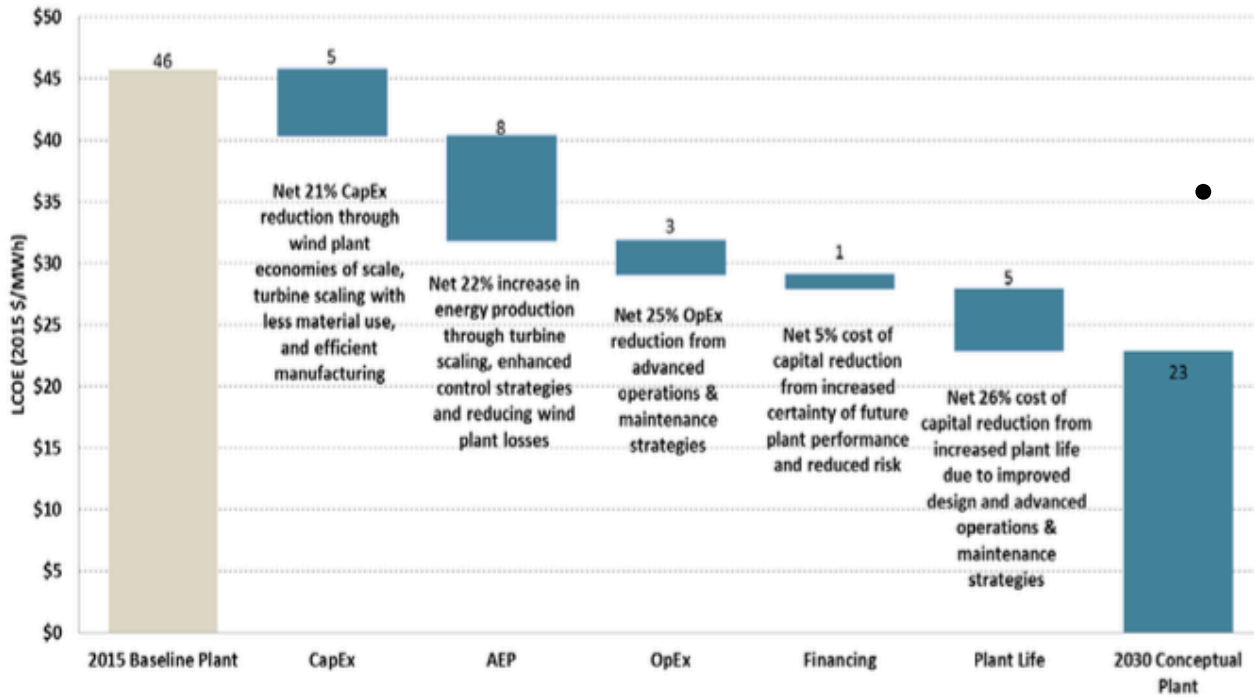
The
Economist
2017

Economist.com



Esimerkki energiateknologian tulevasta kehityksestä: tuulivoima

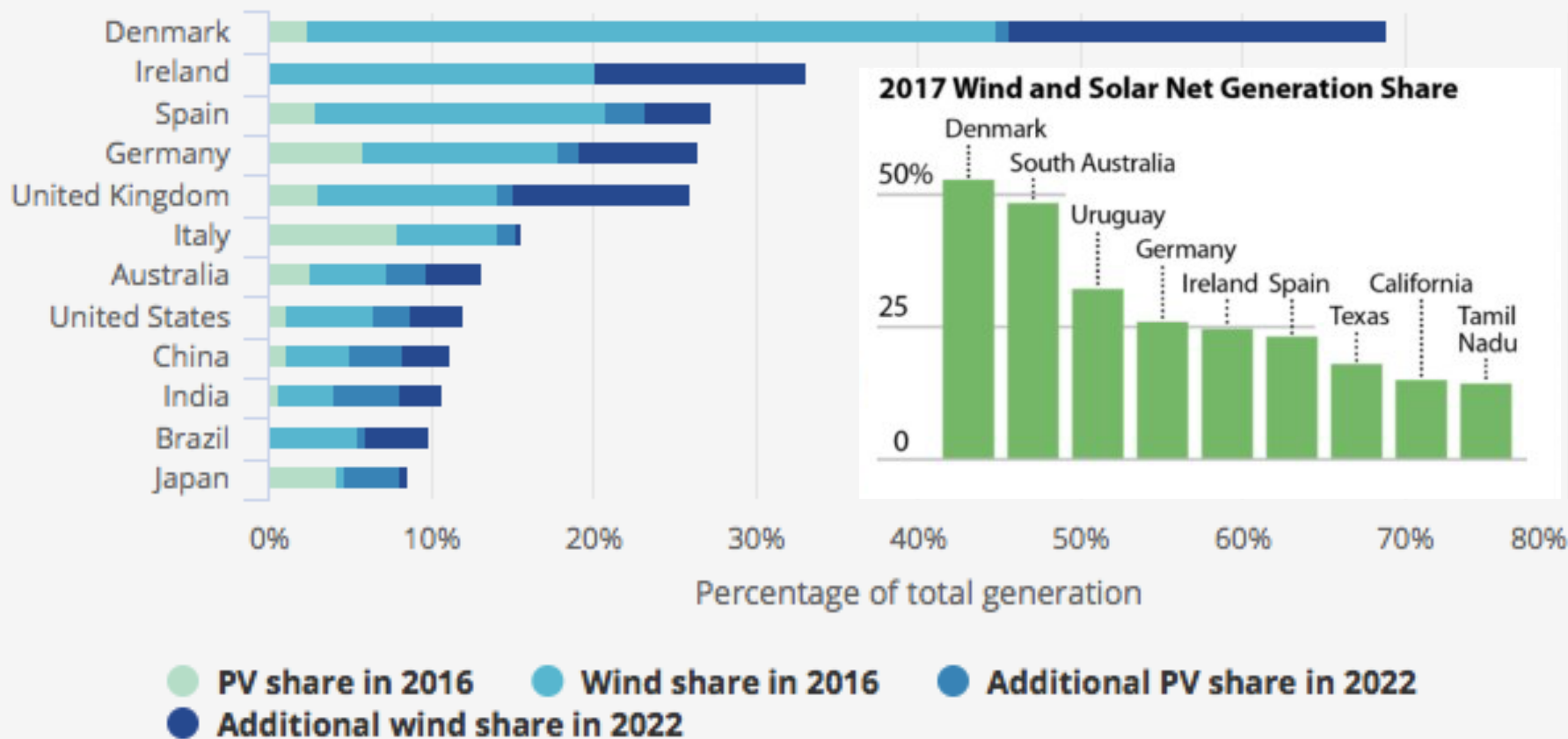
- Tuulivoima on jo kilpailukyistä ilman tukea
- Tuulivoiman hinta voi pudota puoleen 2030 mennessä
 - Technical Report NREL/TP-5000-68123 August 2017



