

Energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen skenaariot

Integroitu mallitarkastelu

Antti Lehtilä
Tutkija, VTT Energy Transition
KEITO-tulosseminaari 27.5.2025



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

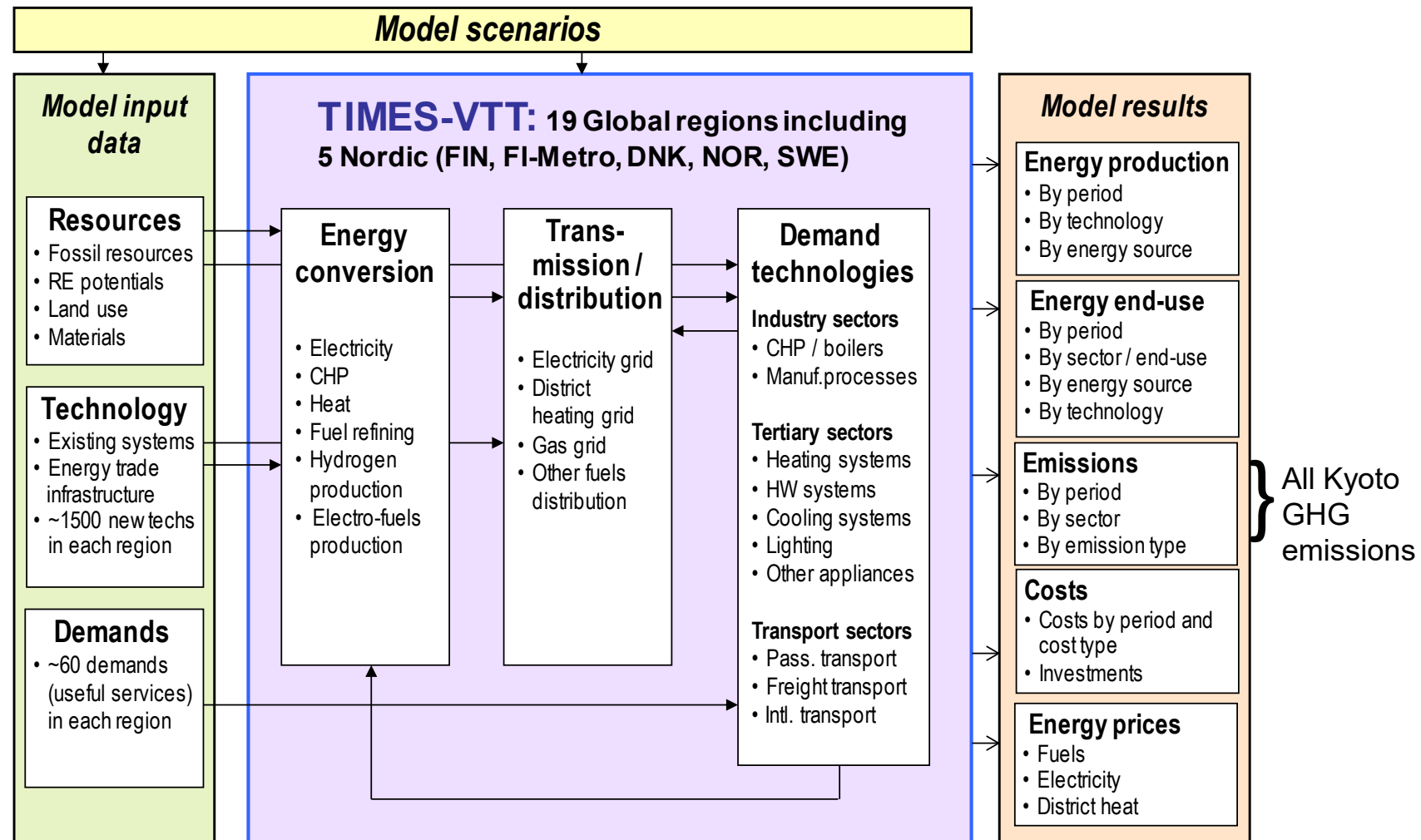


Euroopan unionin
rahoittama
NextGenerationEU

Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä
(REPower-CEST)

