

LAUSUNTO SUOMEN ILMASTO- JA ENERGIA-STRATEGIAN LUONNOKSESTA

Lausunnon antaja **Ekoenergo Oy**

Päivämäärä **16.5.2022**

Sisällysluettelo

1 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja nielujen kasvattaminen (strategian luku 2.1)	2
2 Hiilinielut	4
3 Vety ja sähköpolttoaineet (strategian luku 2.3)	5
4 Energiatehokkuuden edistäminen (strategian luku 2.4)	8
5 Energian toimitus- ja huoltovarmuus (strategian luku 2.5)	9
6 Ydinenergian käyttö (strategian luku 2.6)	12
7 Energiamarkkinoiden kehittäminen (strategian luku 2.7)	13
8 Tutkimus, innovointi ja kilpailukyky (strategian luku 2.8)	17
9 Verotus (strategian luku 2.9)	19
10 Ilmastomuutokseen sopeutumisen vahvistaminen (strategian luku 2.10)	20
11 EU-vaikuttaminen (strategian luku 2.11)	21
Referenssitietoa	25
Liite 1. Eniten metsien hiilinieluja hävittäneet maat	25
Ekoenergo Oy	26
Asko Vuorinen	26

1 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja nielujen kasvattaminen (strategian luku 2.1)

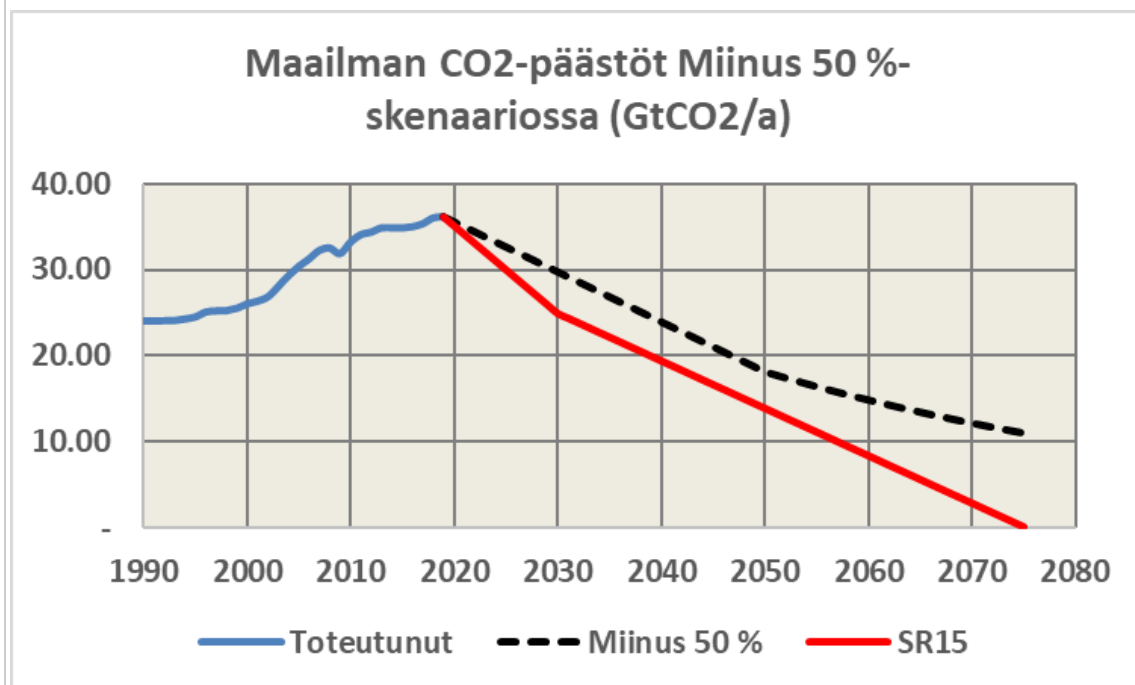
1.1 Yleistä

Tämän lausunnon pohjana on vuoden 2021 tammikuussa julkaisemamme selvitys ”Ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen kahteen asteeseen”. Selvitys on ladattavissa kotisivuiltamme (www.ekoenergo.fi) EKOENERGO OY - Climate Change Ilmastonmuutos

1.2 Päästöjen vähentäminen

Maailman CO₂-päästöt ovat noin 36 Gt vuodessa. Päästöistä noin 18 Gt jää ilmakehään ja 18 Gt päätyy hiilinieluihin, joista tärkein ovat meret. Hiilinielut lisääntyvät sitä mukaan, kun ilmakehän CO₂-pitoisuus kasvaa ja päinvastoin. Ilmaston lämpeneminen puolestaan pysähtyy, kun CO₂-päästöt alittavat hiilinielut.