‘Vaihtelevan uusiutuvan’ sähkön käyttö kasvaa

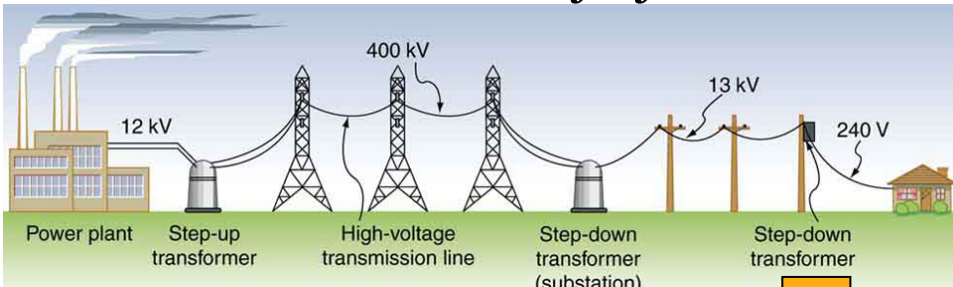
VRE share in annual electricity generation

Selected countries, 2016 - 2022

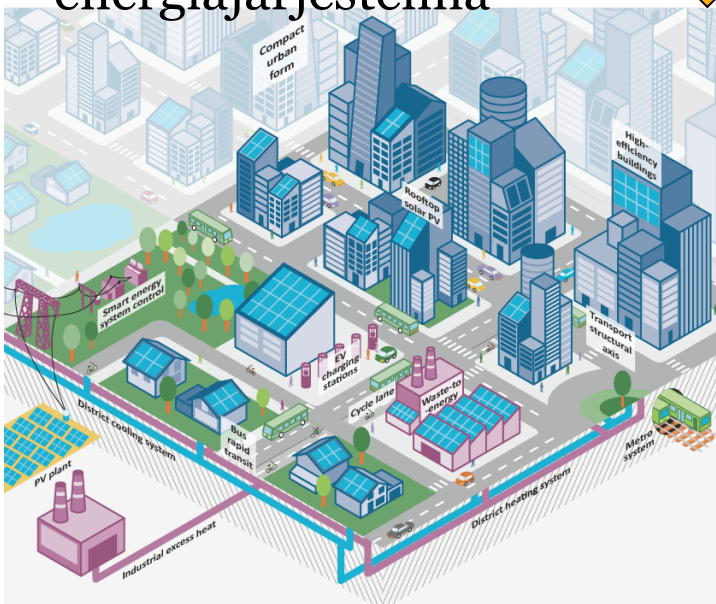


Energiamuutoksen elementtejä

Perinteinen sähköjärjestelmä



Tulevaisuuden energijärjestelmä



Peter Lund 2018

- Hierarkiat tulevat alas
- Energiatuotantoyksiköt samankokoisia kuin kulutus
- Kulutus ja tuotanto kommunikoivat (tasapaino)
- Pienet integroidut yksiköt
- Hyödykkeestä palveluihin
 - Lohkoketjut, prosumerit, paikallisverkot, logistiikka, yms



'Integrointi' ja 'joustavuus' keskeisiä teknologisia kysymyksiä

The Smart House

Xcel Energy's Smart Grid. Consumers are imagining a future that would allow you to communicate your energy choices to the power grid and automatically receive electricity based on your personal needs.

The potential benefits:

- Lower cost of power
- Cleaner power
- A more efficient and resilient grid
- Improved system reliability
- Increased conservation and energy efficiency

Plug-in Hybrid Electric Car

Xcel Energy is studying how plug-in electric vehicles can store energy, act as backup generators for homes and supplement the grid during peak hours.

Smart Meter

Real-time pricing signals create increased options for consumers.

Smart Appliances

Smart appliances contain on-board intelligence that "talks" to the grid, senses grid conditions and automatically turns devices on and off as needed.

Smart Thermostat

Customers can opt to use a smart thermostat, which can communicate with the grid and adjust device settings to help optimize load management. Other "smart devices" could control your air conditioner or pool pump.