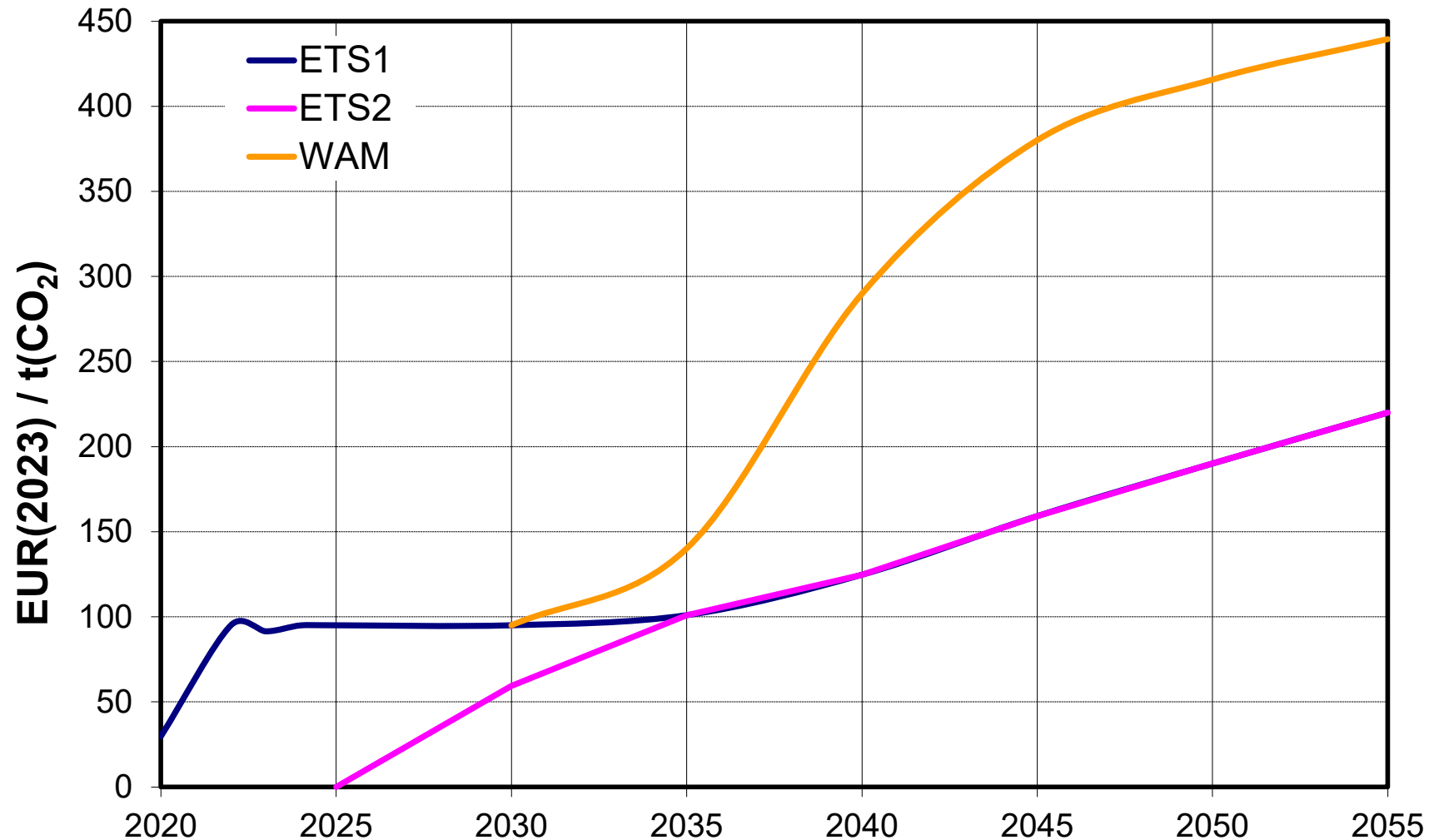
Energiajärjestelmän kokonaismalli

- Osittaistasapainomalli
- Kattaa energiajärjestelmän kaikki osasektorit:
 - Primaarienergia
 - Sähkö, lämpö, polttoainelajosteet, sähköpolttoaineet
 - Hyötyenergia ja -materiaalit
- Laaja teknologiatietokanta:
 - Energian tuotantoteknologia
 - Varastointi-, siirto- ja jakelu-
 - Loppukäyttötekknologia
 - Liikenteen kulkuvälineet
 - Teollisuusprosessit
 - Päästöjen vähennysteknologia
- Kaikki Kioton kasvihuonekaasut
- Alueiden välinen kauppa



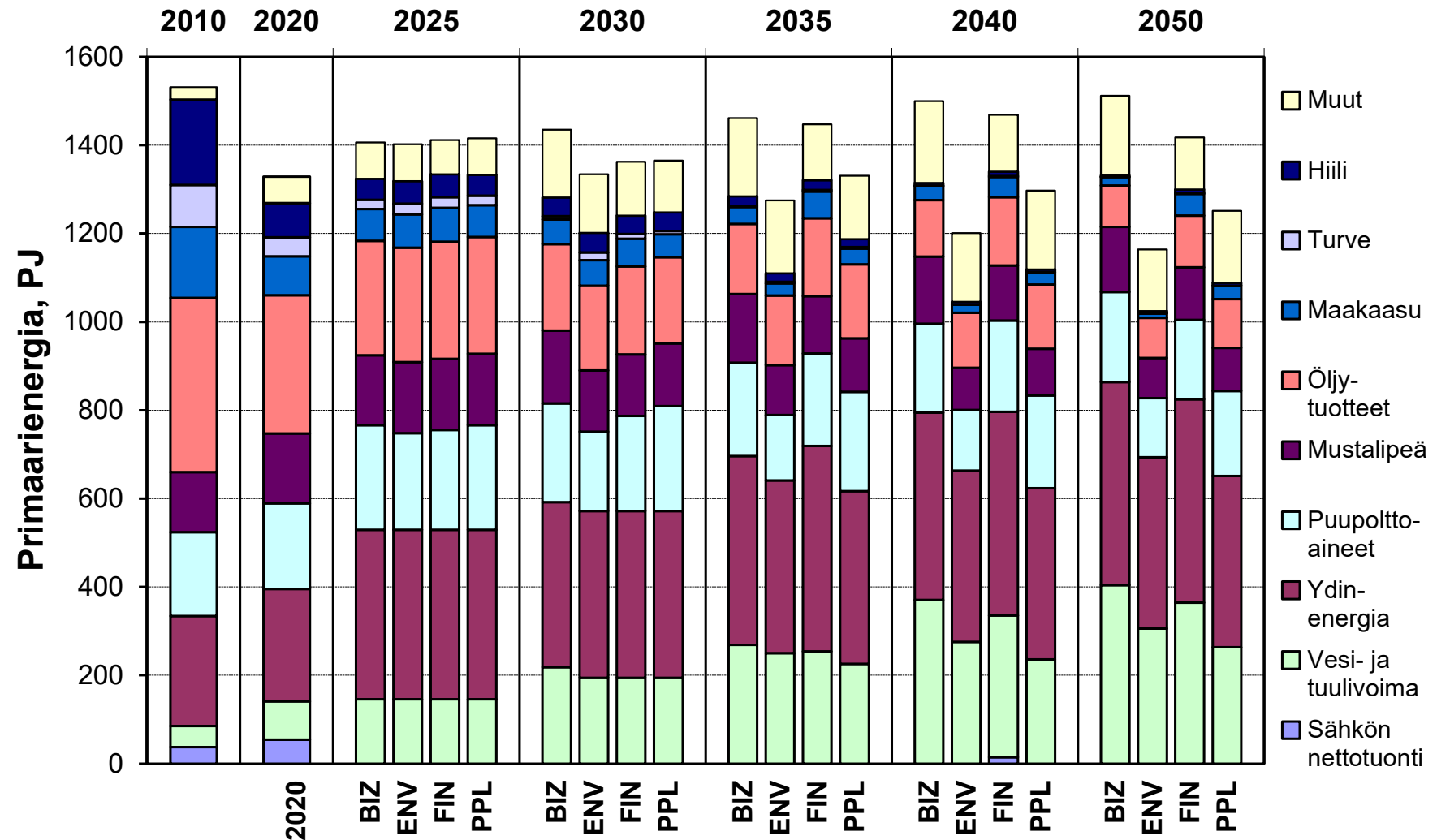
Päästöoikeuksien hintakehitys

- Päästöoikeuksien hintakehityksen arviot pohjautuvat EU:n komission suosituksiin
- WEM-kehitysarvioita (kuvassa ETS1 ja ETS2) on käytetty Finland First ja People First -skenaarioissa
- WAM-kehitysarviota käytetty Business First ja Environment First -skenaarioissa
- Kummassakin tapauksessa ETS2-hinta on 2035 alkaen sama kuin ETS1-hinta.