Maailman valtioiden ja myös EU:n tavoite on saada maailma hiilineutraaliksi vuoteen 2050 mennessä. Siihen päästään, jos CO₂-päästöjä vähennetään 18 Gt (50 %) vuoteen 2050 mennessä. Silloin maailmassa on noin 9 miljoonaa asukasta, jolloin tämä vastaa tavoitetta 2 tonnia CO₂ per asukas (Kuva 1.1).



Kuva 1.2.1 CO₂-päästöjen tavoitteet vuoteen 2075 mennessä (Lähde: Kirja: ”Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen”).

Arviomme poikkeavat selvästi IPCC:n arvoista (Special Report 15), joiden mukaan CO₂-päästöt pitäisi laskea vuoden 1990 tasolle vuoteen 2030 mennessä ja nollaan vuoteen 2075 mennessä. Hiilinielujen malli on em. Ekoenergon lähteessä kaava.

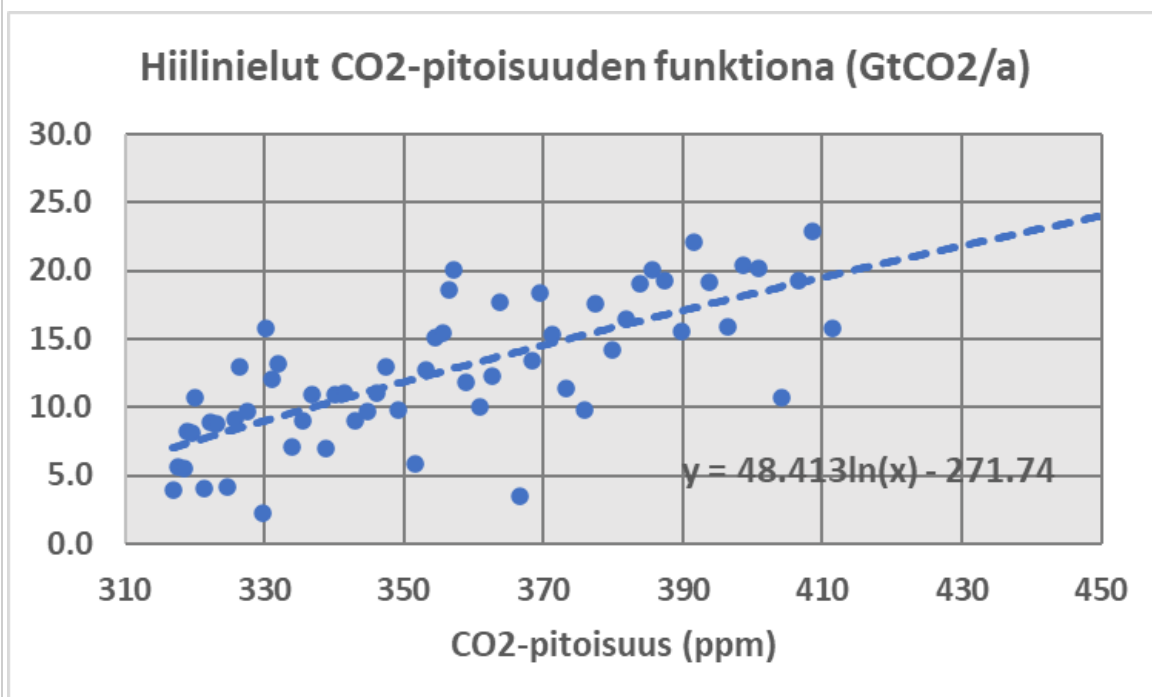
$$\text{Nielu} = 48,4 \times \ln(C) - 271,7$$

Missä

ln = luonnollinen logaritmi

C = ilmakehän CO₂-pitoisuus (ppm)