High-Speed Connections

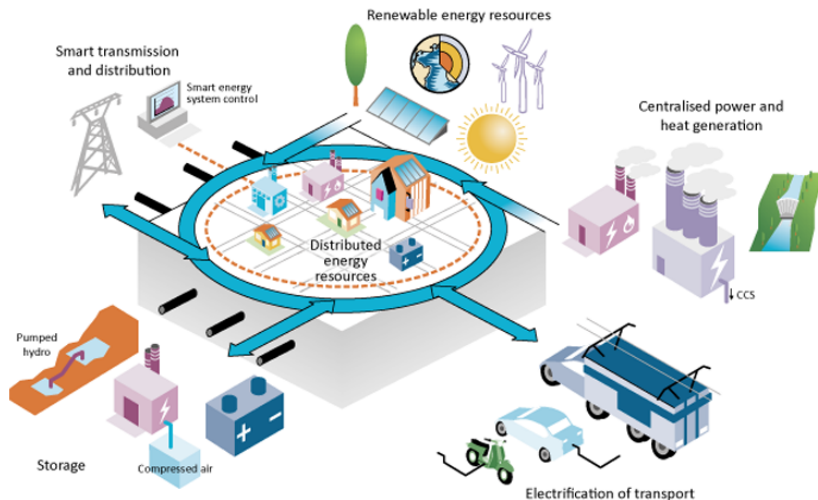
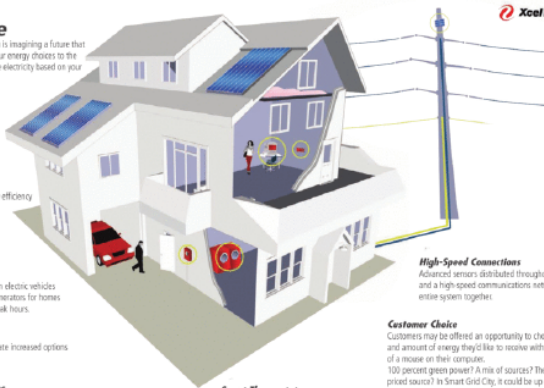
Advanced sensors distributed throughout the grid and a high-speed communications network tie the entire system together.

Customer Choice

Customers may be offered an opportunity to choose the type and amount of energy they'd like to receive with just the click of a mouse on their computer. 100 percent green power? A mix of sources? The cheapest priced source? In Smart Grid City, it could be up to you.

Xcel Energy

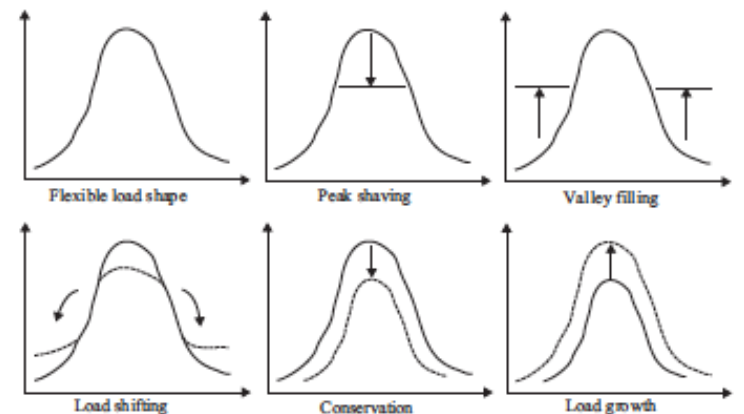
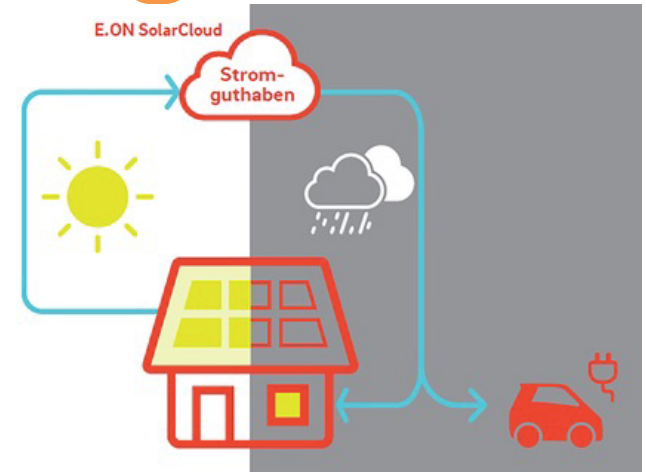
©2008 XCEL ENERGY INC.