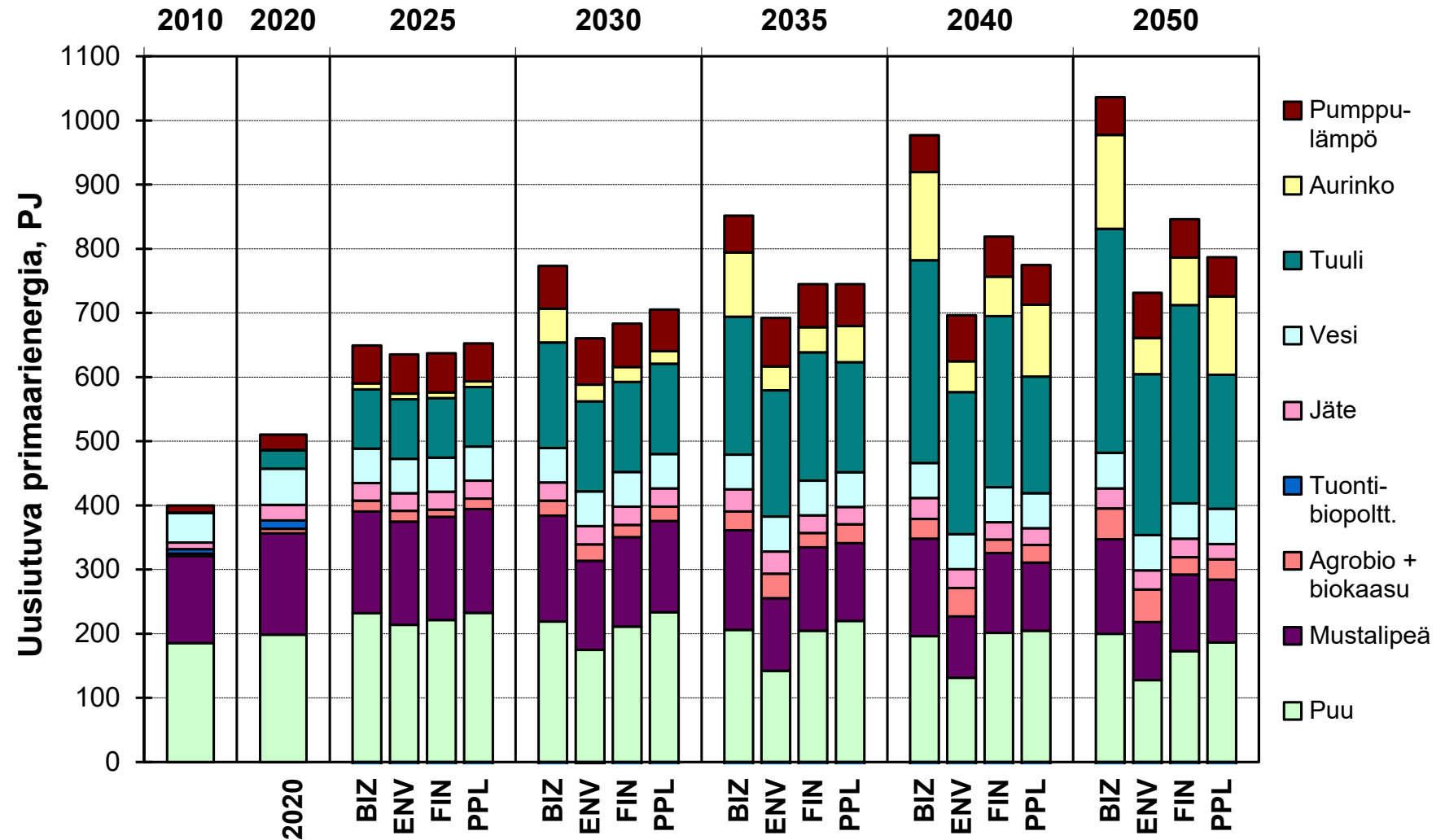
Primaarienergian hankinta

- Fossiilisten polttoaineiden rooli pienenee nopeasti, mutta primaarikäyttöä on silti vielä 2050 (huom. tase sisältää ei-energiakäytön, loppuenergia on vähäisempi)
- Tuuli- ja aurinkovoiman osuus kasvaa merkittäväksi
- Puupolttoaineiden osuus supistuu erityisesti ENV:ssä
- Ydinvoimalla suuri laskennallinen vaikutus taseeseen (erit. FIN- ja BIZ-skenaariot).
- Sähköistyminen ja muu energiatehokkuuden paraneminen supistavat primaarienergian kulutusta



Uusiutuva energia ja kierrätyspolttoaineet

- Tuulienergiaa enimmillään jopa 350 PJ ja aurinkoenergiaa 150 PJ (BIZ-skenaario).
- Puuperäisten polttoaineiden osuus uusiutuvista laskee alle puoleen ja supistuu eniten ENV-skenaariossa
- Huom. lämpöpumppujen ilmaisenergia ei sisällä hukkalämpöjä (esim. data-keskukset ja elektrolyysi), vaan vain primaarisen ilmaislämmön



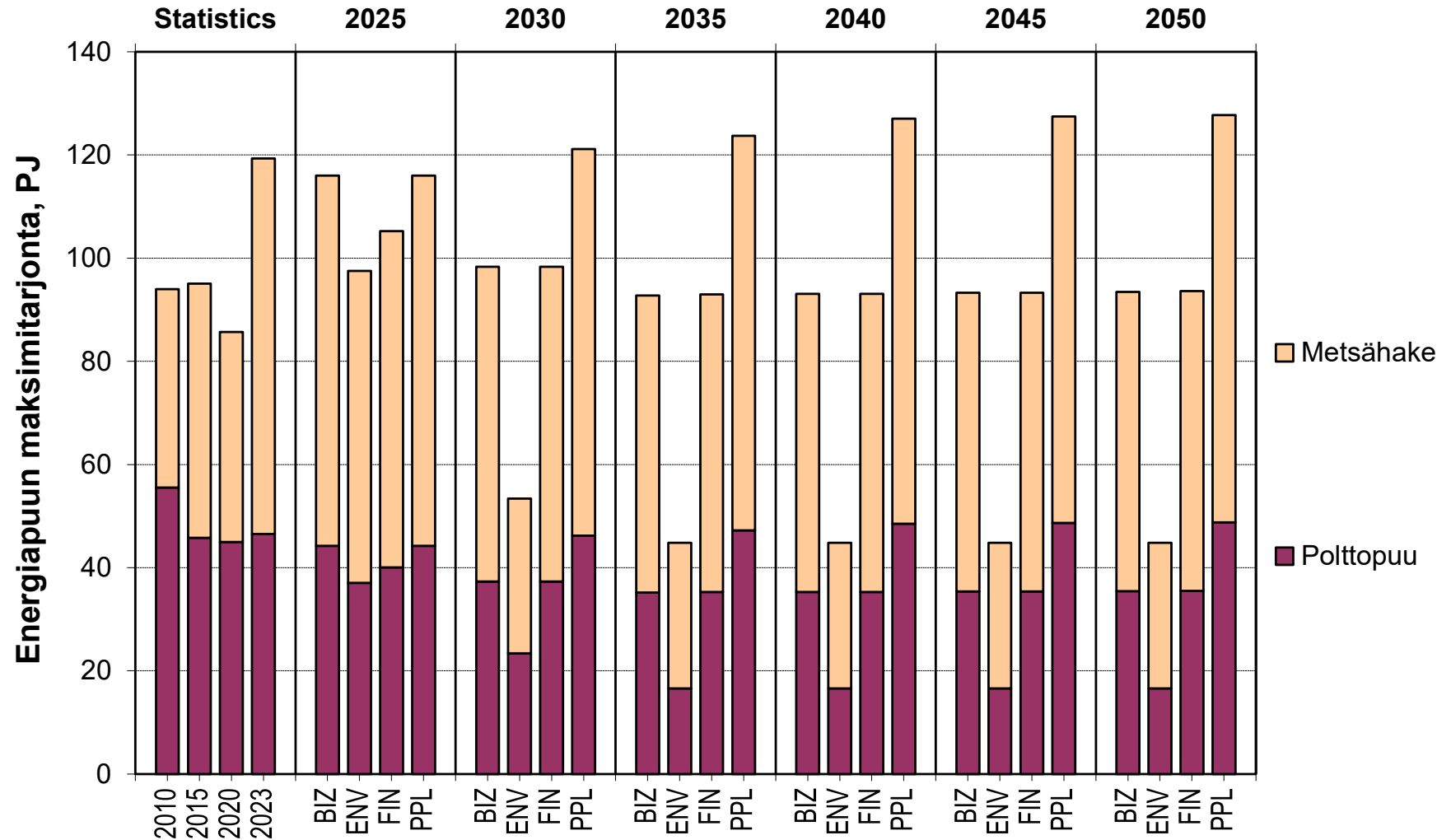
Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä
(REPower-CEST)