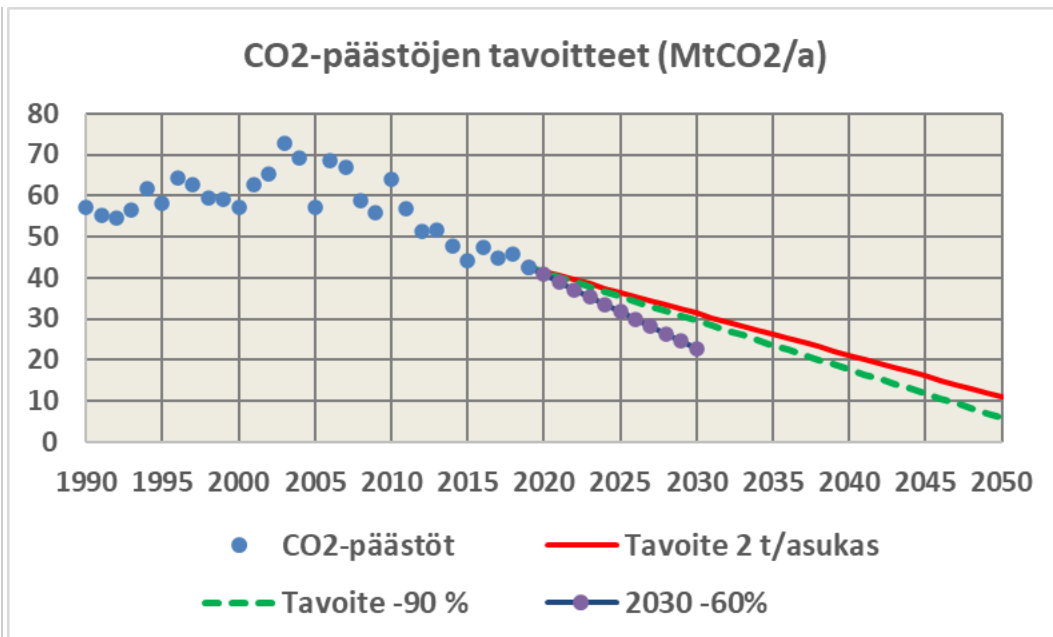
Tämä kaava on saatu regressioanalyysillä laskemalla ensin kunkin vuoden hiilinielu, joka on päästöt miinus ilmakehään jäävä CO₂. Ilmakehään jäävä CO₂:n massa M on puolestaan $M = 7,82 \times C$ (ppm).



Kuva 1.2.2 Hiilinielut CO₂-pitoisuuden funktiona (Lähde: Kirja: "Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen").

1.3 Tavoitteet Suomelle

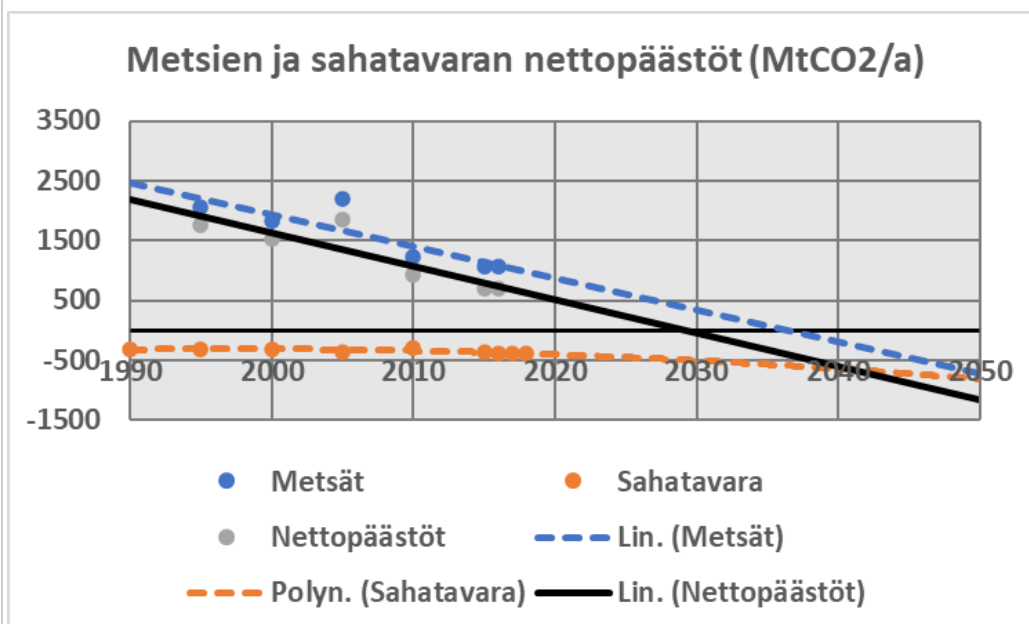
Suomen tavoitteena tulee olla myös CO₂-päästö 2 tonnia per asukas vuonna 2050, jolloin päästöt saisivat olla korkeintaan 11 MtCO₂ vuodessa (Kuva 1.3.1).