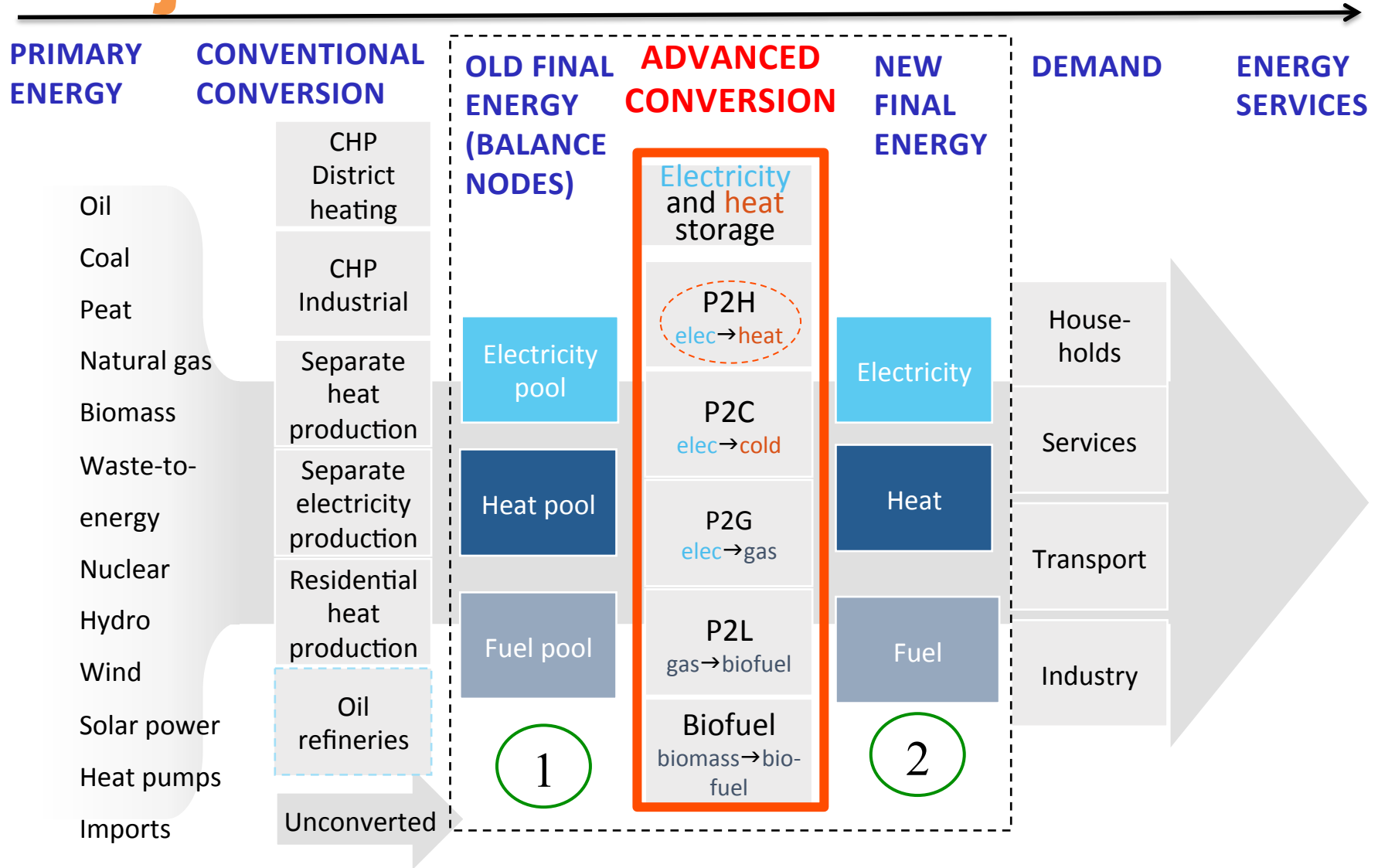
International Energy Agency (2014), Energy Technology Perspectives 2014, OECD/IEA, Paris

Lohkoketjuteknologia

- Avainsanat: blockchain teknologia, Bitcoin, virtuaalivaluutta, energianternet
- Miten soveltaa pienimuotisen uusiutuvan sähkön tuottamiseen kuluttajapäässä? E.ON. Energiebankki-palvelu (04/2017)
- Mahdolliset edut:
 - Pienten energivirtojen hallinta
 - Pienten toimijoiden business-mallit ”talokohtaiselle” tuotannolle
 - Yksityisyys, kyberturvallisuus taattu
 - Sähköverkon hallinta
 - Kulutusjoustot



Power-to-X (P2X) konversio joustavuuden lisäämiseksi

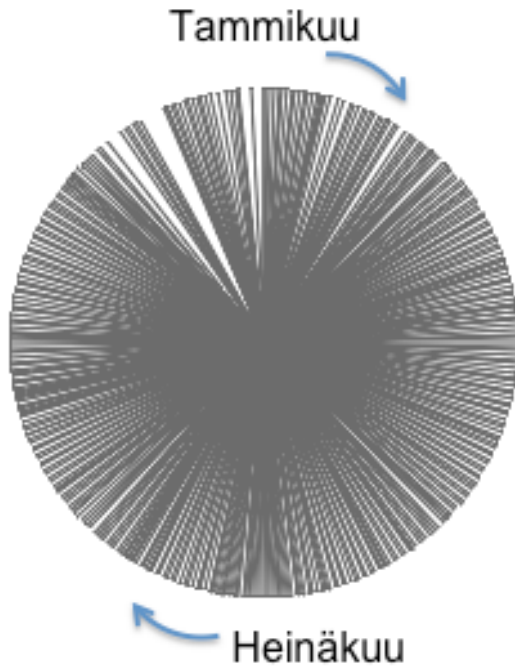


Aurinkosähkö & Akku - Suomessa !

3 kW PV-järjestelmä = 3 MWh/v=kotitaloussähkö

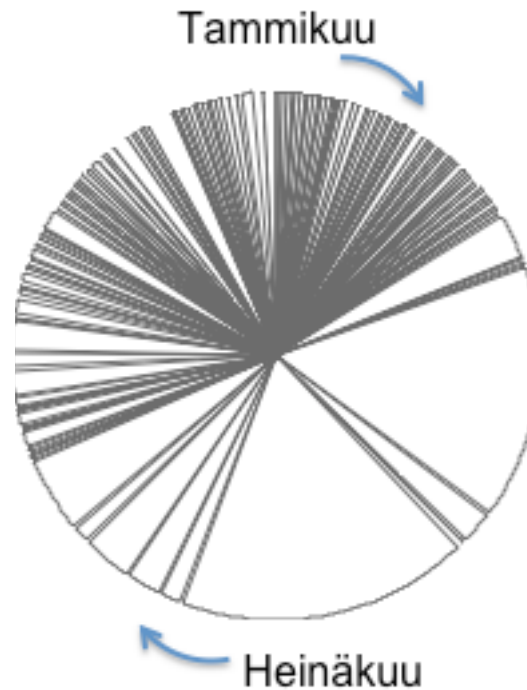
Tunnit, jolloin aurinko ei kohtaa kulutusta (musta)

