

# Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä Suomessa (RePower-CEST –hanke)

Tomi J. Lindroos (VTT)  
**Puhtaan siirtymän uusia tuulia,**  
ti 23.9.2025 klo 13–16



**Euroopan unionin rahoittama**  
NextGenerationEU

**Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä**  
(REPower-CEST)

An aerial photograph of a dense forest with a winding river. The river is a vibrant blue color, contrasting with the green and yellow foliage of the trees. The river flows from the top right towards the bottom right, with a sharp U-shaped bend on the left side. The forest is composed of various types of trees, some with bright yellow leaves, suggesting an autumn setting.

**RePowerEU käynnistetty 2022 reaktiona  
Venäjän hyökkäyssotaan.**

**Komission kanavoima rahoitus 300 Mrd. EUR  
– investointitukia, tutkimusta, hallinnon  
kehittämistä.**

**Tavoitteena korvata Venäjältä tuotu energia.**

# RePower-CEST projekti

## Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä (REPower-CEST)

Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä -hankkeessa (REPower-CEST) luodaan kokonaisvaltainen näkemys fossiilisia polttoaineita korvaavan puhtaan energiajärjestelmän ratkaisukeinoista, vaikutuksista, toteuttamisen haasteista ja mahdollisuuksista.

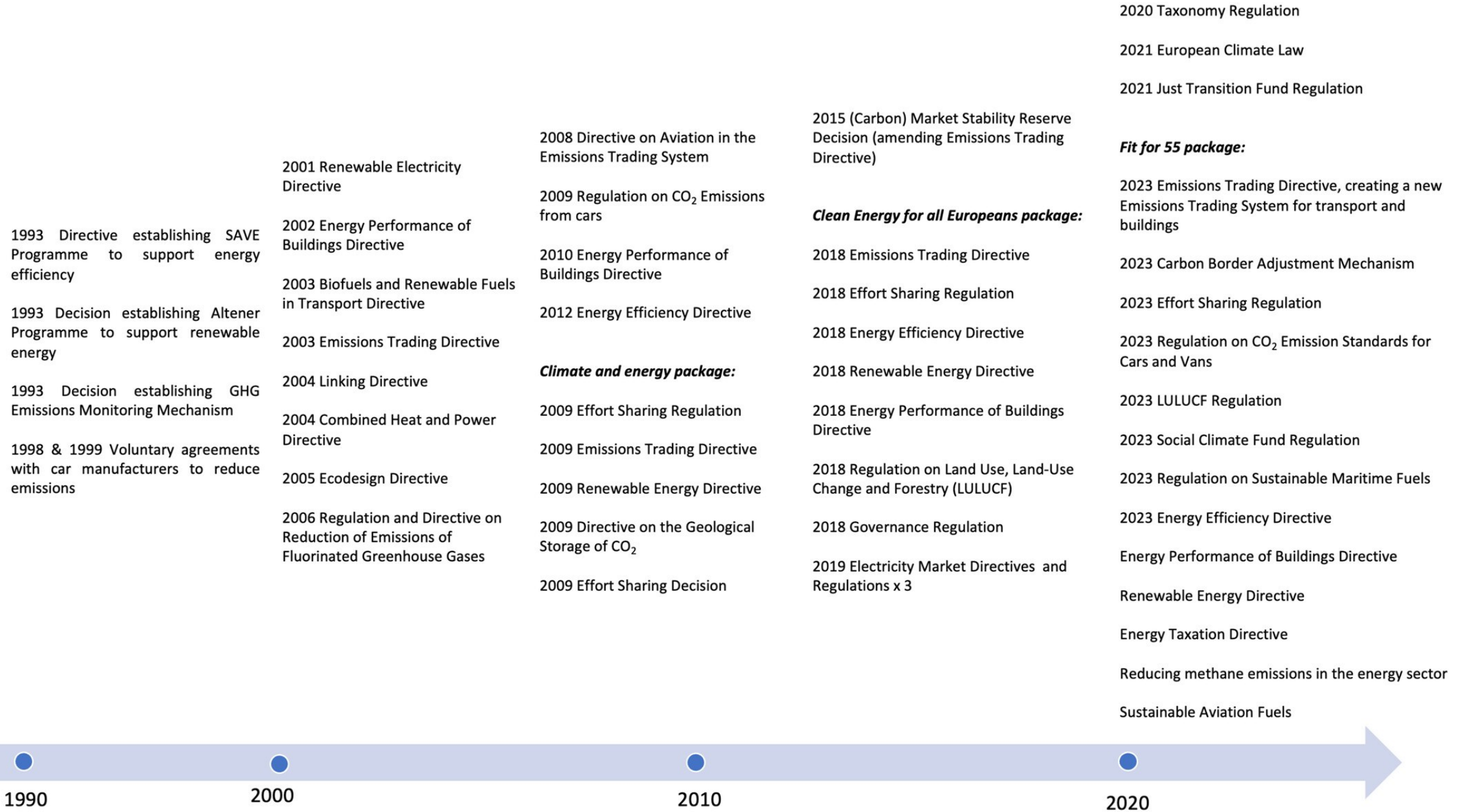
- SYKE, VTT, GTK
- Tulokset: raportteja, webinaareja, työkaluja, jne
- <https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/projektit/repower-cest/>

# **Merkittävä määrä keskeisiä ohjauskeinoja päätetään EU-tasolla**

**Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä  
(REPower-CEST)**



**Euroopan unionin  
rahoittama  
NextGenerationEU**



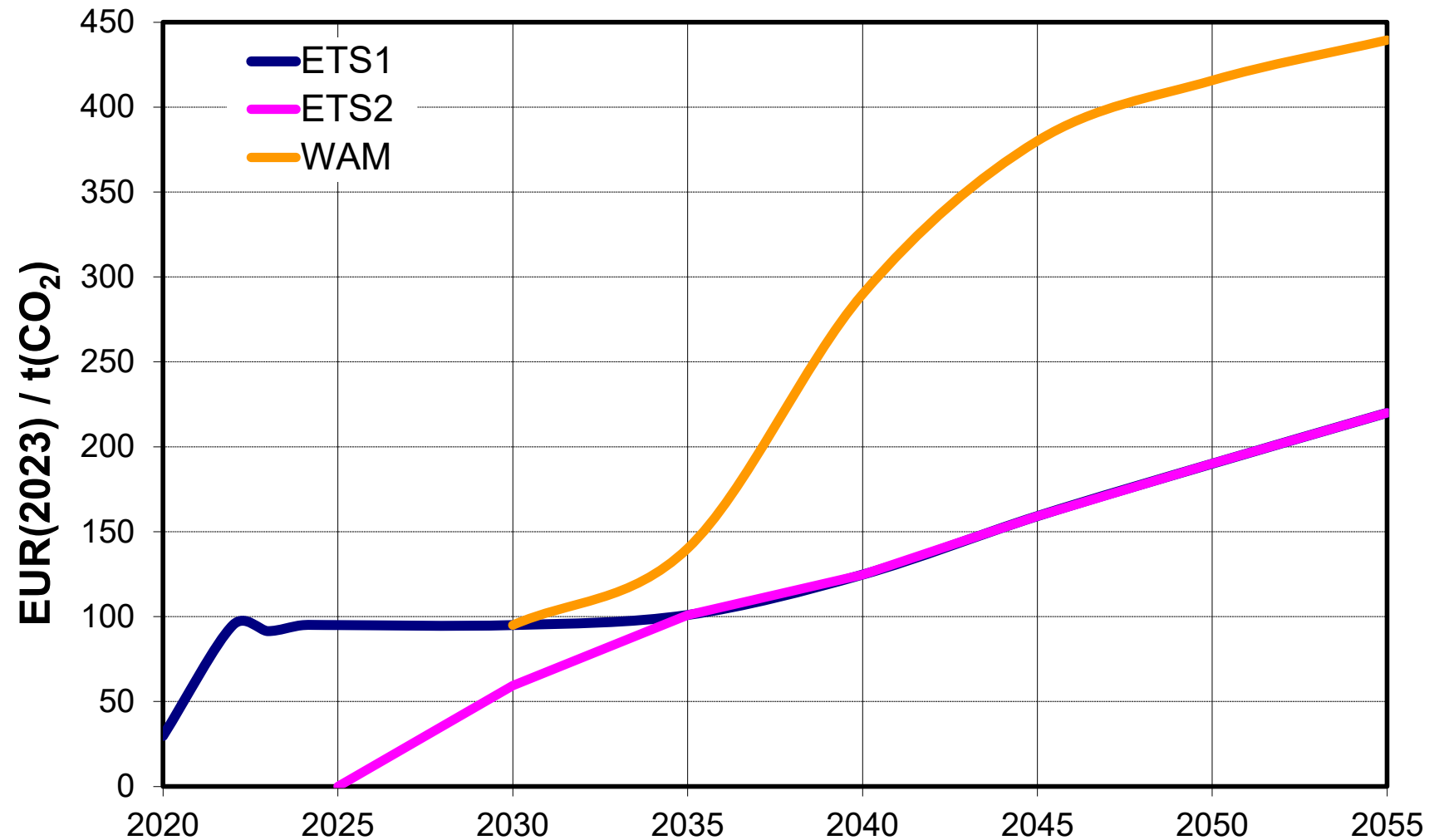
# Komission suositus päästöoikeuksien hintakehitykselle skenaariomallinnuksessa