Kuva 1.3.1 Tavoitteet Suomelle (Lähde: Kirja: "Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen").

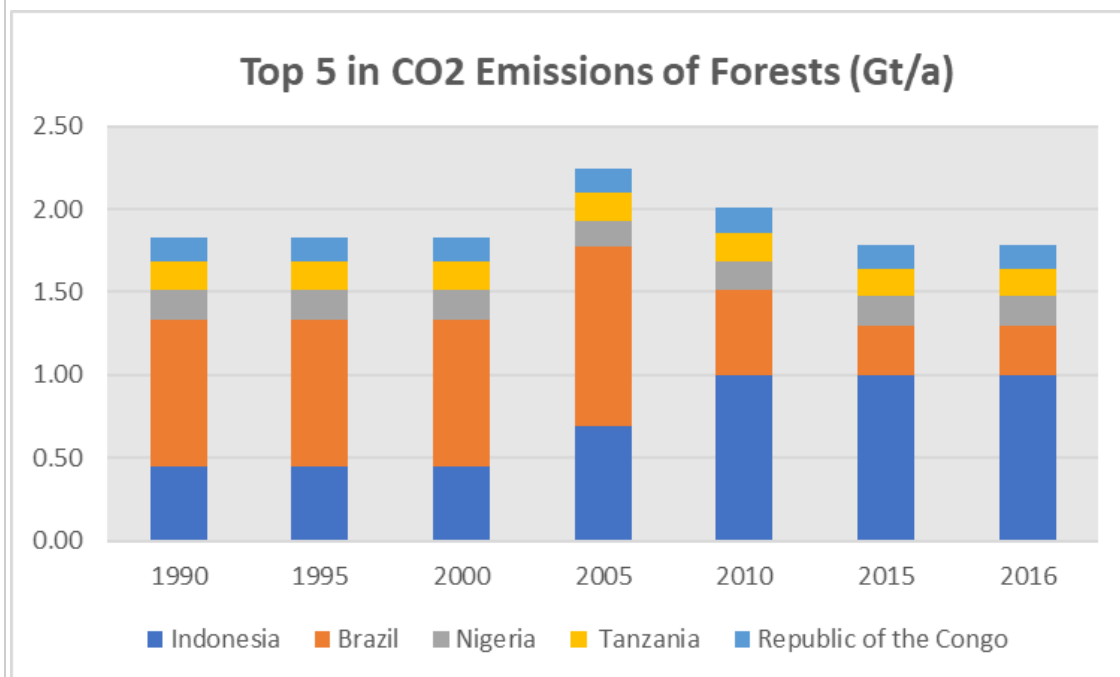
2 Metsien hiilinielut

Globaali tavoite metsien hiilinielulle tulee olla, että niiden avulla voidaan kompensoida muut maatalouden aiheuttamat kasvihuonekaasut kuten metaani ja ilokaasu. Tänäpä metsien hävitys pienentää metsien hiilinieluja noin 700 MtCO₂ vuodessa, mutta vuoteen 2035 mennessä metsien ja sahatavaran nettopäästöt pitää muuttaa hiilinielujen kasvuksi (Kuva 2.1).



Kuva 2.1 Metsien hiilivarastojen häviämisen aiheuttamat CO₂-päästöt maailmassa (Lähde: Kirja: "Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen").

Suomessa vastaavasti metsien ja sahatavaran yhteinen hiilinielu on noin 30 MtCO₂ ja se pitää säilyttää samansuuruisena tulevaisuudessa. Suomen kehityshankkeet tulee suunnata ensi sijassa globaalin metsätuhon lopettamiseen ja uusien metsien kasvatukseen ennen muuta Indonesiassa, Brasiliassa, Nigeriassa, Tansaniassa ja Kongossa, jotka ovat suurimmat metsien hävityksen kohdemaat. (Kuva 2.2) (Liite 1).