PV ilman akkua



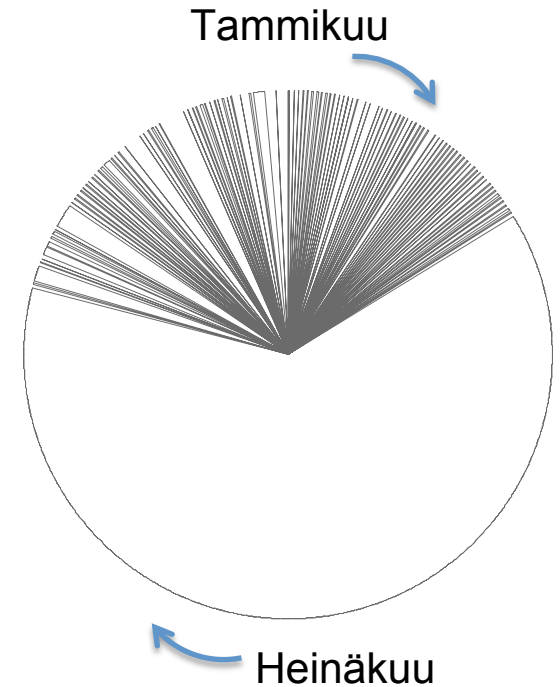
32%

PV + 10 kWh akku



74%

PV + 20 kWh akku

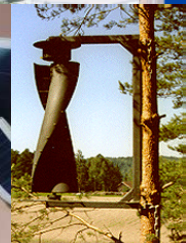
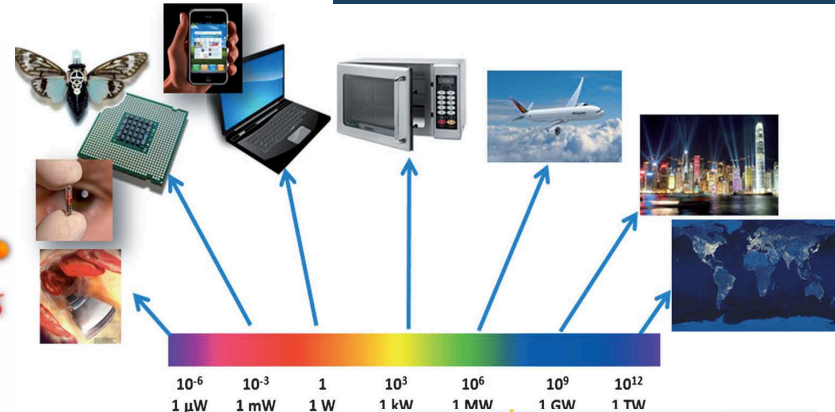
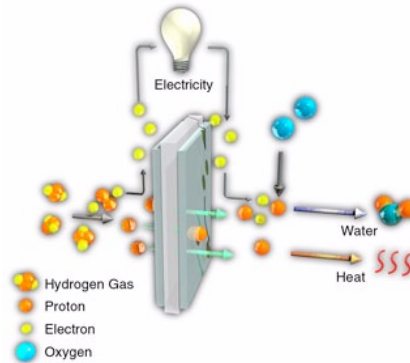
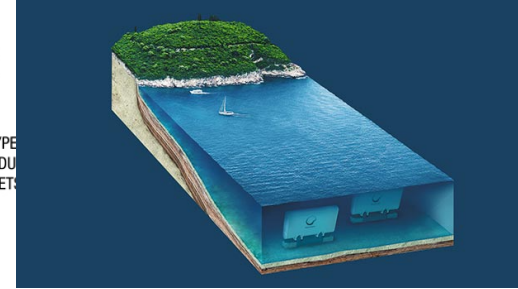
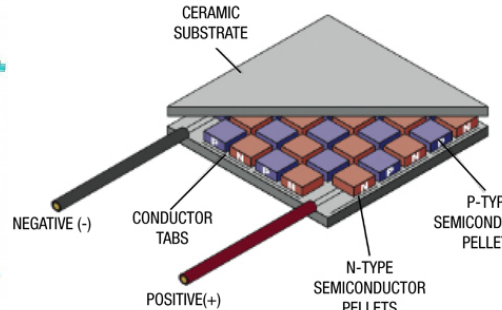
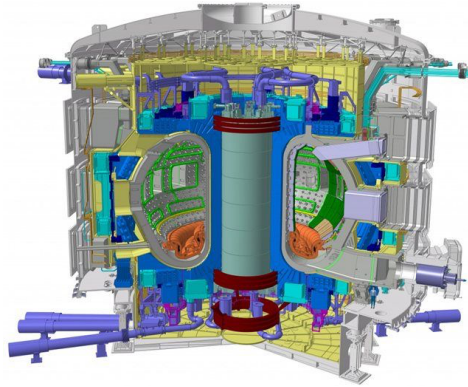


76%

Osa aurinkosähköstä, joka voidaan käyttää suoraan

Kehittyvät energiateknologiat

- Aaltovoima
- Fuusio
- Superakut
- Stirlingkone
- Termosähkö
- Polttokenno
- Fotosähkövety
- ”Energy Harvesting”:
 - $X \rightarrow$ sähköä, $X =$ Liike (tribolinen, piezosähköinen konversio)
 - Valo (aurinkokenno)
 - Lämpö (termosähkö)
 - Polttoaine (polttokenno)
 - Siirto (mikroaalto, sähkö/magneettikenttä)



Raaka-aineiden riittävyys

- $H_2(1)$ ja $He(2)$ universumin yleisimmät alkuaineet; O_2 ja C
- Maakuoren yleisimmät O_2 ja Si (kts taulukko)
- Energiamuutoksessa on kriittisiä raaka-aineita, erityisesti eräät metallit (mm. Pt, harv. maametallit, Li), korvattavissa?