ETS1 = teollisuuden ja sähkön- ja lämmöntuottajien päästökauppa

ETS2 = uusi päästökauppa mm. liikenteelle ja lämmitykselle

Päästökaupassa säädellään yksiköiden lukumäärää ja hinta muodostuu markkinoilla.

Komission suosituksen tavoitteena mm. yhdenmukaistaa mallinnuksia ja viestiä tämän hetken käsitystä tulevasta ohjauksesta.



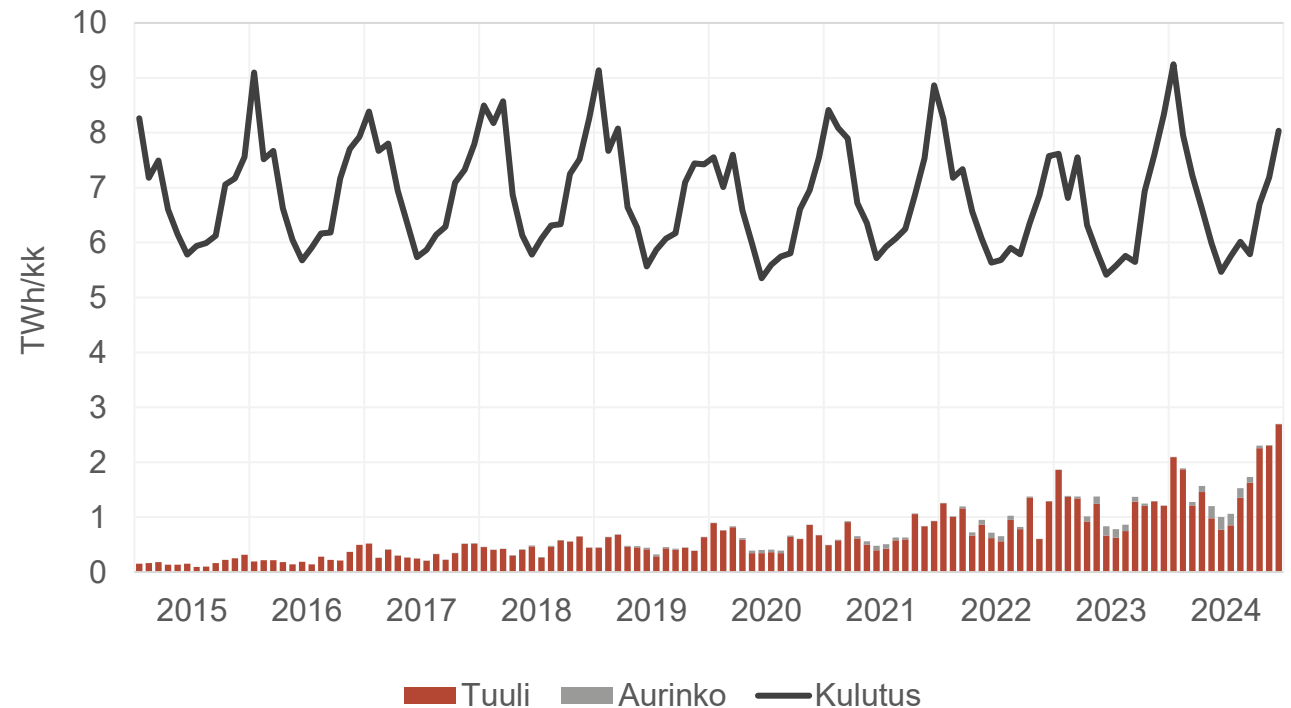
# Puhtaan siirtymän järjestys:

1. Sähkö ja kaukolämpö
2. Autot, lämmitys, osa teollisuutta
3. Teollisuuden hankalimmat päästölähteet, raskas liikenne, maatalous, metsänielut

**Huom:** Paljon maakohtaisia eroja, mutta iso kuva silti hyvin samankaltainen

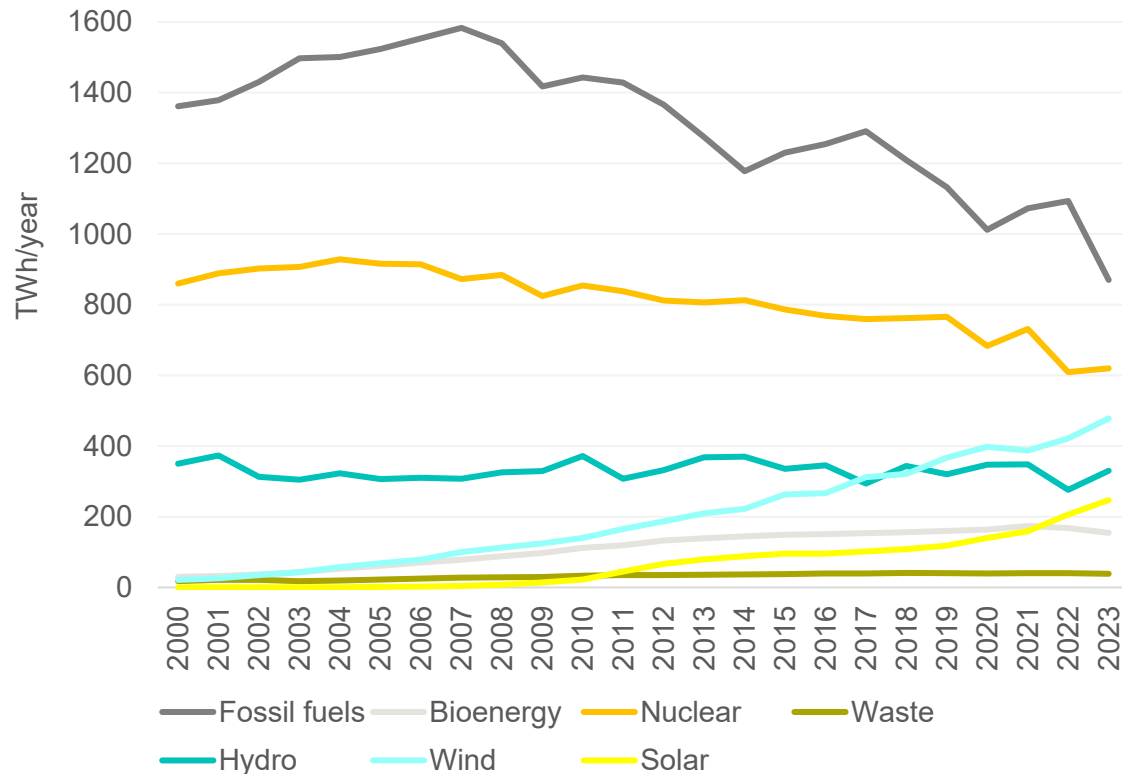
# Aurinko- ja tuulivoima nopeassa kasvussa Suomessa...

