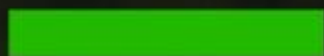




LAND OF THE CURIOUS



26.4.2022

Puhtaan sähköistymisen ja vetytalouden ratkaisut Suomen energiaomavaraisuuden parantamiseksi

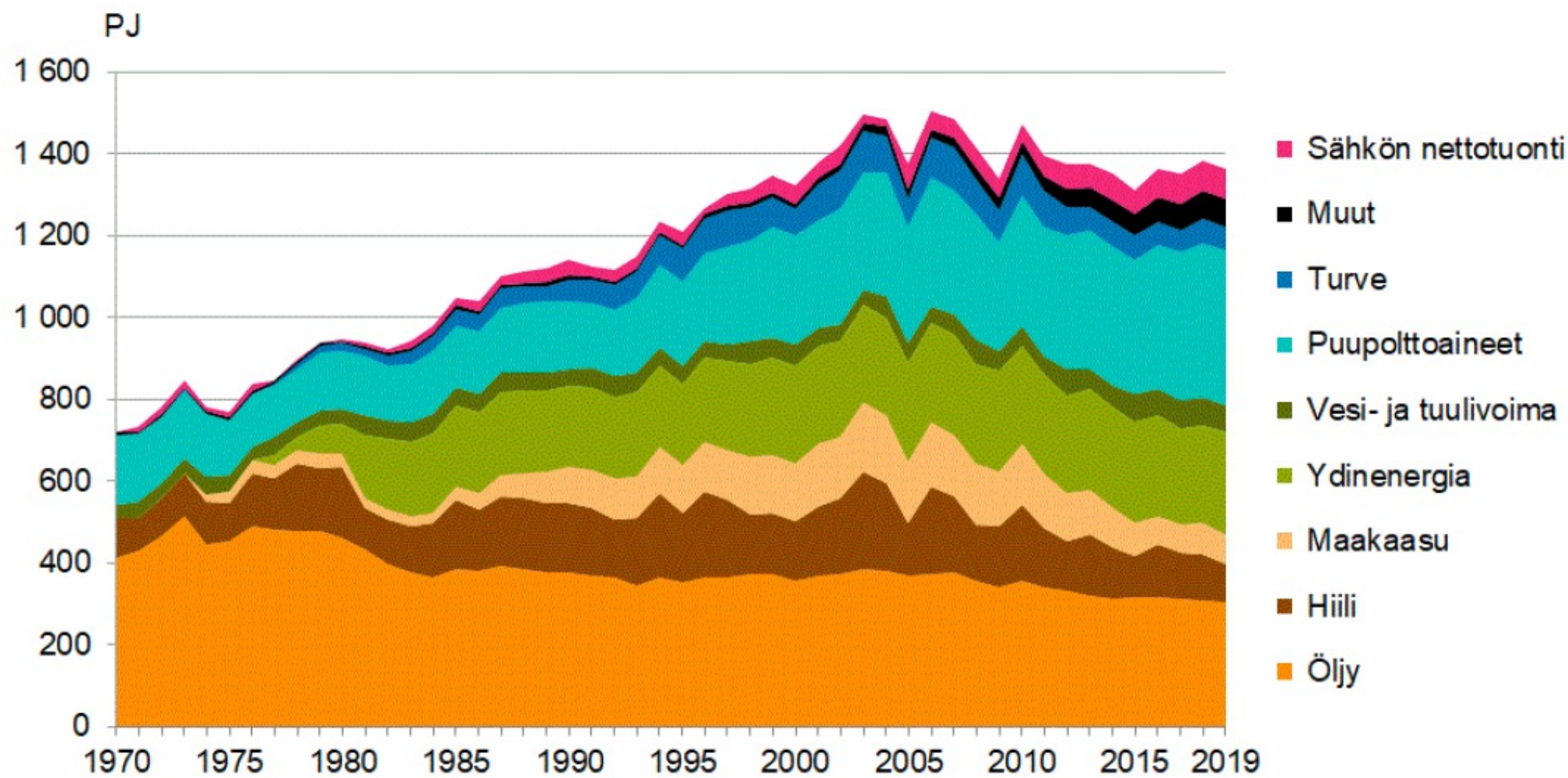
Jero Ahola, professori, LUT

email: jero.ahola@lut.fi

tel: +358 40 529 8524

twitter: [@JeroAhola](https://twitter.com/JeroAhola)