Euroopan unionin
rahoittama
NextGenerationEU

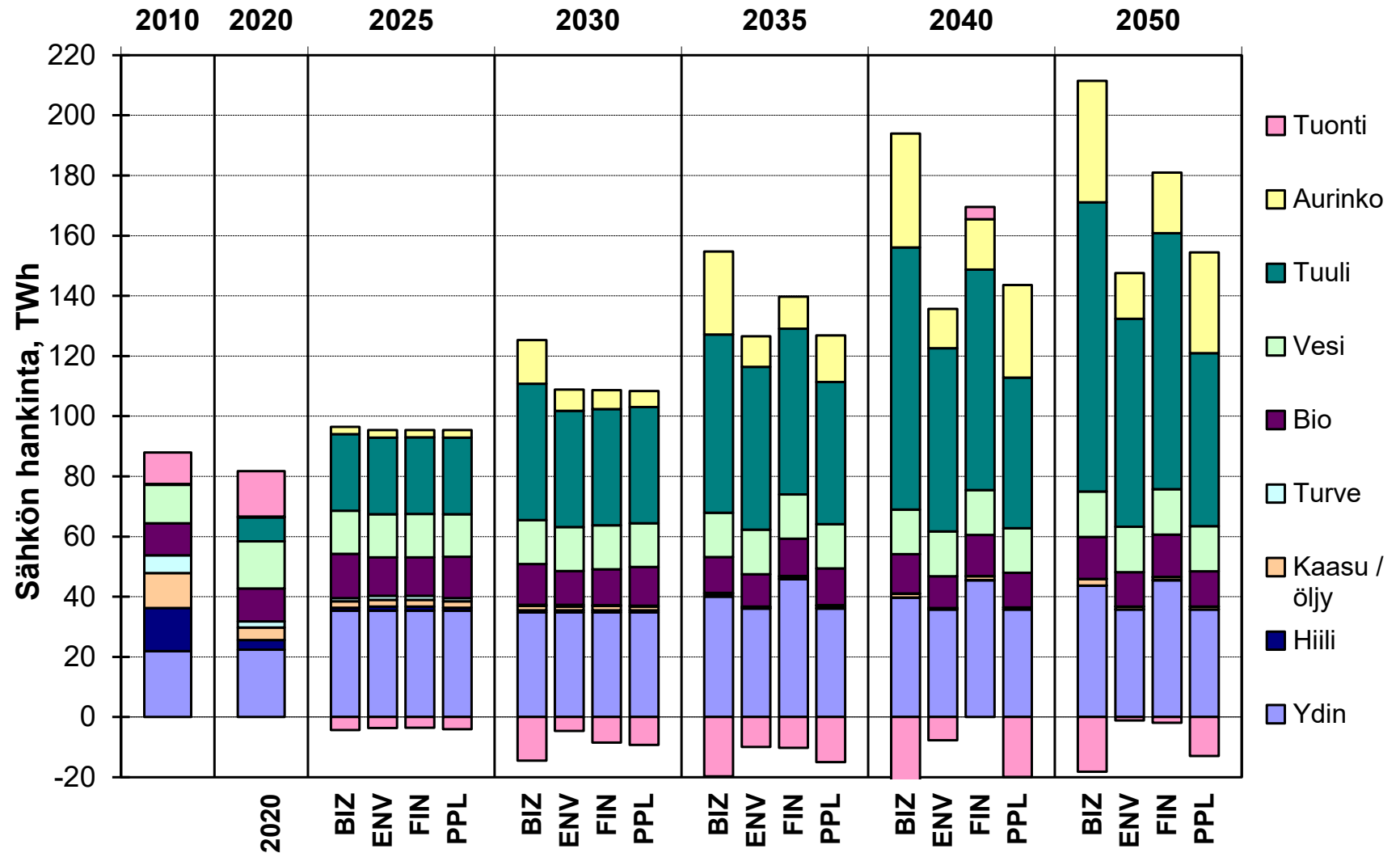
Kotimaisen primaarisen energiapuun käyttö

- Kotimaisen primaarisen energiapuun käyttö on kasvanut viime vuosina, (erityisesti metsähake)
- Syynä ovat muun muassa päästöoikeuksien hinnan nousu ja puun tuonnin loppuminen Venäjältä
- Kolmessa LTS-skenaariossa enimmäiskäyttöä rajoitettiin tuntuvasti, jotta metsien hiilivaraston poistumaa voidaan silta osin vähentää:
 - ENV: voimakkain rajoitus
 - BIZ ja FIN: lievempi rajoitus