- Tuuli- ja aurinkovoiman osuus tuotannosta on kasvanut nopeasti viimeisen 10 vuoden aikana
- 2024 valmistui 1.4 GW tuulivoimaa (8.4 GW yhteensä), 2025 alussa rakenteilla on 1.1 GW, luvitettu ja kaavoitettu on 6 GW. YVA-vaiheissa on ~30 GW.
- Fingridin arvion mukaan Suomessa oli 1.1 GW aurinkovoimaa 2024 lopussa. 2025 aikana valmistunee ~700 MW suuria aurinkopuistoja ja pienkuluttajien asennukset, yhteensä melkein 1 GW?
- Taloudellinen epävarmuus hidastanut kehitystä aiemmista arvioista



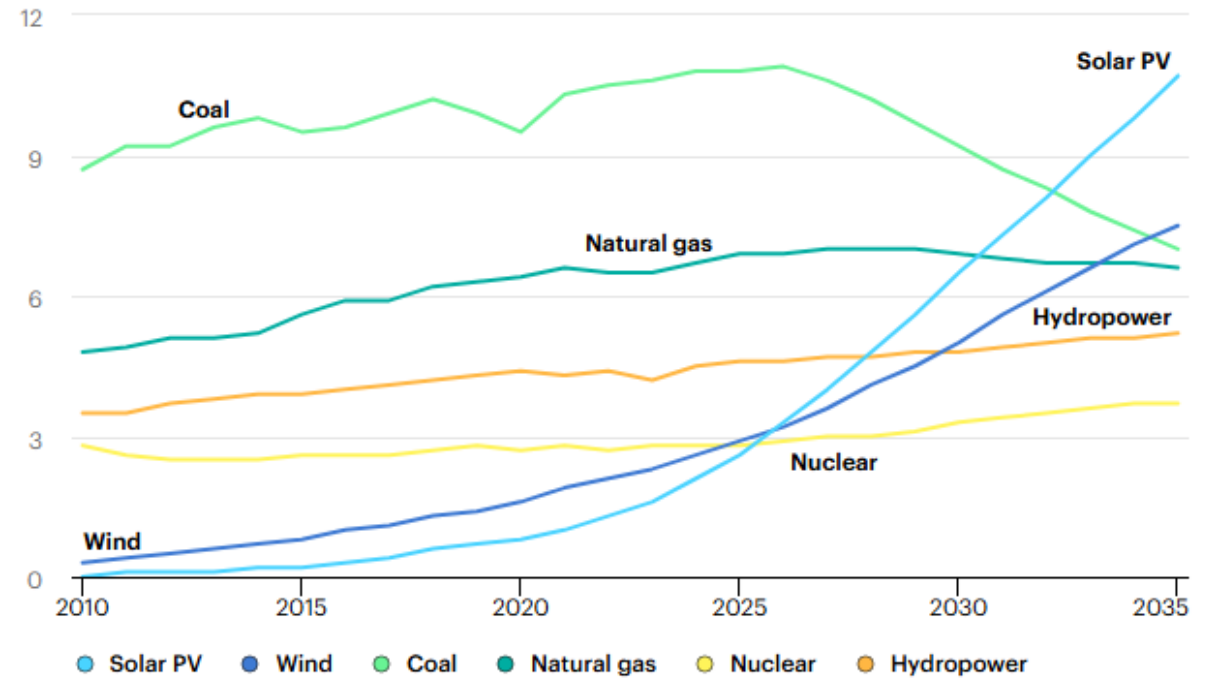
# ... EU:ssa ja maailmalla

## EU:n sähköntuotanto



Lähde: Eurostat

thousand TWh World electricity generation in the Stated Policies Scenario, 2010-2035



Lähde: IEA <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-electricity-generation-in-the-stated-policies-scenario-2010-2035>

# Uusiutuvan tuotannon integroinnin vaiheet

Vaihe 1: Ei merkittävää vaikutusta järjestelmään

Vaihe 2: Pieni tai kohtalainen vaikutus, kuten säätävän tuotannon lisääntyvä tarve. Pohjoismaissa pääasiassa vesivoima ja rajasiirrot hoitaneet.

Vaihe 3: Vaihteleva tuotanto määrittää järjestelmän operaatiota lisäten nettokulutuksen vaihtelua ja edellyttäen lisää joustavaa tuotantoa ja kulutusta.

Vaihe 4: Vaihteleva tuotanto pystyisi hetkittäin kattamaan kaiken kulutuksen -> Kuinka järjestelmä vastaa yhä kasvavaan vaihtelevuuteen? Mitä tarvitaan jotta vaihe 4 mahdollinen?

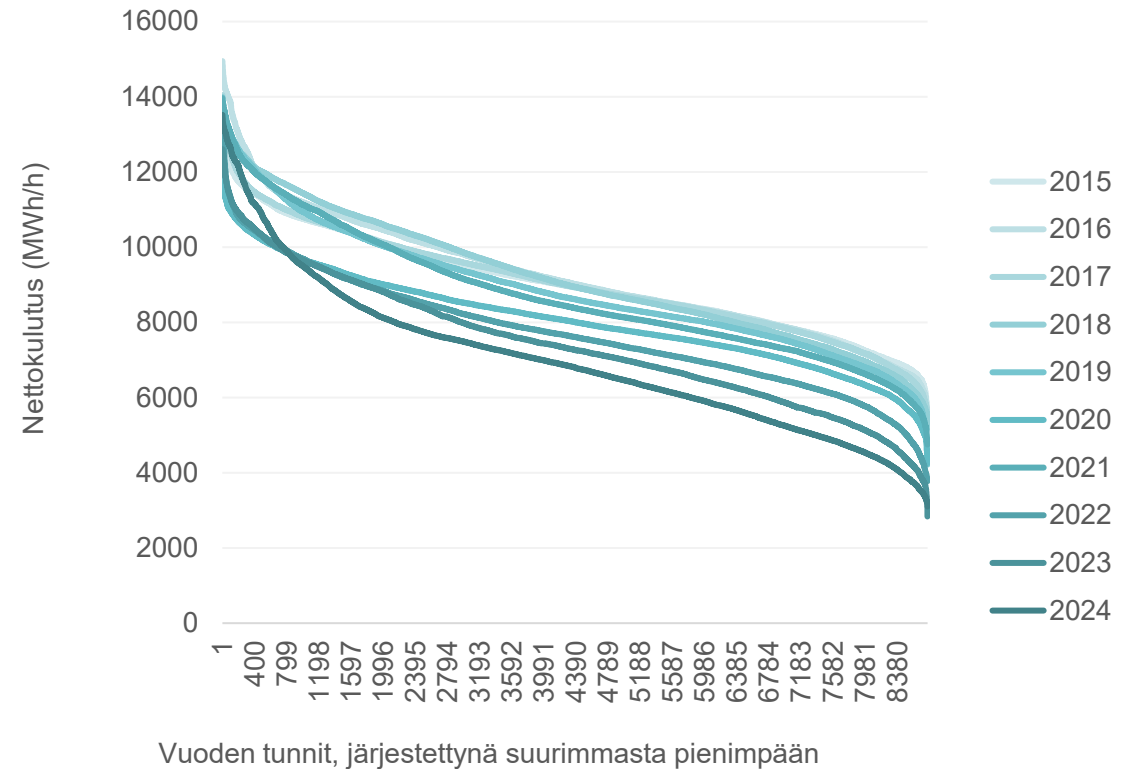
Vaihe 5: Merkittävää tuulen ja auringon ylijäämää ympäri vuoden -> Kuinka voidaan varastoida ja hyödyntää taloudellisesti? Miten voisi olla kannattavaa sekä tuottajalle että kuluttajalle?