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



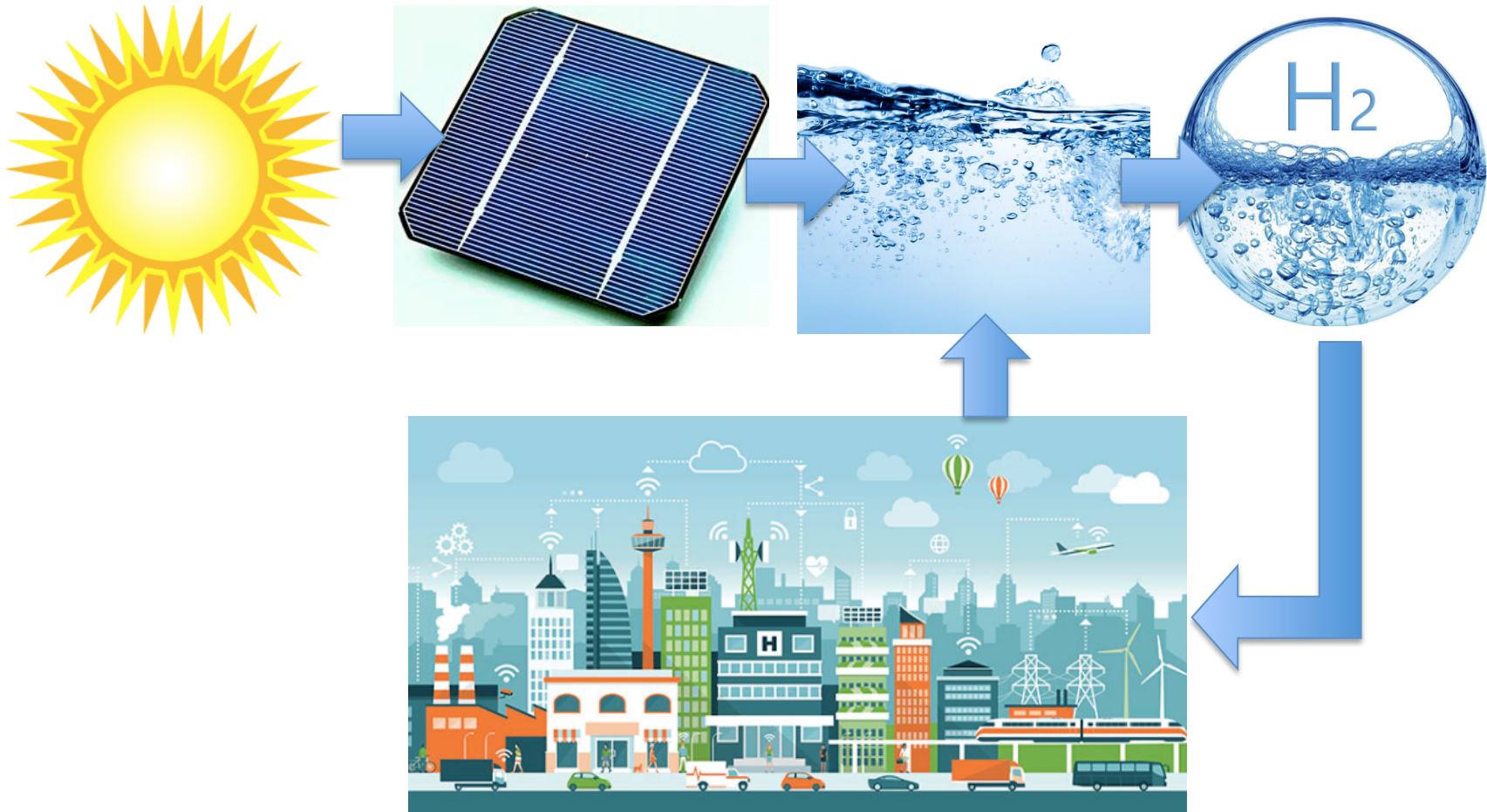
Element	Approximate % by weight
Oxygen	46.6
Silicon	27.7
Aluminum	8.1
Iron	5.0
Calcium	3.6
Sodium	2.8
Potassium	2.6
Magnesium	2.1
All others	1.5