Energian kokonaiskulutus 1970–2019

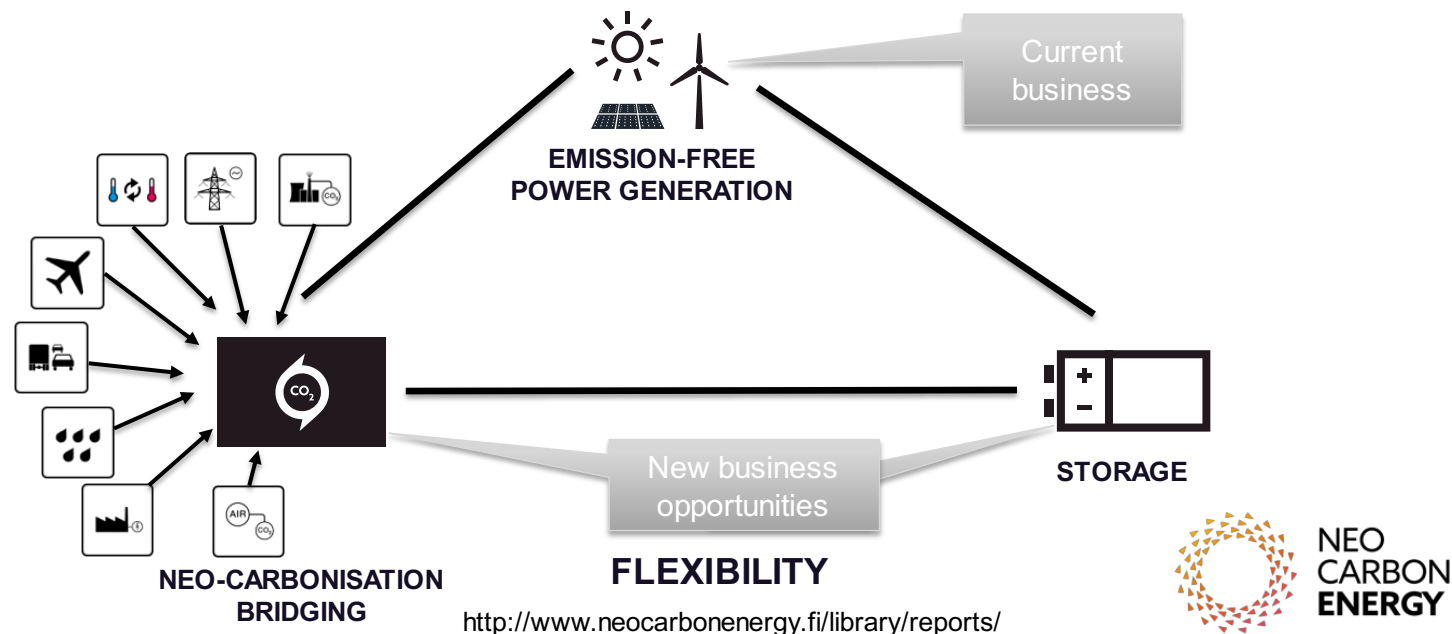


Venäjältä tuodaan Suomeen pääasiassa fossiilisia polttoaineita. Niistä ollaan joka tapauksessa pyrkimässä eroon.

2019	1000 t/Mm3/t	TWh/a	M€/a	Venäjän osuus tuonnista
Hiili	2011	16	135	89 %
Maakaasu	2493	24	562	97 %
Raakaöljy	12451	144	5183	88 %
Öljytuotteet	5667	56	2903	33 %
Sähkö		24	1072	32 %
Ydinpolttoaine	38		86	55 %

Lähde: Tilastokeskus, Energian hankinta ja kulutus, saatavissa:
<https://statfin.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/>