Vaihe 6: Vaihteleva tuotanto vastaa melkein kaikesta tuotannosta -> Pitkien aikavälien vaihtelut kriittisiä, kuten kuivat tai vähätuuliset vuodet.

Mukautettu lähteestä <https://www.iea.org/reports/integrating-solar-and-wind/infographic-six-phases-of-variable-renewables-integration>

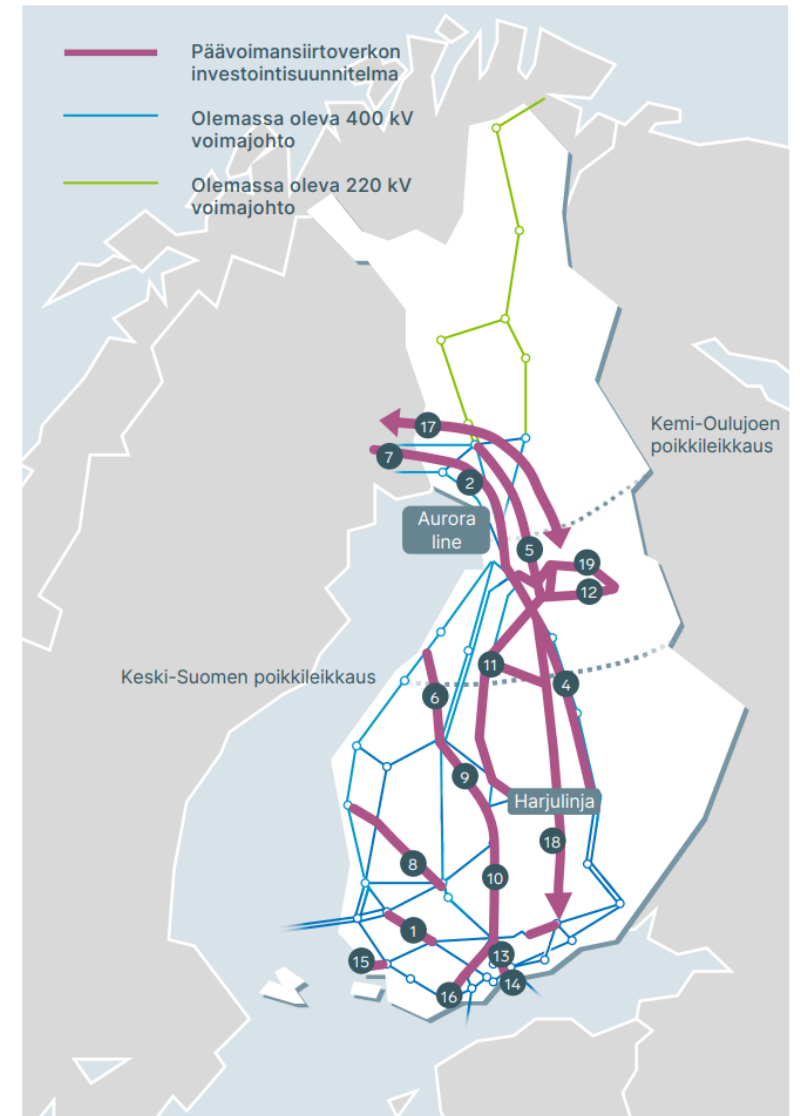
# Sähkön saatavuus

- Lisää kotimaisen tuotannon osuutta, mahdollistaa kiinteistökohtaisen tuotannon
- Aurinko ja tuuli ovat paikallisia uusiutuvia eivätkä siten suoraan alttiita esim. geopoliittisille ongelmille
- Vaihtelevuus vaatii joustoa, säätövoimaa ja pitkällä aikavälillä myös uusia energiavarastoja
- Talvikauden huipputeho saattaa muodostua ongelmaksi, joka vaatii erillisiä ratkaisuja.



# Sähkön saavutettavuus

- Mahdollistaa paikallista tuotantoa, mikä voisi vähentää investointitarpeita
- Käytännössä kumminkin Suomi ja laaja maa ja uusiutuvat muuttavat verkon tuotantopisteitä ja vaativat merkittäviä lisäinvestointeja
- Fingridin tavoitteena lisätä rajasiirtokapasiteettia nykyiseltä ~3.5 GW tasolta noin 4.3 GW:iin vuonna 2026 ja noin 5 GW:iin vuonna 2031. Uudet investoinnit erittäin hitaita.
- Uusia sähköliittymiä rajoitetaan jo Etelä-Suomessa ja uutta tuotantoa mm. Pohjanmaalla.