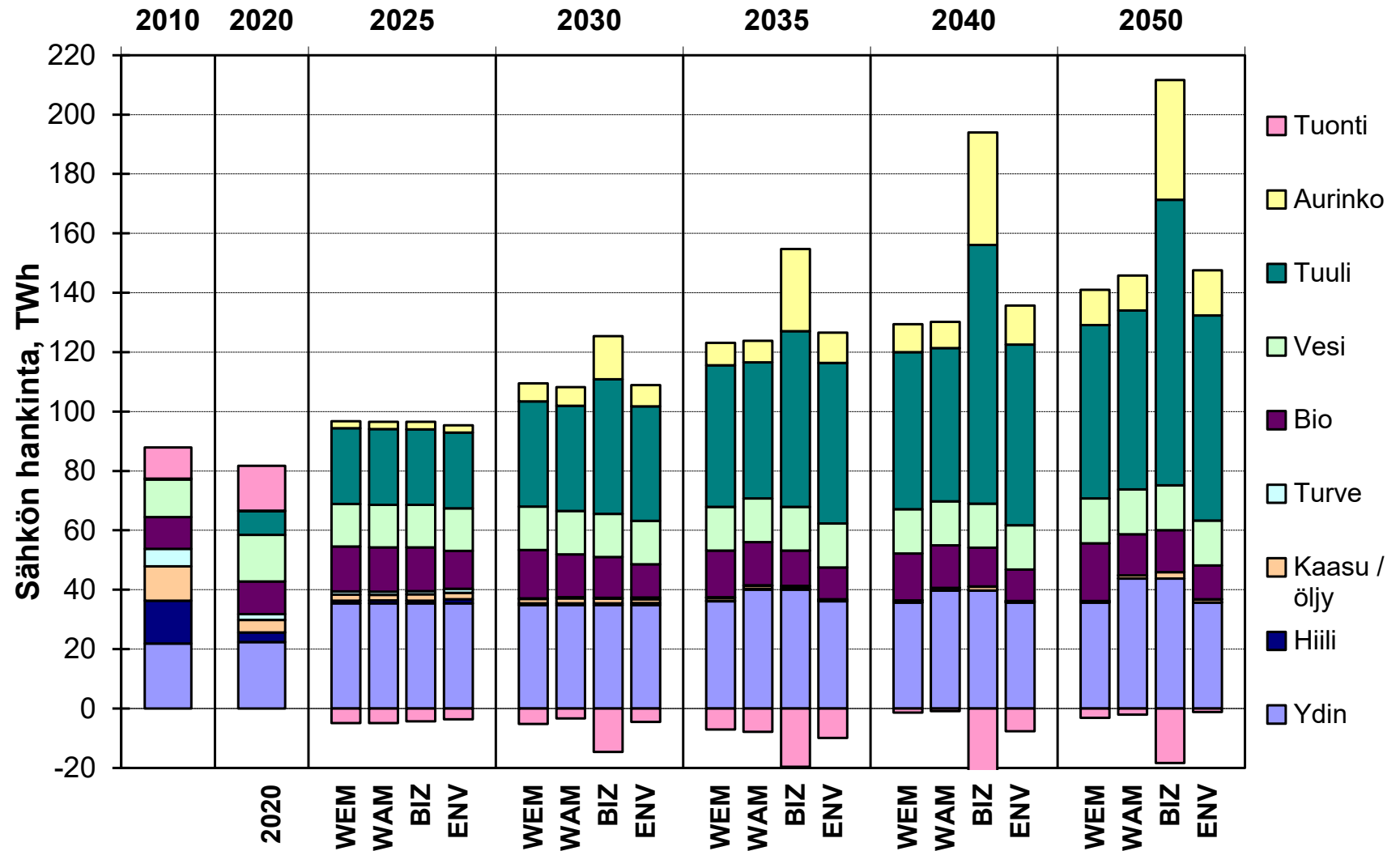
Sähköenergian hankinta – LTS-skenaariot

- Sähkön kokonaiskulutus nousee 145–190 TWh:n välille vuonna 2050
- BIZ-skenaario vastaa kokonaiskulutuksen tasoltaan hyvin Fingridin 2025 sähköjärjestelmävision ”Notkeaa kehitystä” -skenaariota
- ENV-skenaariossa kulutusta hillitsee voimakkain energia-
tehokkuuden paraneminen
- Sähkötase on positiivinen (nettoviennin puolella) kaikissa skenaarioissa, paitsi FIN-skenaariossa 2040.



Sähkön hankinta – vertailuna WEM / WAM

- LTS-skenaarioiden vertailukohtana tässä WEM- ja WAM-skenaariot
- Tulokset osoittavat, että tuuli- ja aurinkovoiman merkittävät lisäinvestoinnit edistävät sähköistymistä ja luovat edellytyksiä muille uusille teollisille investoinneille
- Vaikutus päästötaseisiin jää kuitenkin huomattavasti pienemmäksi kuin sähkö-taseen eroista voisi päätellä
- ENV-skenaario on sähkön hankinnassa melko lähellä WEM-skenaariota.