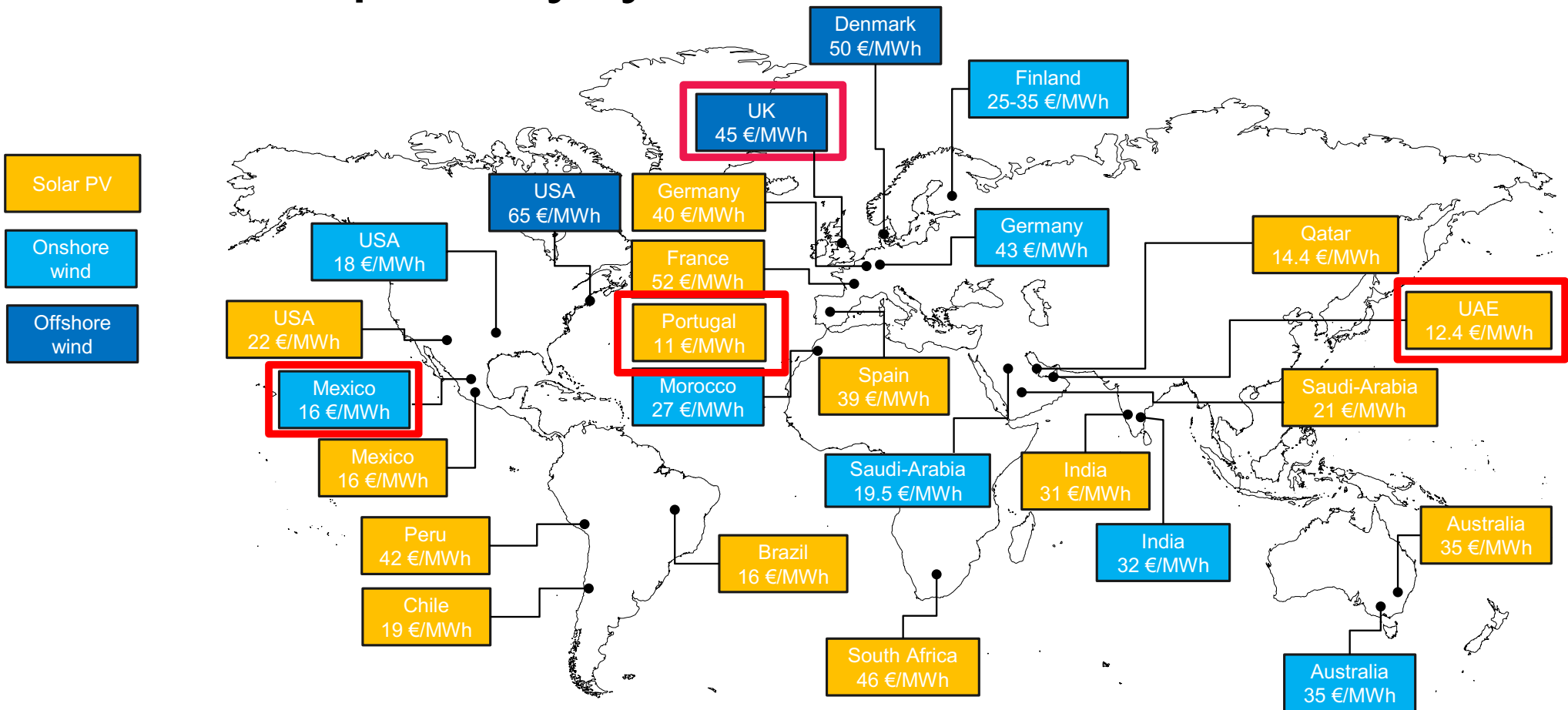
Miten Suomi voidaan irtautua fossiilisista polttoaineista



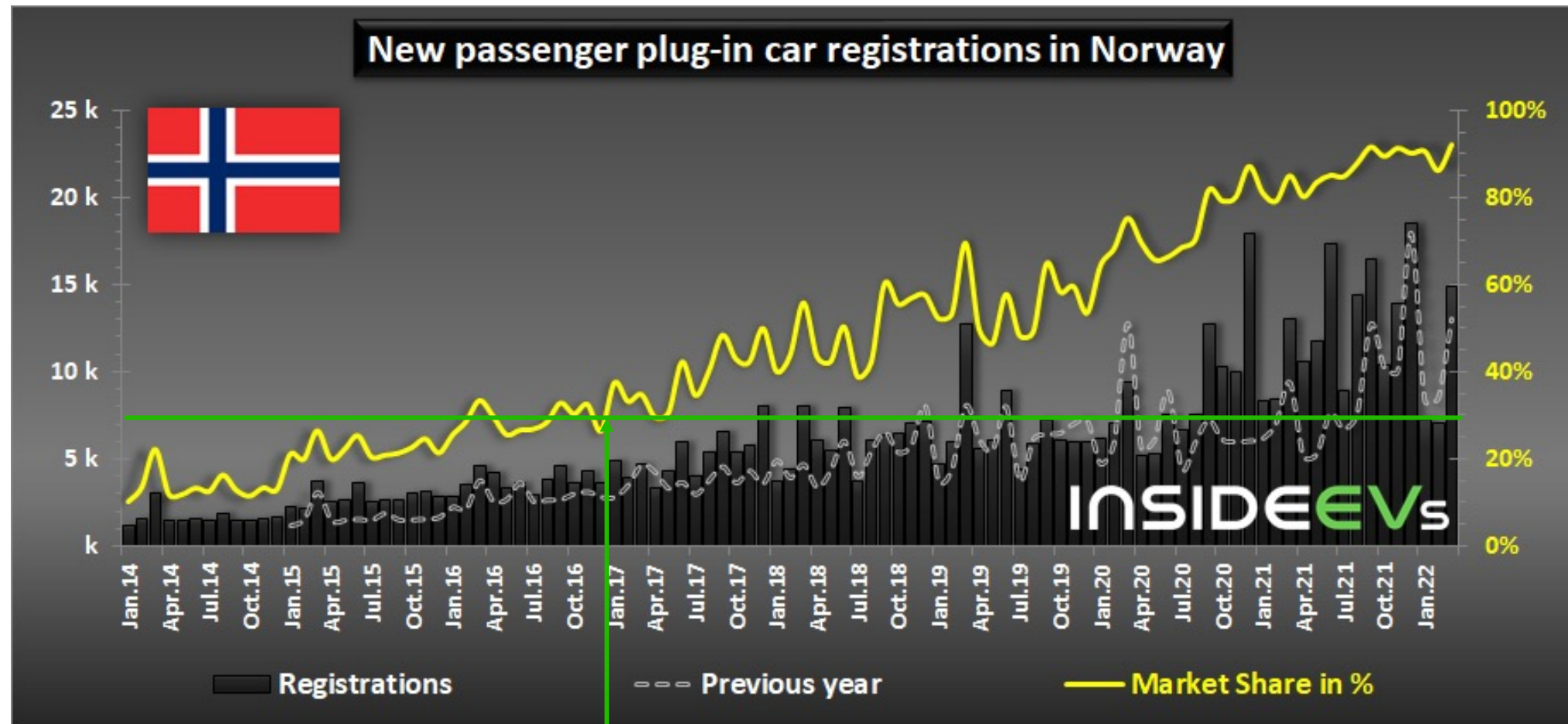
Resepti:

1. Rakennetaan maatuuli- ja aurinkovoimaa, kysynnänjoustoa sekä energiavarastoja.
2. Sähköistetään suoraan kaikki, mitä järkevästi pystytään: lämmitys, liikenne ja teollisuuden prosessit. Parannetaan samalla energiatehokkuutta.
3. Tehdään vedyn ja hiilidioksidin avulla sähköpolttoaineita ja –kemikaaleja, joilla korvataan jäljelle jäävät fossiiliset polttoaineet ja raaka-aineet.

Suomessa maatuulivoimalla tuotettu sähkö on globaalisti kilpailukykyistä



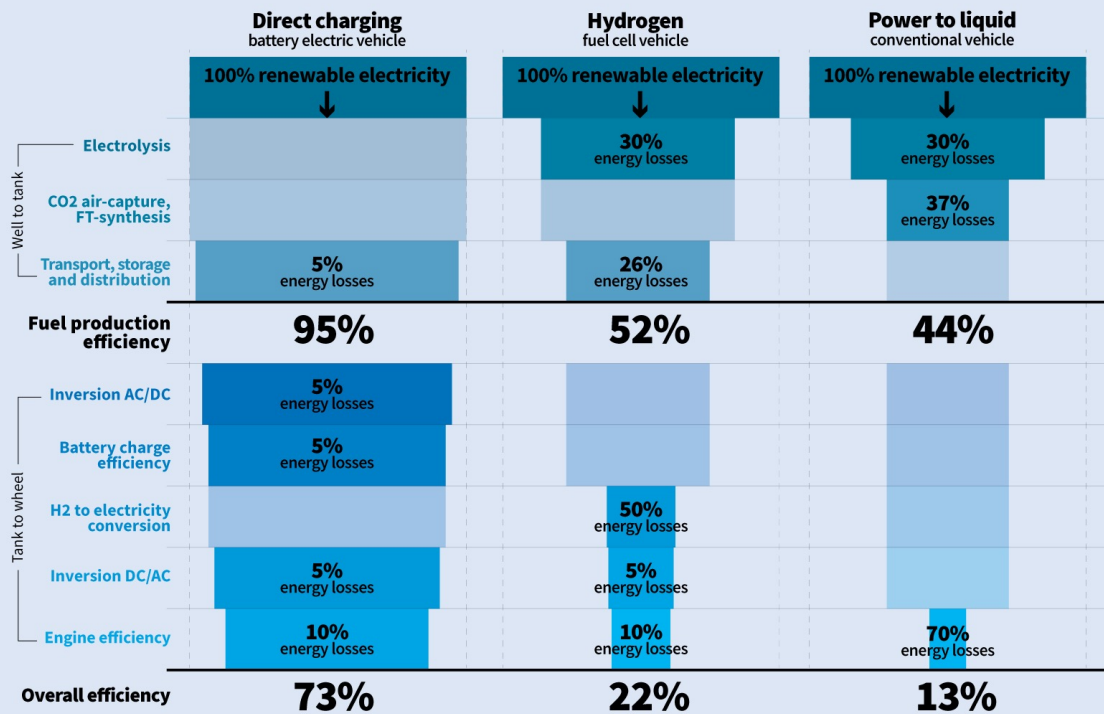
Henkilöautokanta sähköistyy hitaasti, mutta varmasti