Fingrid; Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024-2033

# Vaikutukset sähkön hintaan

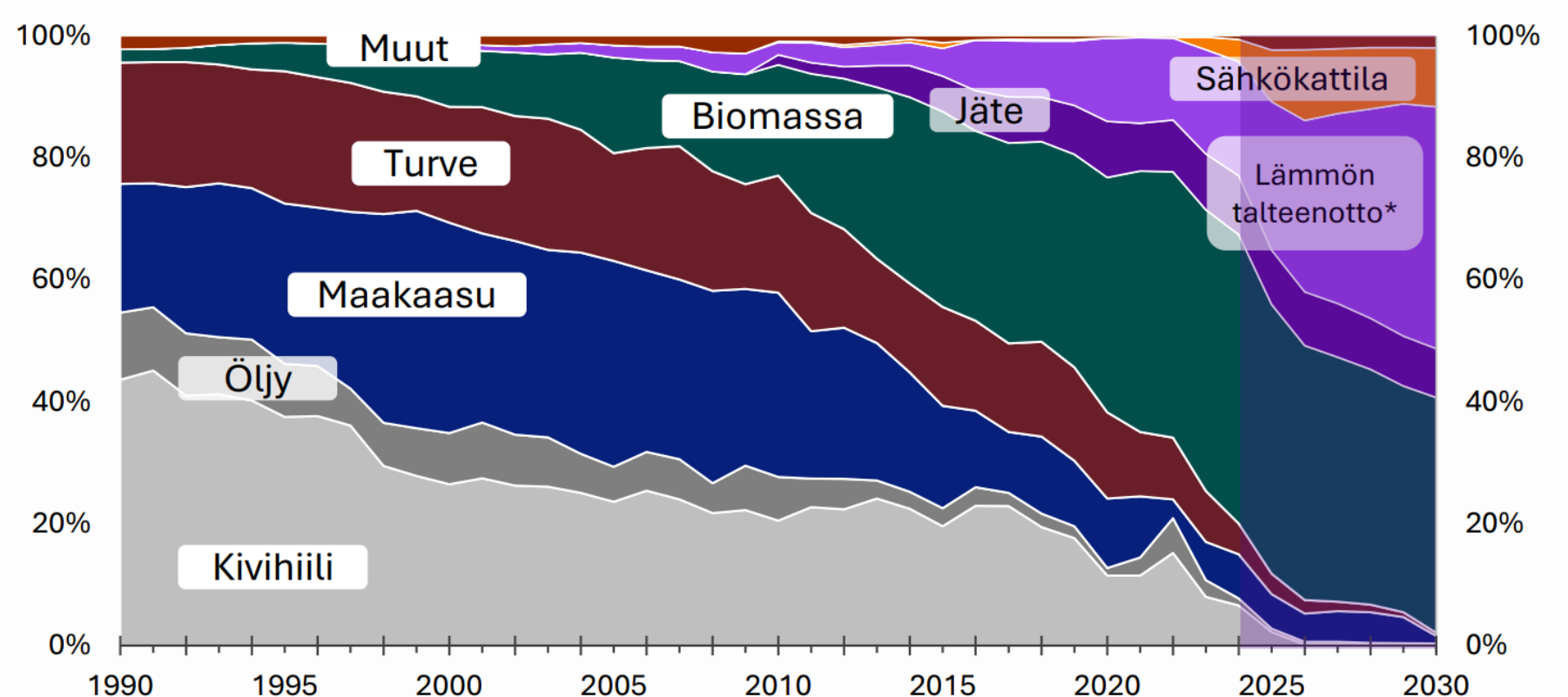
- Tuulen ja auringon marginaalikustannus on matala ja osittain suojaa esim. fossiilisten hinnanmuutoksilta
- Vaihteleva tuotanto aiheuttaa hintapiikkejä, joihin viime vuosina osasyynä ovat olleet myös muiden laitosten ja siirtoyhteyksien vikaantumiset
- Pörssisähkön laskeva keskihinta hidastaa uusia investointeja. Toisaalta halvat hetkelliset hinnat mahdollistavat uusia käyttökohteita
- Jakeluverkkojen siirtokustannukset oma erillinen aiheensa, vaikkakin linkittyy tähän
- Reservejä tarvitaan useammin, mutta keskihinnat ovat olleet laskussa.
- Varttihinnoitteluun siirtymisen vaikutukset todennäköisesti lisäävät näitä ilmiöitä.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Tunteja jolloin negatiivinen hinta	0	0	0	0	0	9	5	27	456	725
Arvio negatiivisten tuntien arvosta* (M€)	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.2	9.3	10.1
Tunteja jolloin hinta yli 200 €/MWh	0	2	0	12	0	3	342	2549	117	178
Keskihinta (€/MWh)	30	32	33	47	44	28	72	154	57	46

# Kaukolämmön tuotanto vetää yhteen kaikki aiemmin puhutut trendit

Kuvassa lämmön talteenotto tarkoittaa käytännössä suuria lämpöpumppuja

Sähkökattilat erityisen kannattavia lämpövarastojen kanssa, jolloin voidaan paremmin hyödyntää tunteja, jolloin halpa pörssihinta.



Lähde vuosille 2025-2030: Jäsenkysely keväällä 2024

\*sisältää lämpöpumput ja hukkalämmöt

[https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Kaukolampovuosi-2024\\_ennakkograafit.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Kaukolampovuosi-2024_ennakkograafit.pdf)

**Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä**  
(REPower-CEST)

# Muut sektorit

Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä  
(REPower-CEST)

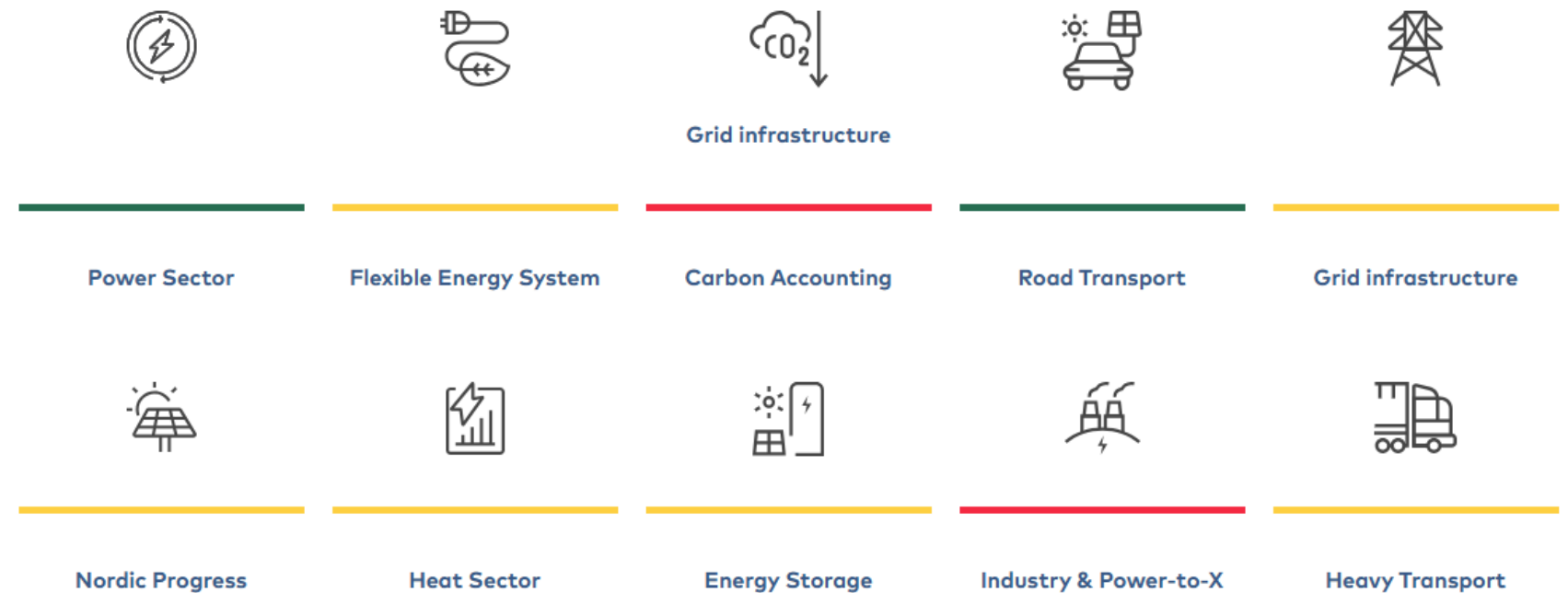


Euroopan unionin  
rahoittama  
NextGenerationEU

# Tracking Nordic Clean Energy Progress 2025

## Pohjoismaisen puhtaan energian siirtymän seurantaraportti:

- **Vihreä:** sektori kehitys todellisuudessa vastaa mallinnettua tarvetta
- **Oranssi:** sektorin todellinen kehitys on jäänyt jälkeen mallinnetusta tarpeesta
- **Punainen:** sektorin puhtaan energian siirtymä etenee todellisuudessa selvästi hitaammin kuin mallinnettu tarve