March 2018
Position Paper

Raw materials for the energy transition

Esimerkki - vetytalous

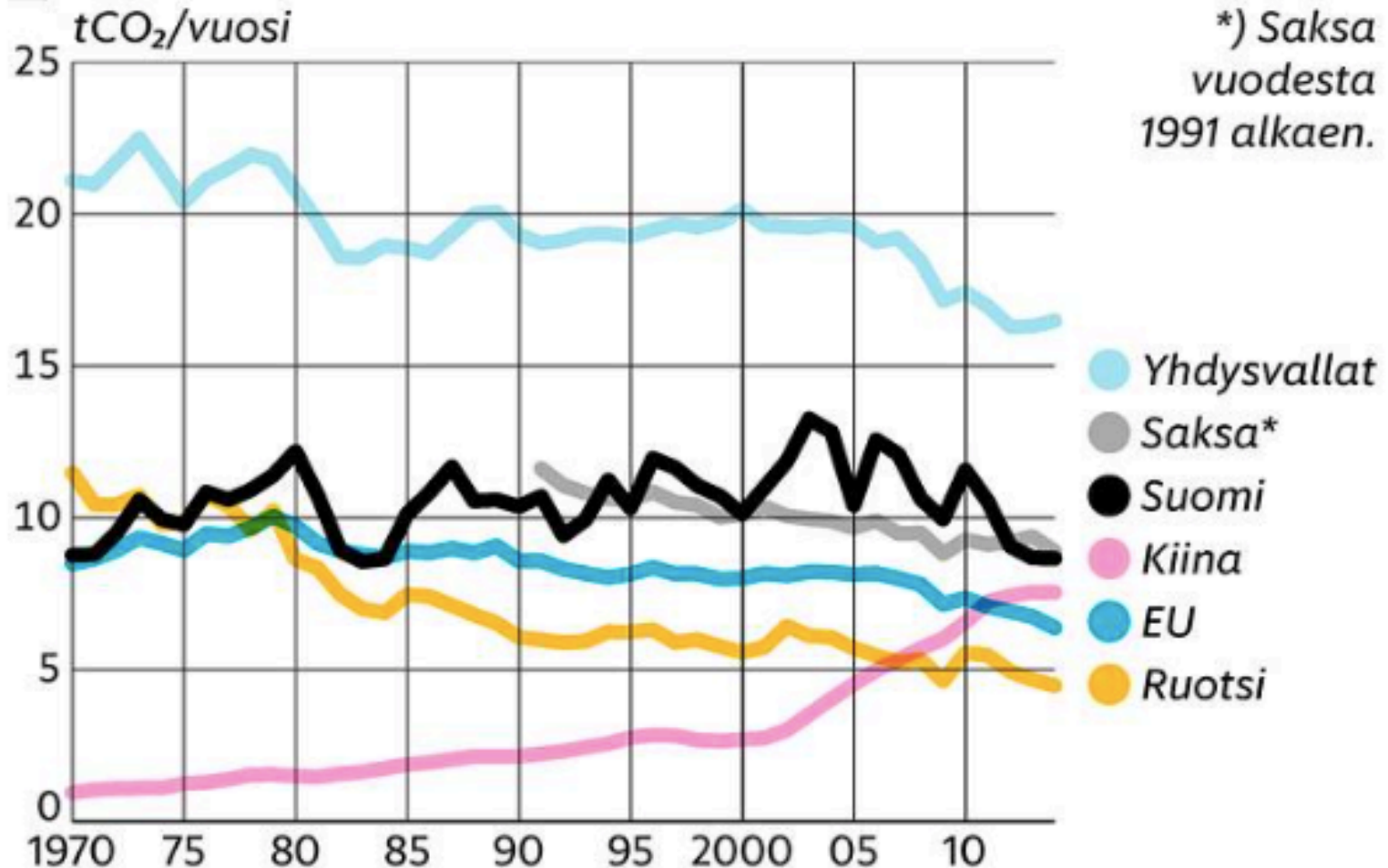
- Runsas raaka-ainepohja (valo, Si, H₂O, C)
- Puhdas, suljettu energiakierto (H₂O + ⚡ ↔ H₂ + 1/2 O₂)



Suomi päästövertailussa

Hiilidioksidipäästöt asukasta kohti

1970–2014, hiilidioksiditonnia vuodessa

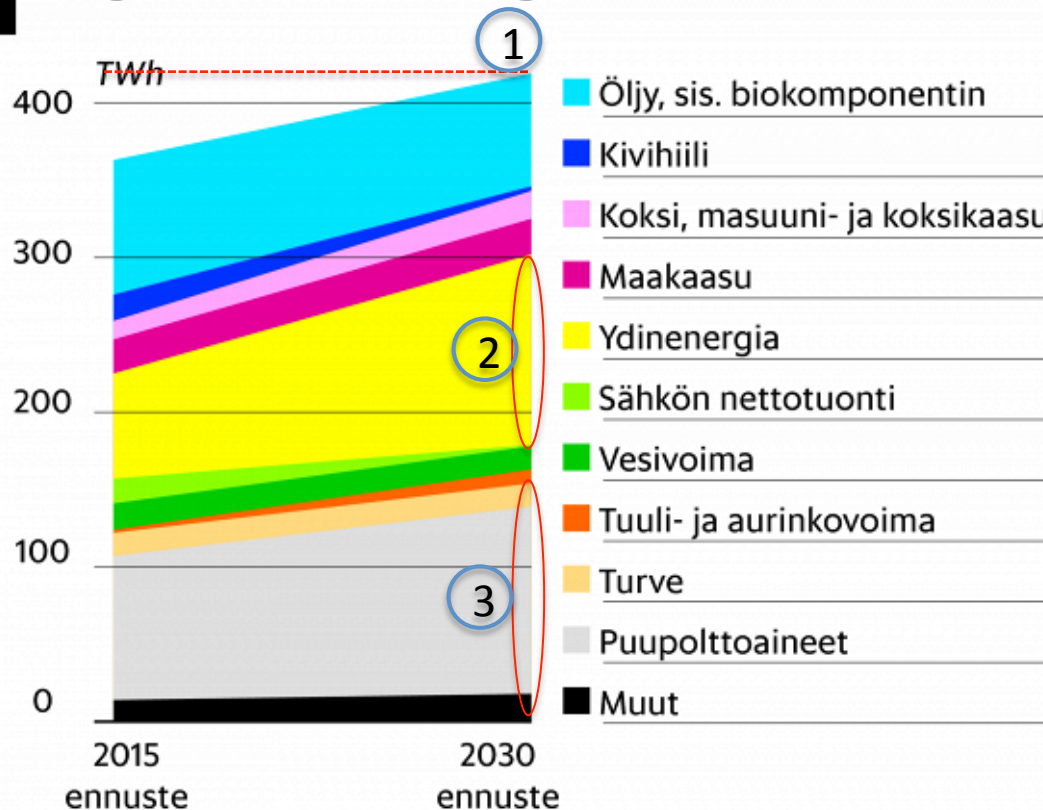


Suomen energiavisio 2030

- Öljyn käyttö 1/2 ; Kivihiili pois; Liikenteen bio-osuus 30%; Uusiutuvat energiat >50% energiasta; omavaraisuus >55%; sähkön tuonti laskee (nyt >20%!); sähköautoja 1/4 milj