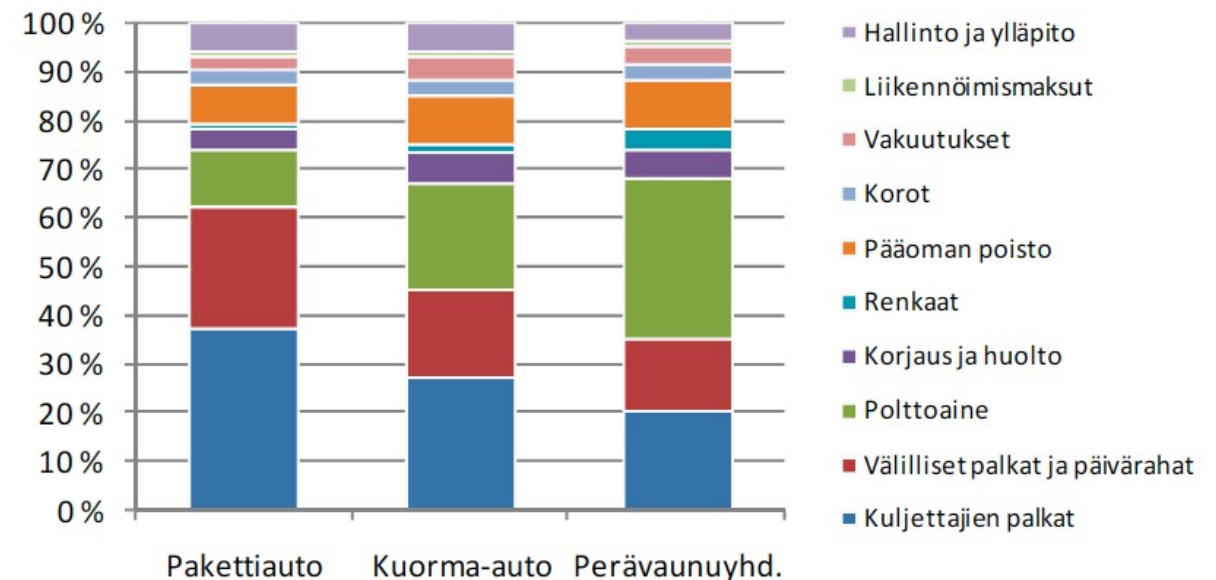
Suomessa ensirekisteröidyistä autoista 30 % oli vuonna 2021 ladattavia.

Energiatehokkuus tulee ohjaamaan voimakkaasti kohti raskaan liikenteen sähköistämistä

Cars: Battery electric most efficient by far

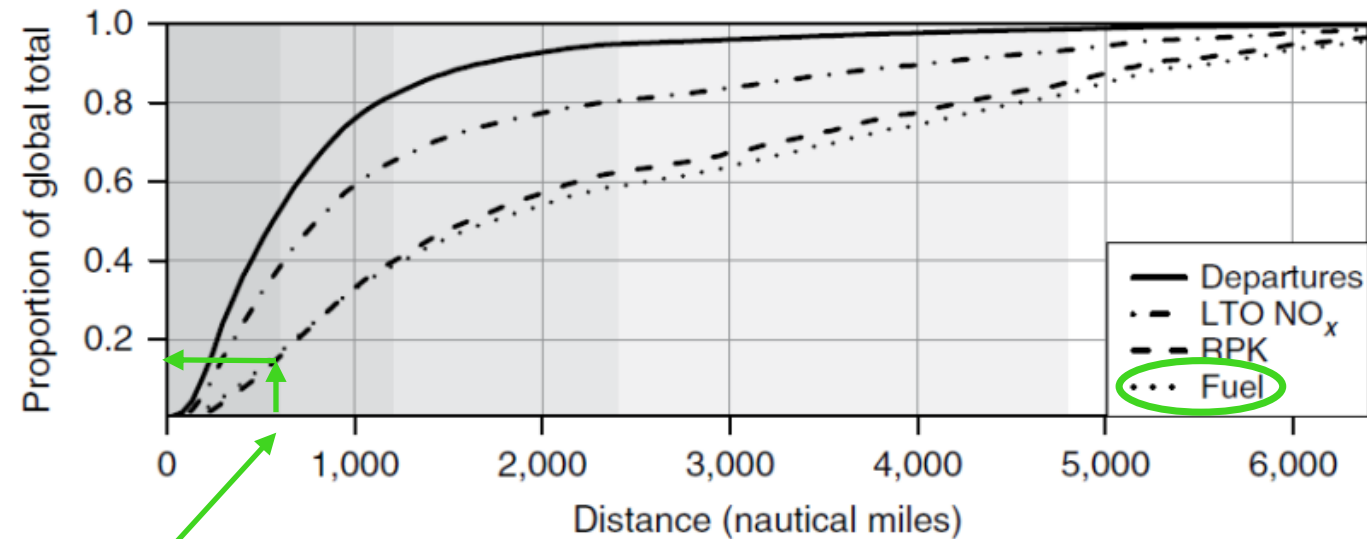
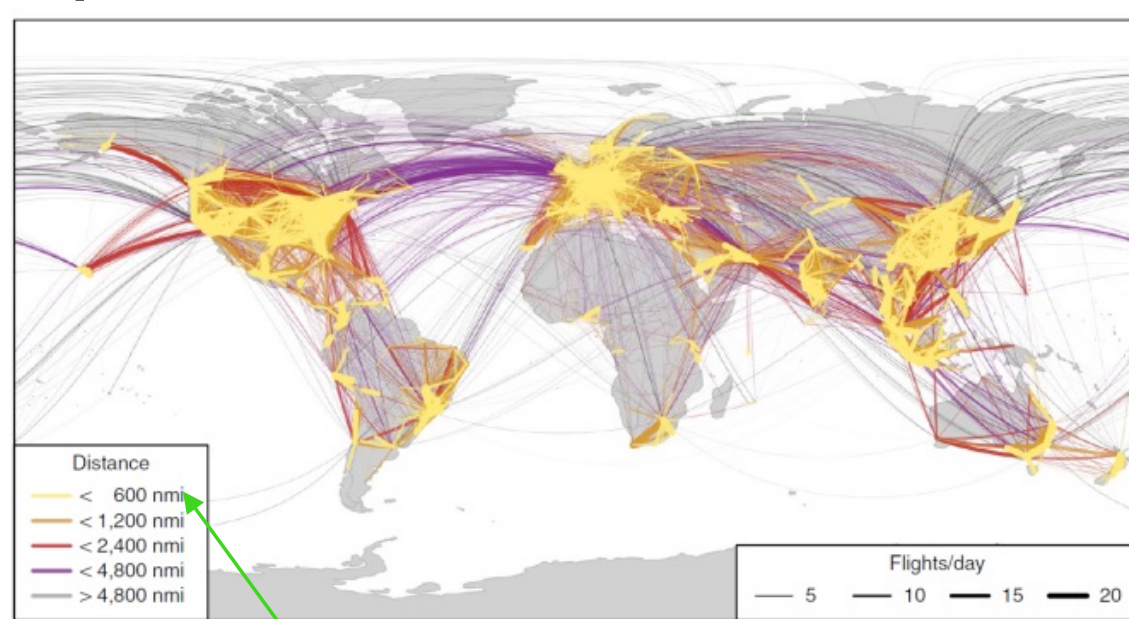