# Tieliikenne

## Sähköautojen lukumäärä KEITO-hankkeen

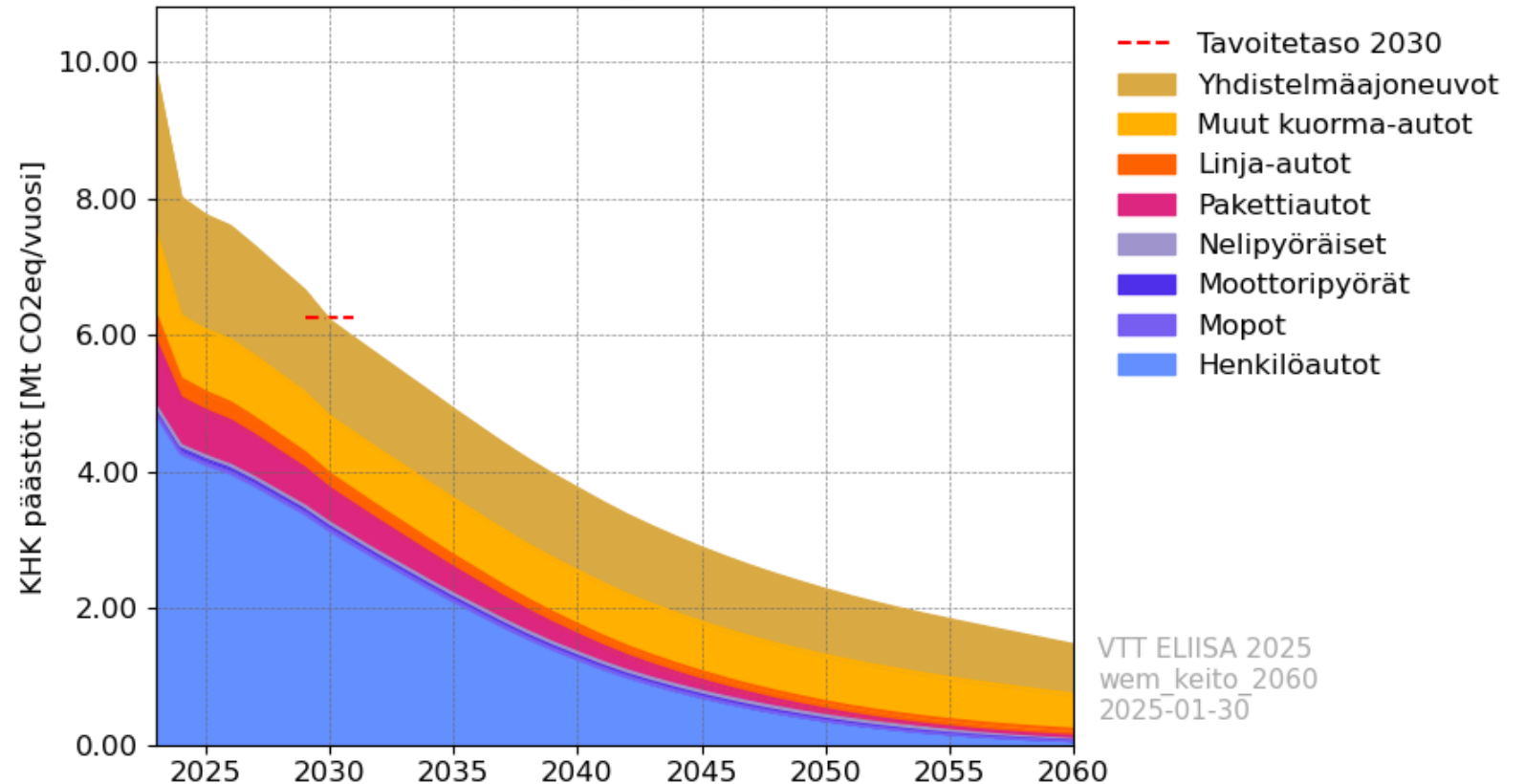
(<https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/projektit/repower-cest/keito-hankeyhteisty/>)

## perusskenaariossa

- 900k 2030
- 3M 2050

Raskaan liikenteen päästöt erityisen hankalia vähentää.

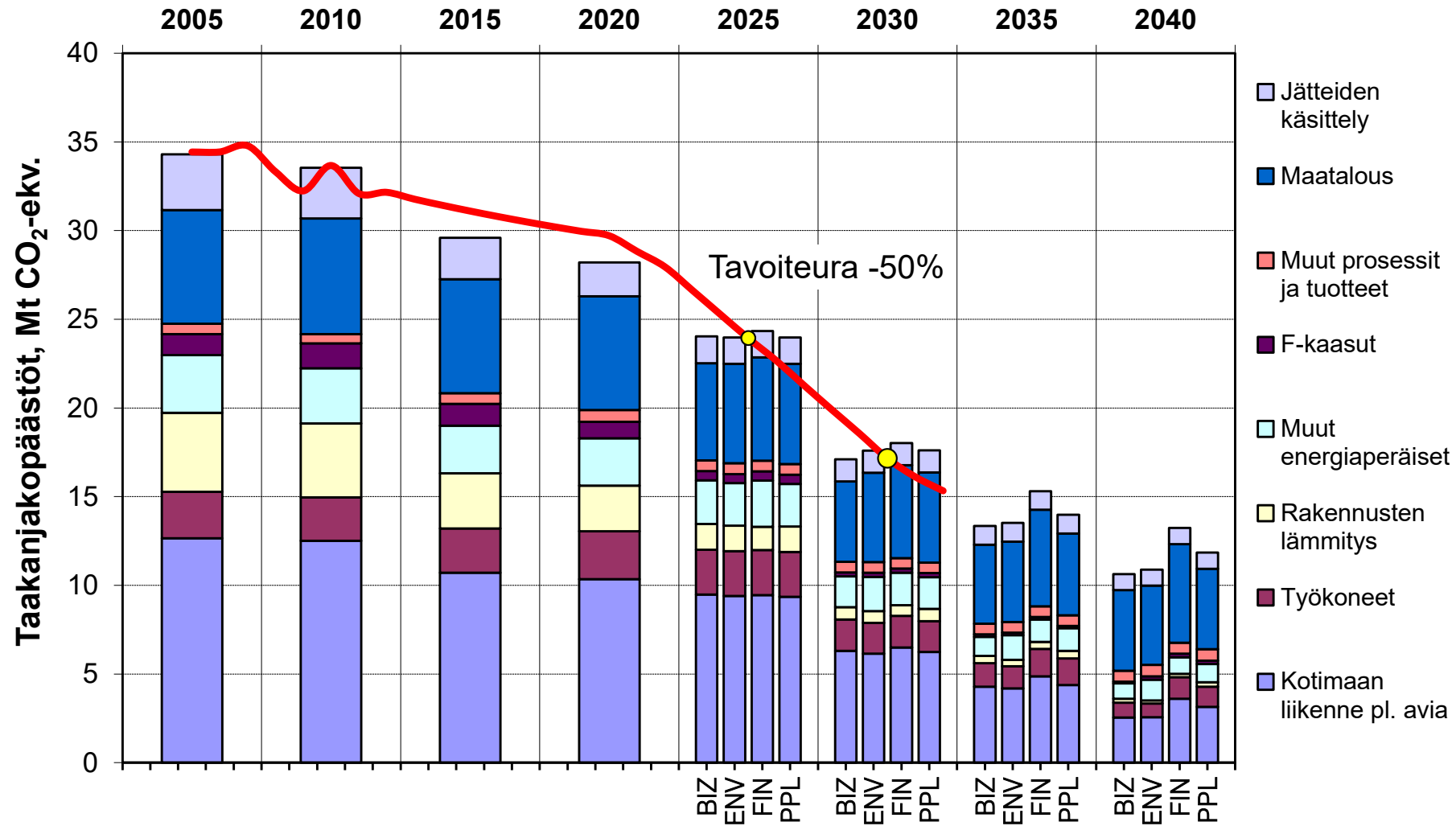
Tieliikenne  
Vuositteisten KHK-päästöjen kehitys 2023 - 2060