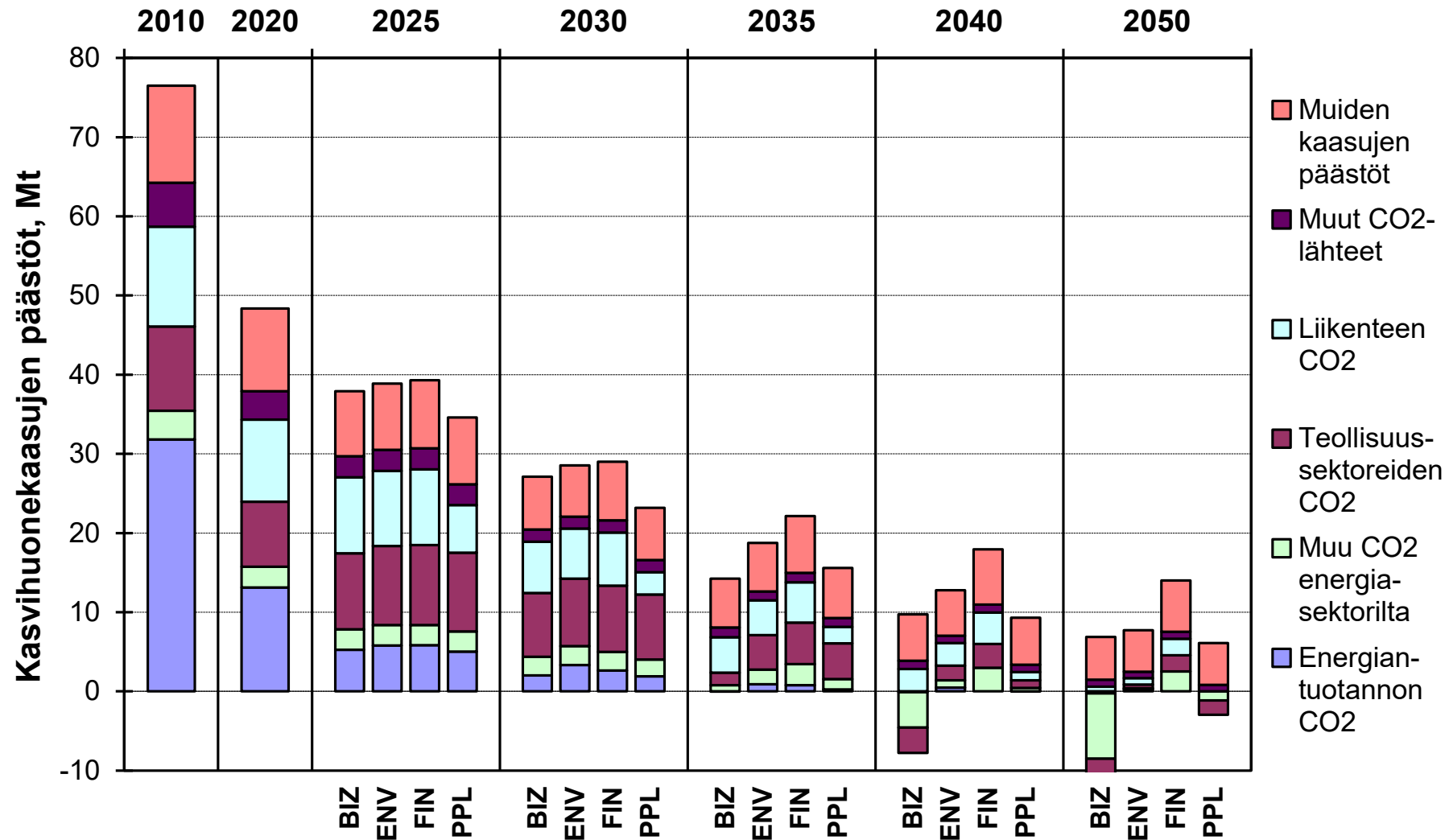


Puhtaan energijärjestelmän siirtymä
(REPower-CEST)



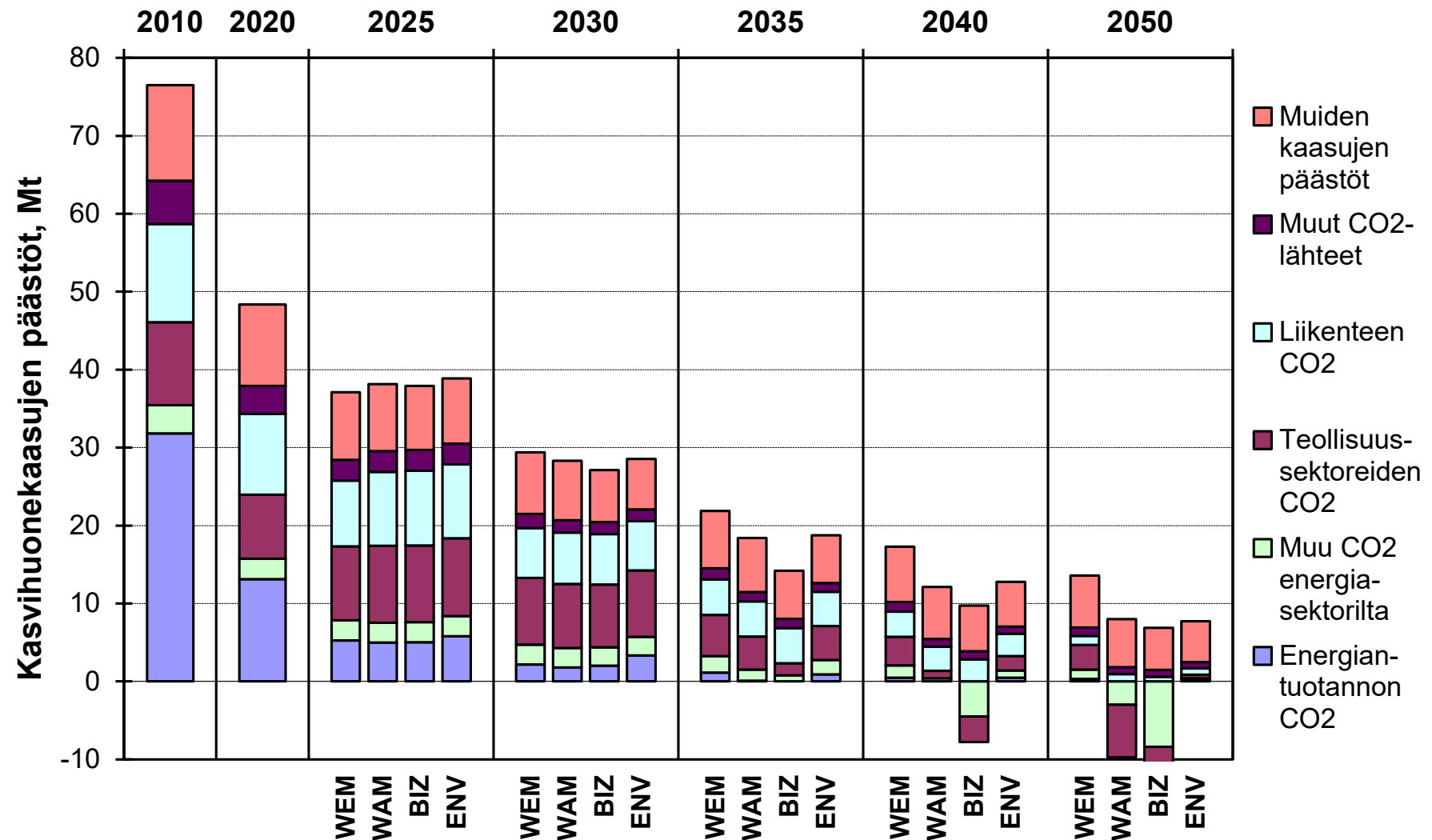
Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt

- Vuoden 2035 KHK-päästöt:
 - BIZ: 14,2 Mt CO₂-ekv.
 - ENV: 18,8 Mt CO₂-ekv.
 - FIN: 22,2 Mt CO₂-ekv.
 - PPL: 15,6 Mt CO₂-ekv.
- Vuoteen 2050 mennessä energiasektorin päästöt lähes nollassa tai sen alle, paitsi FIN-skenaariossa
- Tekniset nielut keskeisessä roolissa BIZ-skenaariossa, kohtalaisesti myös PPL-skenaariossa.