Ajoneuvojen kustannusjakauma %



Lähde: Liikennemarkkinoiden nykytila, Liikenne- ja viestintäministeriö, 2009, <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/78235>

Mantereiden väliset lennot ja mantereiden välinen meriliikenne tarvitsee tulevaisuudessakin kemiallisia polttoaineita



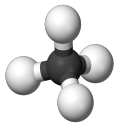
Electric flights at distances < 600 nmil (1100 km)
~15 % of total fuel consumption of battery energy
density 800 Wh/kg will be reached

Source: Andreas W. Schäfer, et. Al., Technological, economic and environmental prospects of all electric aircraft, Nature Energy, Vol. 4, February 2019, pp. 160-166.

Mahdollisia sähköpolttoaineita ja kemikaaleja

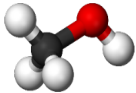
Hydrogen (H_2)

- Can be used in fuel cells or as a mixture with methane in combustion engines
- Energy efficient to make, just water electrolysis needed
- Non-toxic, not greenhouse gas, storage may be problematic (e.g. pressurized, liquefied, etc.)



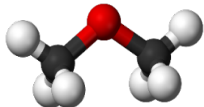
Methane (CH_4)

- Can be used as a transport fuel and seasonal storage (gaseous form or liquefied)
- Simplicity - the synthesis process can produce pure methane
- Strong greenhouse gas, non-toxic



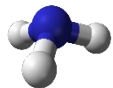
Methanol (CH_3OH)

- Liquid fuel at standard conditions, easy to store and can be used as drop-in fuel
- Important role as feedstock in chemical industry, e.g. route to plastics with methanol-to-olefins (MTO) synthesis
- Toxic and corrosive



Dimethyl ether (C_2H_6O)

- Synthesis from methanol with e.g. silica alumina catalyst
- Direct replacement to diesel, high cetane number ~60 (diesel ~50), non-toxic, not greenhouse gas
- Gaseous at standard conditions, can be stored as liquid form at 0.5 MPa, (@20 C, $\rho=0.67$ kg/l, LHV = 28.5 MJ/kg)



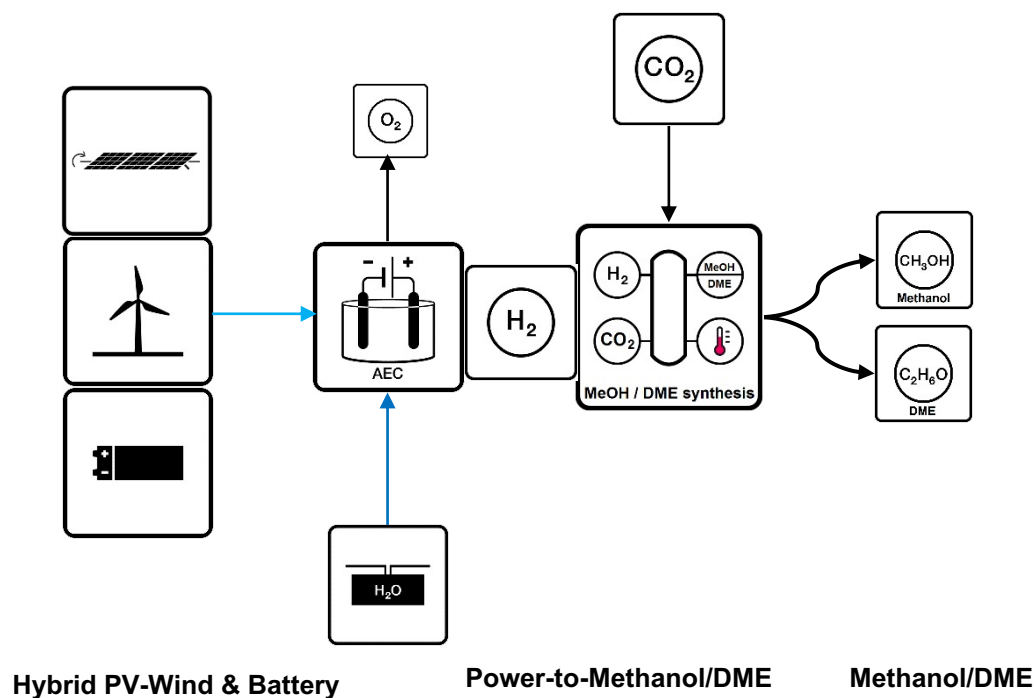
Ammonia (NH_3)