Kuva: [https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/wp-content/uploads/sites/8/2025/06/Markkanen\\_Liikenne\\_27052025.pdf](https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/wp-content/uploads/sites/8/2025/06/Markkanen_Liikenne_27052025.pdf)

# Taakanjakosektorien KHK-päästöt eriteltyinä

- Taakanjakosektorien päästöjen kehitys mallinnetuissa skenaarioissa ~Suomen tavoiteuralla
- Maatalouden osuus nousee 2040 mennessä noin puoleen taakanjakosektorien päästöistä
- Liikenteen päästöt jäävät toiseksi suurimmaksi päästöluokaksi, erit. raskas liikenne.



Kuva: [https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/wp-content/uploads/sites/8/2025/06/Lehtila\\_27052025.pdf](https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/wp-content/uploads/sites/8/2025/06/Lehtila_27052025.pdf)

Puhtaan energijärjestelmän siirtymä  
(REPower-CEST)



# Investointi- näköymä

EK:n dataikkuna vihreän siirtymän investointeihin Suomessa.

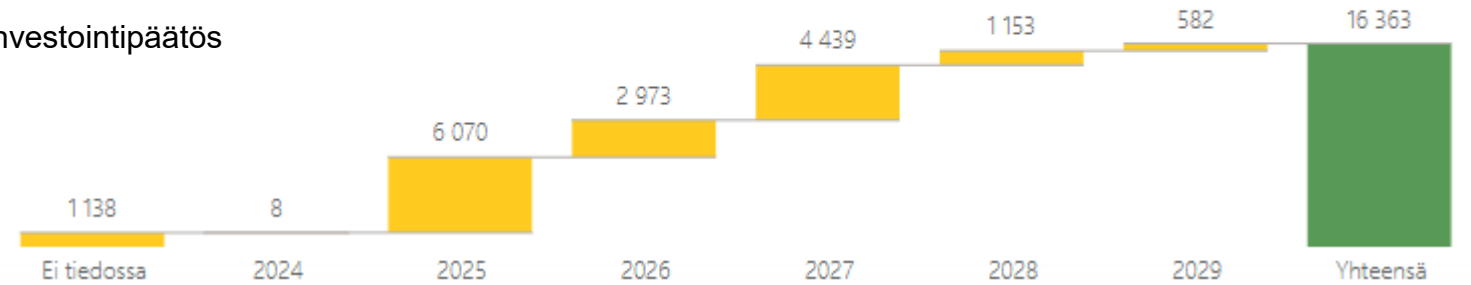
Kuvissa summattu kaikki dataikkunan eri teknologiakategoriat.

Verkkosivulla saatavilla myös kartta ja hankekohtaista tietoa.

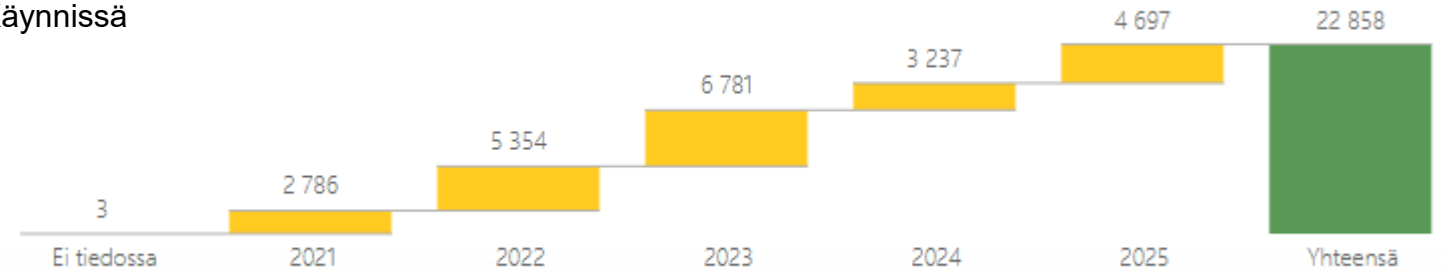
## Investoinnit valmistumisvuoden mukaan

Arvo (milj. euroa)