Näin Suomen energiapaletti muuttuu

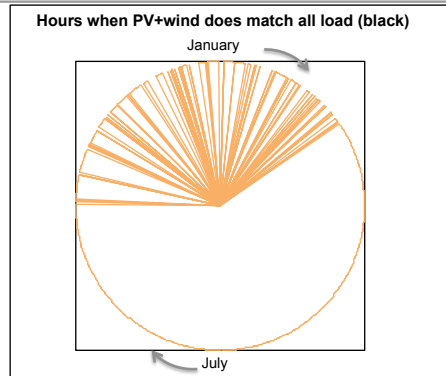
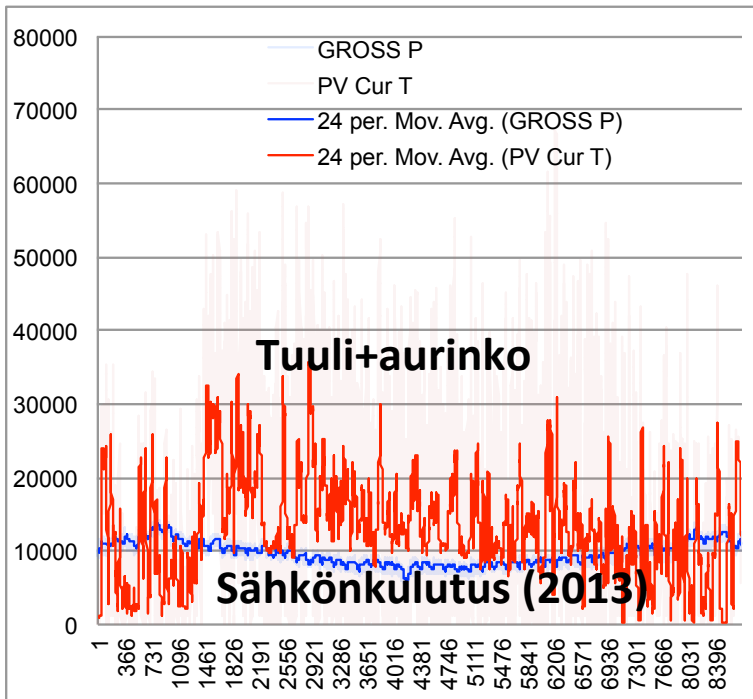
Energian kokonaiskulutus energialähteittäin



- Energiareservit merkittävät
 - Turve
 - Puu
 - Ydinpolttoainetta useiksi vuosiksi
 - Aurinko- & tuulipotentiali suuri

Ajatusleikki:

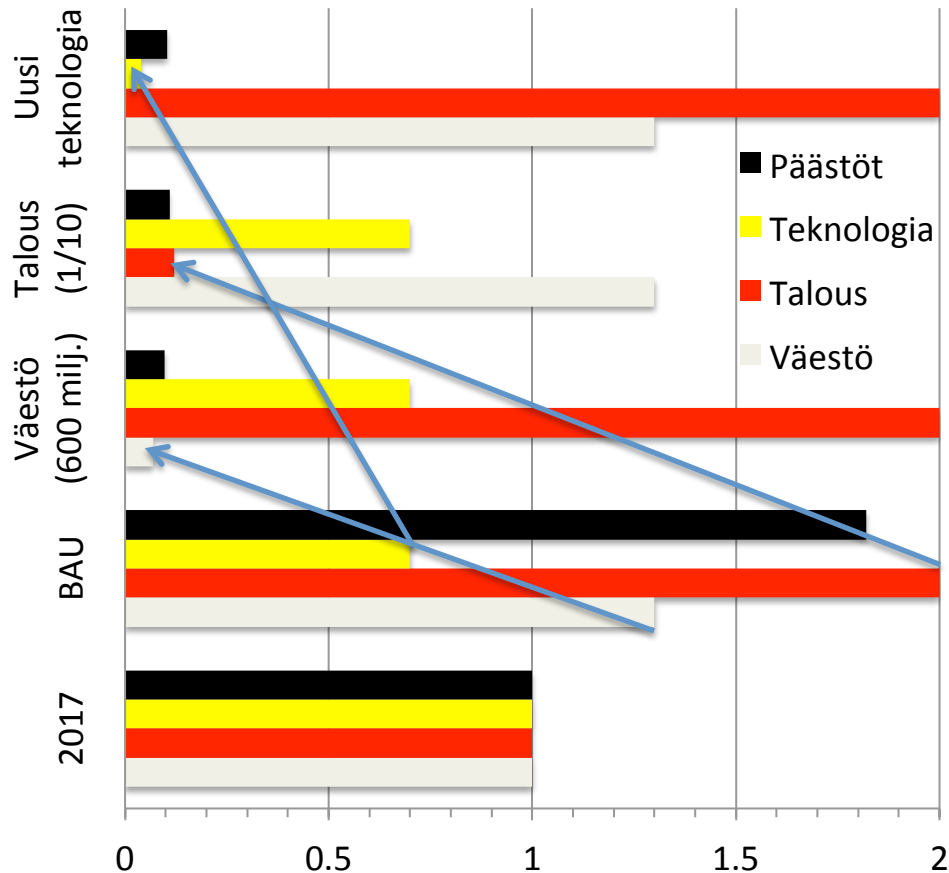
Miten tuottaa 100% Suomen sähköstä auringolla ja tuulella?



- **Strategia:** ylimitoitus, pienet sähkövarastot, ylijäämä lämmöksi ja liikenteeseen (sähköautot)
- **Toteutus: 55 GW aurinkoa & 25 GW tuulta** → 140% sähköstä → ylijäämä 33 TWh liikenteeseen ja lämmitykseen (joustomekanismi)
- Varastointia $2\text{kWh}(\text{var})/1\text{kW}(\text{RE})=$ nykyinen vesivoima tai paljon pieniä akkuja → 90% hetkittäisestä sähköstä → 10% “polttoaineesta”

Eri tekijöiden vaikutus päästöihin

- IPAT Malli (Ehrlich & Holdren)
- **Päästöt (Impact)** = **Väestö (Population)** x **Talous (Affluency)** x **Teknologia (Technology)**



Päästöt vuoteen 2018 verrattuna

Peter Lund 2018