- Fertilizer and feedstock for chemical industry, toxic, flammable gas
- Can be used also as energy storage and fuel (energy density ~11.5 MJ/l)
- Air as a source of nitrogen (78 % of N_2) available everywhere

Fischer-Tropsch products (C_nH_{2n+2})

- Produces different hydrocarbon chains (C_nH_{2n+2}) where n is typically 10-20.
- With hydrocracking these can be further refined to direct replacements of fossil fuels
- Starting point is syngas, it has to be first produced with reverse-water-shift-gas reactor from H_2 and CO_2

Sähkömetanolin tuotantoprosessi (CH₃OH)



Summary:

- Water electrolysis: $\eta_{el} \approx 65 \%$ (LHV)
 - Waste heat at temperature level 70-80°C
- Methanol synthesis: $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$
 - Copper and zinc-based catalyst, 150-200°C, 50-100 bar
 - Distillation needed to separate methanol from water, the steam produced by the synthesis can be used for this purpose
- Methanol-DME synthesis:
 - Silica-alumina catalyst
- Power-to-Methanol/DME efficiency $\approx 50\text{-}55 \%$

Sähköpolttoaineita voitaisiin Suomessa tehdä esimerkiksi vedystä ja metsäteollisuuden hiilidioksidista

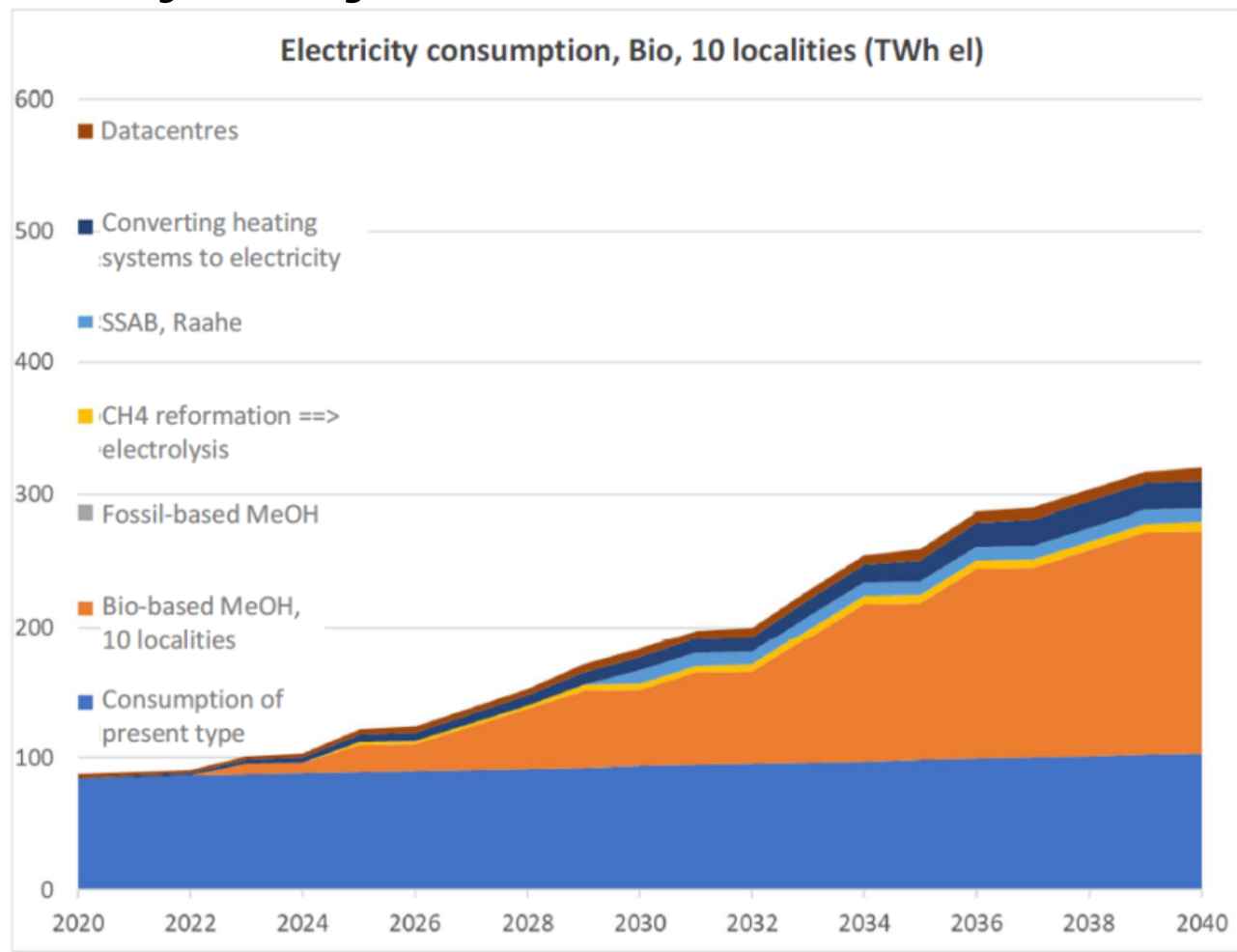


Figure 5. Increase in demand for electricity if the carbon dioxide emissions of chemical pulp plants (21 million tonnes CO₂) are recycled to create fuels