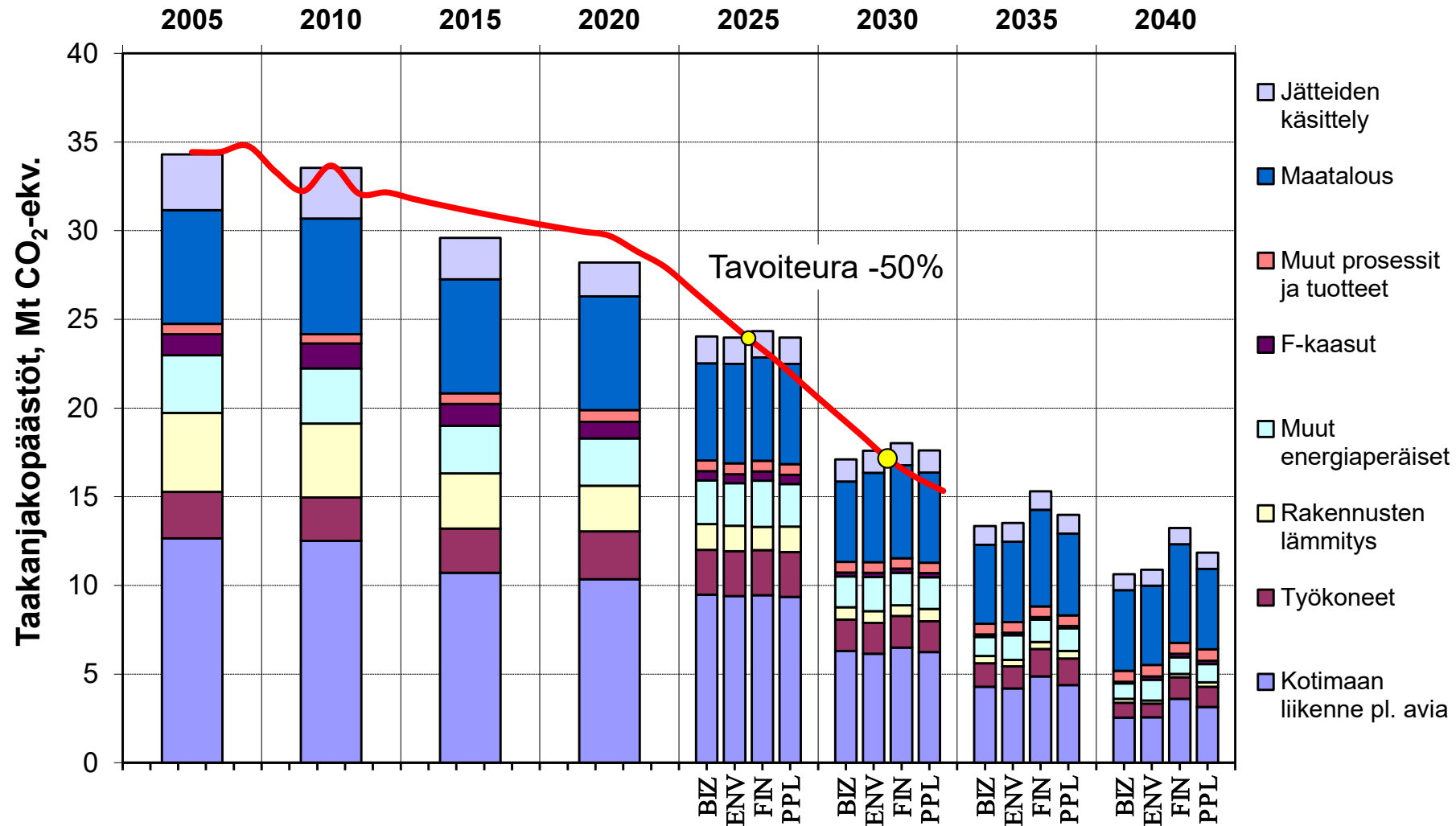
KHK-kokonaispäästöt: vertailuna WEM / WAM

- Vuoden 2035 KHK-päästöt:
 - WEM: 21,9 Mt CO₂-ekv.
 - WAM: 18,4 Mt CO₂-ekv.
 - BIZ: 14,2 Mt CO₂-ekv.
 - ENV: 18,8 Mt CO₂-ekv.
- BIZ-skenaario alittaa reilusti WAM-skenaarion päästökehityksen
- ENV-skenaariossa päästöt WAM-skenaarion tasolla vuoteen 2040 saakka.



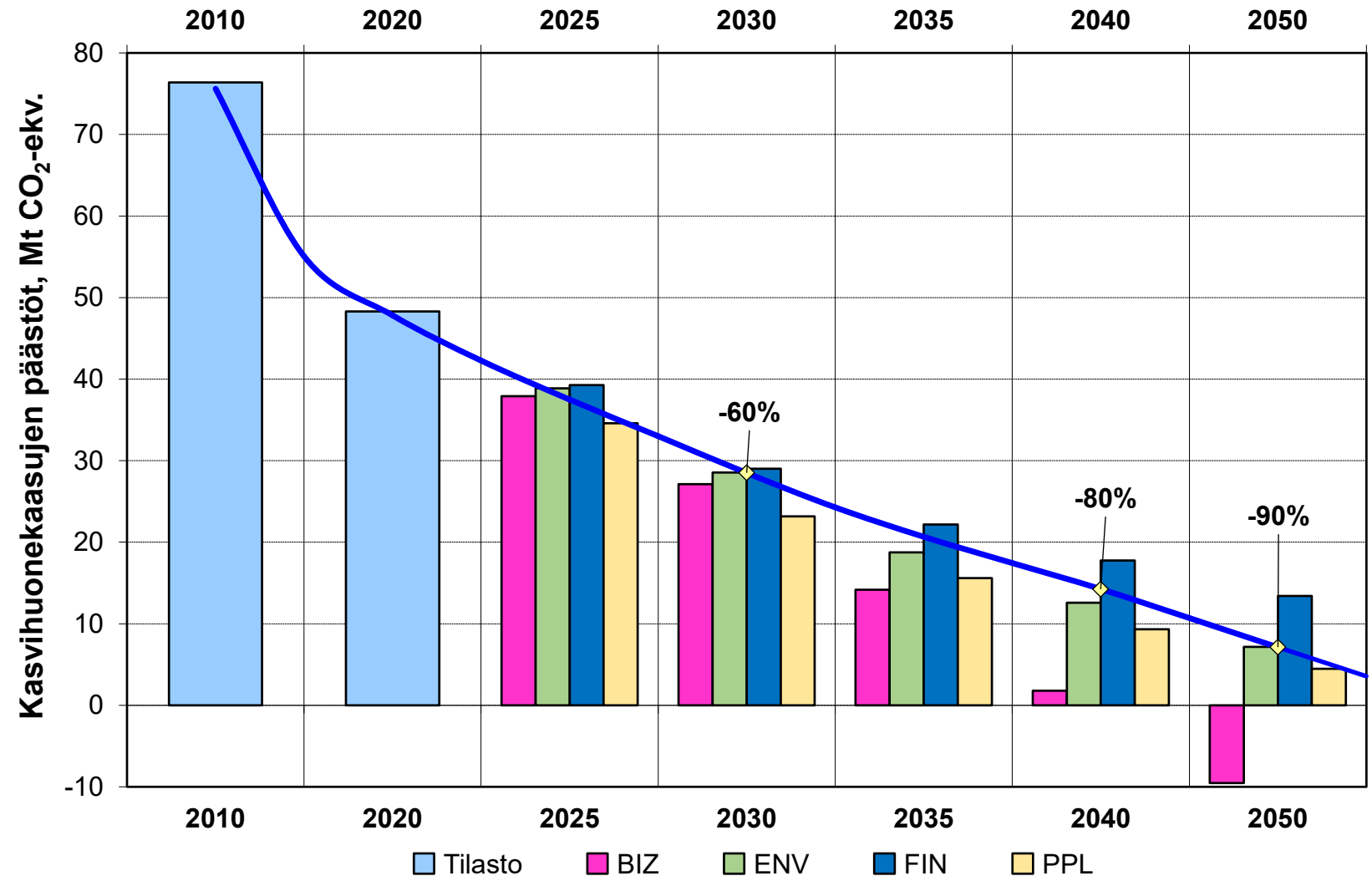
Taakanjakosektorien KHK-päästöt eriteltynä

- Taakanjakosektorien päästöjen kehitys noudattaa hyvin Suomen tavoiteuraa
- Vuosina 2015–2020 saavutettu ”päästösäästö” antaa vielä lisävarmuutta tavoitteen saavuttamiseen
- Maatalouden päästöissäkin tuntuvaa vähennystä, mutta maatalouden osuus nousee 2040 mennessä noin puoleen taakanjakosektorien päästöistä
- Liikenteen päästöt jäävät suurimmiksi FIN-skenaariorissa (erit. raskas liikenne).