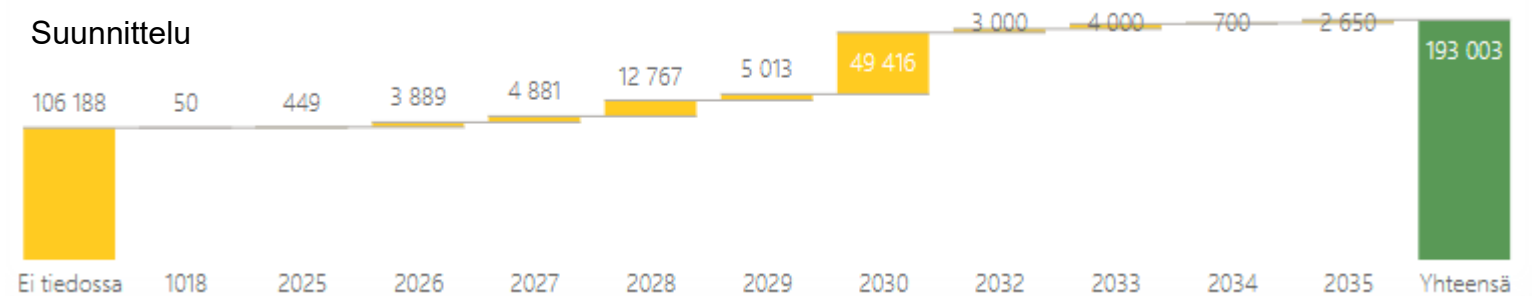
### Investointipäätös



### Käynnissä



### Suunnittelu



<https://ek.fi/tutkittua-tietoa/vihreat-investoinnit>

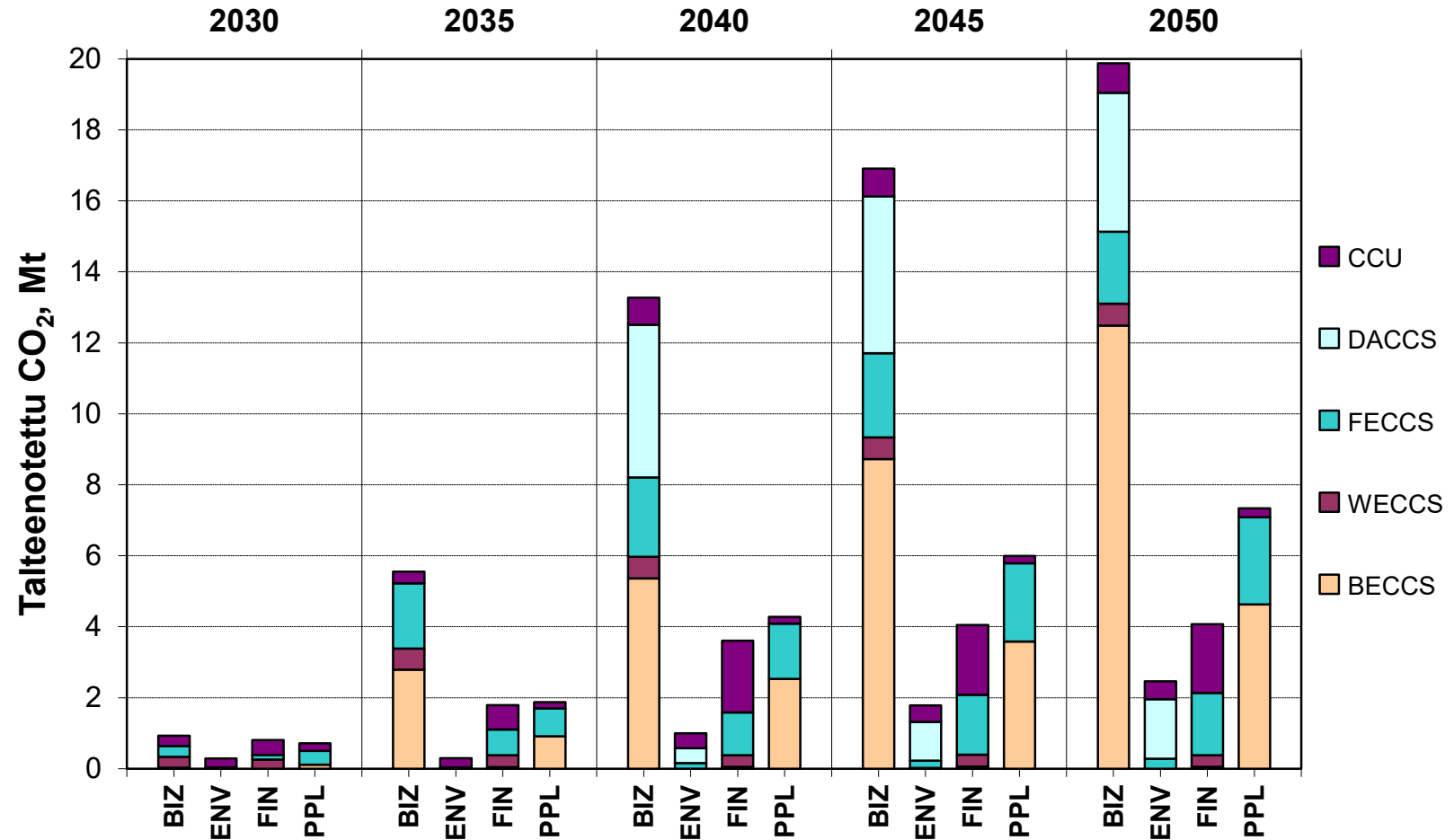
**Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä**  
(REPower-CEST)

# Hiilidioksidin talteenotto, varastointi ja hyötykäyttö

Neljässä eri mallinnetussa skenaariossa talteenotetun CO<sub>2</sub>:n määrä vaihteli 2...20 MtCO<sub>2</sub>/v haarukassa v. 2050

- BECCS = bio-CCS
- FECCS = fossiili-CCS
- WECCS = jäte-CCS
- DACCS = ilmakehän CCS
- CCU = CO<sub>2</sub>:n hyötykäyttö

Monen teknologian todellinen kustannustaso selviää, kun



Kuva: [https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/wp-content/uploads/sites/8/2025/06/Lehtila\\_27052025.pdf](https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/wp-content/uploads/sites/8/2025/06/Lehtila_27052025.pdf)

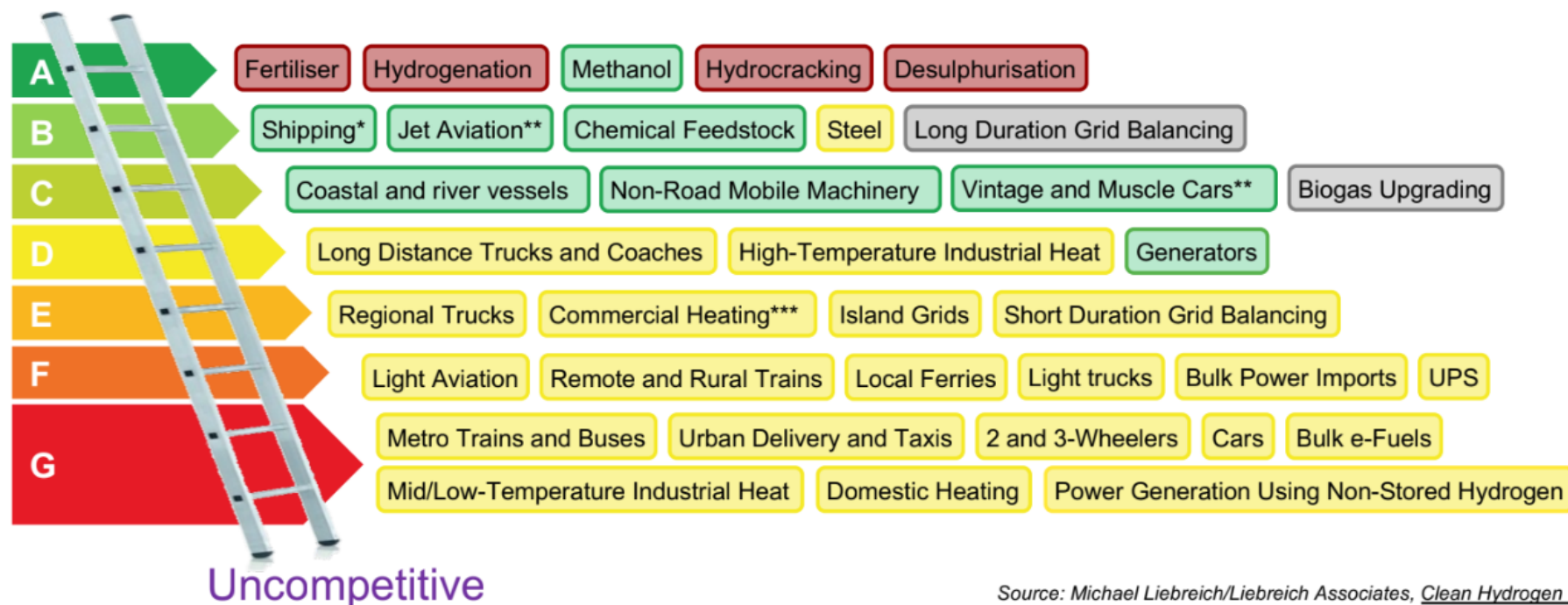
Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä  
(REPower-CEST)



# Vetytikkaat

Unavoidable

Key: No real alternative Electricity/batteries Biomass/biogas Other



\*As ammonia or methanol \*\*As e-fuel or PBTL \*\*\*As hybrid system

Source: Michael Liebreich/Liebreich Associates, *Clean Hydrogen Ladder, Version 5.0, 2023*. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. [CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

# Pyydetyt kysymykset luennosta

- Luettele aurinko- ja tuulivoiman kasvun keskeisiä vaikutuksia
- Miten puhtaan sähkön kasvava tarjonta ja laskeva hinta vaikuttavat lämmityssektorilla?
- Millä sektoreilla päästövähennykset ovat erityisen hankalia/kalliita?

# Kiitos!

Tomi J. Lindroos (VTT)  
**Puhtaan siirtymän uusia tuulia,**  
ti 23.9.2025 klo 13–16



**Euroopan unionin  
rahoittama**  
NextGenerationEU

**Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä**  
(REPower-CEST)