Suomessa on valtava maatuulivoima- potentiaali

Assumptions: 1 turbine/km², filling ratio 10% in selected areas, the whole country level filling ratio 3,7 % + current construction.
Danish objective 2030 is 4,1 % of land area for filling factor. Capacity factor 53%

Source: <https://globalwindatlas.info/>

Pohjois-Lappi
Kainuu & Etelä-Lappi
Etelä-Karjala & Savo
Etelä-Suomi ja Kymi
Varsinais-Suomi ja Etelä-Pohjanmaa

km2	Height				No of units	Production				Production			
	Height 150		200			150 m		AEP/alue		200 m			
	m/s				10 %	GWh/unit		TWh/a		GWh/unit		TWh/a	
47 000	8,0	9,0	8,7	10,0	4700	21,0	22,25	99	105	22,3	22,3	105	105
33 000	8,0	8,8	8,7	9,8	3300	21,0	22,25	69	73	22,3	22,3	73	73
12 000	8,0	8,7	8,7	9,5	1200	21,0	22,25	25	27	22,3	22,3	27	27
14 000	7,5	9,0	8,8	9,8	1400	19,2	22,25	27	31	22,3	22,3	31	31
18 000	7,9	8,5	8,6	9,6	1800	20,5	22,25	37	40	22,3	22,3	40	40
124 000					12 400			257	276			276	276

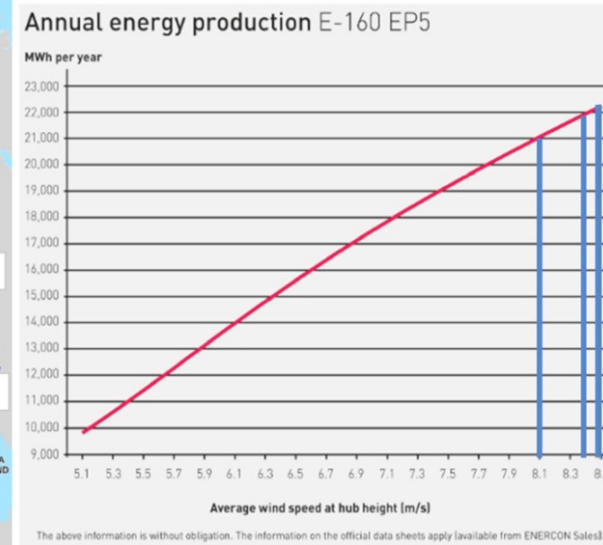
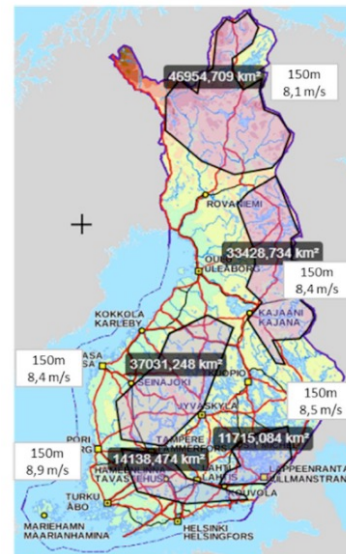


Figure 10. Wind power construction areas (shown in purple on the map) on the basis of wind speed.
Source: <https://globalwindatlas.info/> and the annual generation curve of an Enercon EP5-160 turbine

Vaihtelevan sähköntuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseen tarvitaan kysynnän joustoa ja erilaisia energivarastoja