Kokonaispäästöjen kehitys (ilman LULUCF)

- Ilmastolain mukaiset suorien päästöjen (ml. tekniset nielut) vähennystavoitteet ovat 60 %, 80 % ja 90 % vuosina 2030, 2040 ja 2050
- Päästöjen vähennystavoitteet saavutetaan tulosten mukaan kolmessa skenaariossa: **BIZ, ENV ja PPL**
- FIN-skenaariossa jäädään tavoitteista selvästi jälkeen vuoden 2030 jälkeen
- BIZ-skenaariossa yletään teknisten nielujen ansiosta negatiivisiin päästöihin 2045 alkaen.



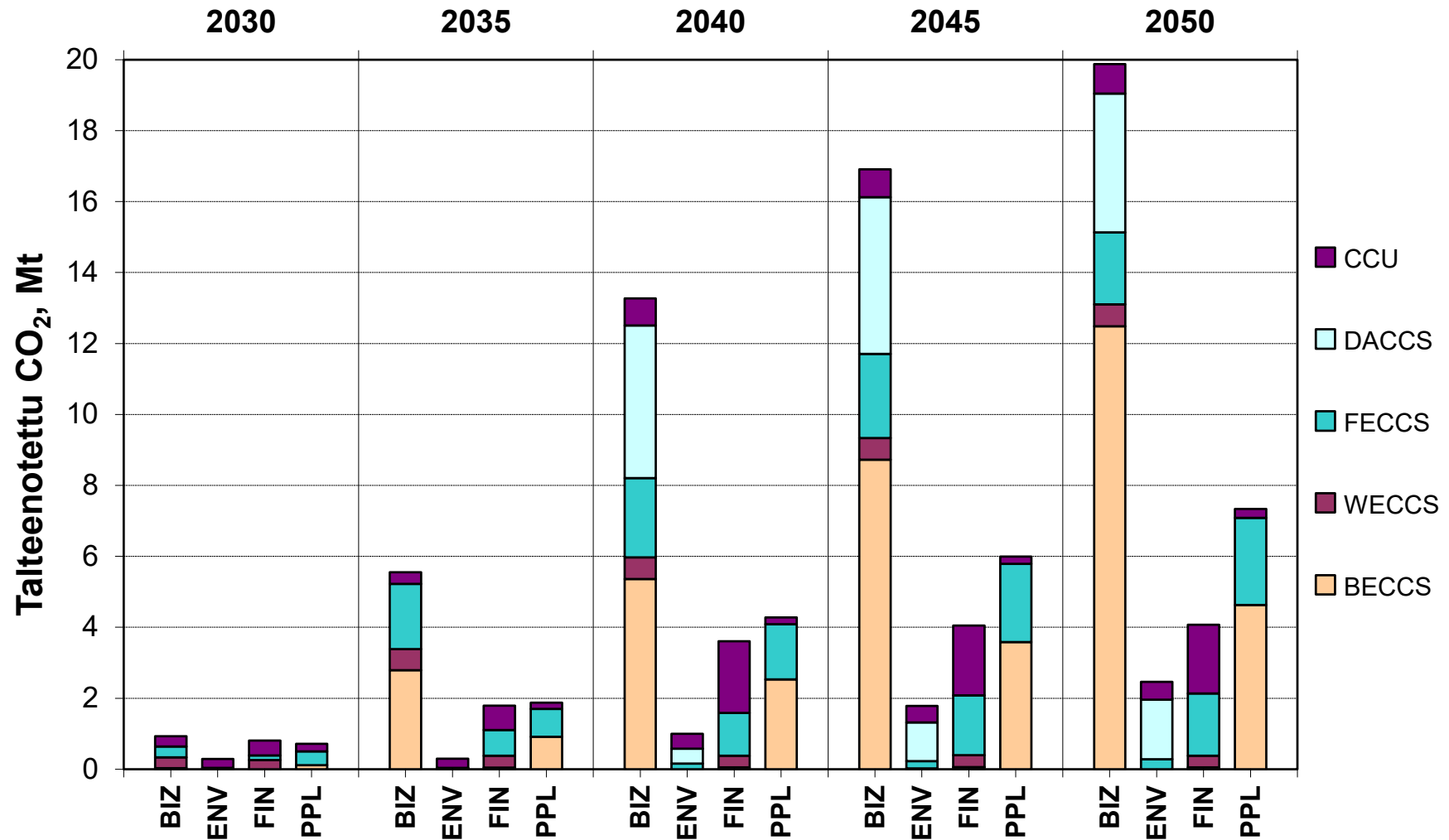
Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä
(REPower-CEST)



Euroopan unionin
rahoittama
NextGenerationEU

Hiilidioksidin talteenotto (CCS / CCU)

- Talteenotetun CO₂:n määrät eroavat skenaarioiden välillä suuresti (2–20 Mt v. 2050)
- BECCS = bio-CCS
FECCS = fossiili-CCS
WECCS = jäte-CCS
DACCS = ilmakehän CCS
CCU = CO₂:n hyötykäyttö
- CCU:n merkitys ylivoimaisesti suurin FIN-skenaariossa
- DACCS-teknologian oletettiin olevan käytettävissä BIZ- ja ENV-skenaarioissa
 - DACCSin kustannukset oletettu EU:n komission referenssioletusten (2021) mukaisesti.



Keskeisiä johtopäätöksiä

- Hallittu energiamurros edellyttää energiajärjestelmän joustavuuden lisäämistä
- Ilmastolain mukaiset **päästönvähennystavoitteet** (suorat päästöt ja tekniset nielut) voidaan saavuttaa useimmissa tulevaisuuskuvissa (BIZ, ENV, PPL)
- Ilmastolain **hiilineutraaliustavoitteen** saavuttaminen vuonna 2035 riippuu suuresti LULUCF-päästötaseesta!

Kiitos!

www.syke.fi

www.gtk.fi

www.luke.fi

www.vtt.fi



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute



Euroopan unionin
rahoittama
NextGenerationEU



Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä
(REPower-CEST)