Kuva 2.2 Eniten metsien hiilivarastoja hävittäneet maat (Lähde: Data of Forests EKOENERGO OY - Data of World Forests)

3 Vety ja sähköpolttoaineet (strategian luku 2.3)

Vetyä tarvitaan erikoisprosessien energialähteenä kemian teollisuudessa ja raudanvalmistuksessa. Suurin vedyn tarve on tällä hetkellä Kilpilahden vetykrakkauksen yhteydessä ja Raahessa raudan pelkistyksessä.

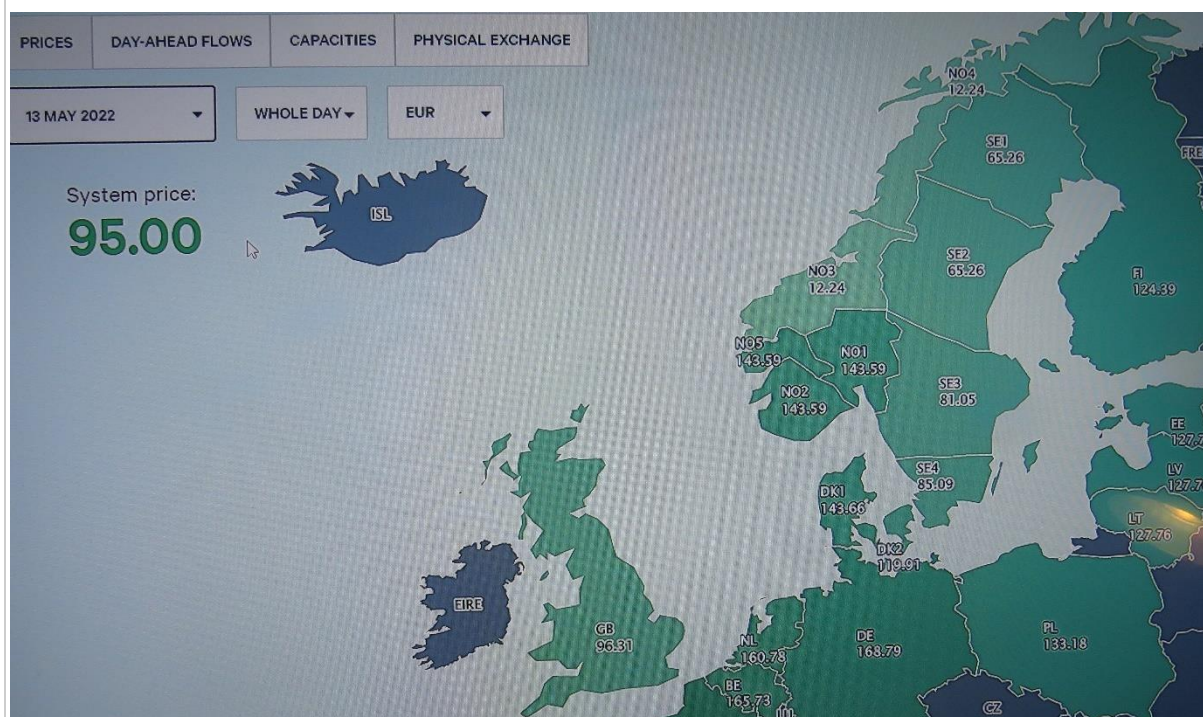
Vetyä käytetään myös laivojen polttoaineena suoraan tai vedystä johdettujen polttoaineiden kuten ammoniakkin tuotannossa. Tässä tarvitaan huomattavia tutkimuspanostuksia, että Suomen polttomoottorivalmistajat pysyvät mukana kansainvälisessä kilpailussa.

Vedystä ei ole henkilöautojen energialähteeksi, koska hyötysuhde esimerkiksi tuulivoimasta vedyksi ja siitä edelleen polttokennon avulla ensin sähköksi ja lopuksi sähkömoottorien kautta liike-energiaksi jää noin 21 %:iin. Jos kaikki Suomen 2,7 miljoonaa henkilöautoa kävisi tuulivoimalla tuotetulla vedyllä, tuulivoimaa pitäisi rakentaa Suomeen sitä varten noin 9600 MW (Taulu 3.1). Sen sijaan 2,7 miljoonaa täyssähköautoa varten tuulivoimatehoksi riittää 2000 MW. Metanoliautoja varten tuulivoimaa pitäisi rakentaa vastaavasti noin 15.000 MW.

Taulu 3.1 Tuulivoiman tarve eri tekniikoilla (Lähde: Kirja: Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen).

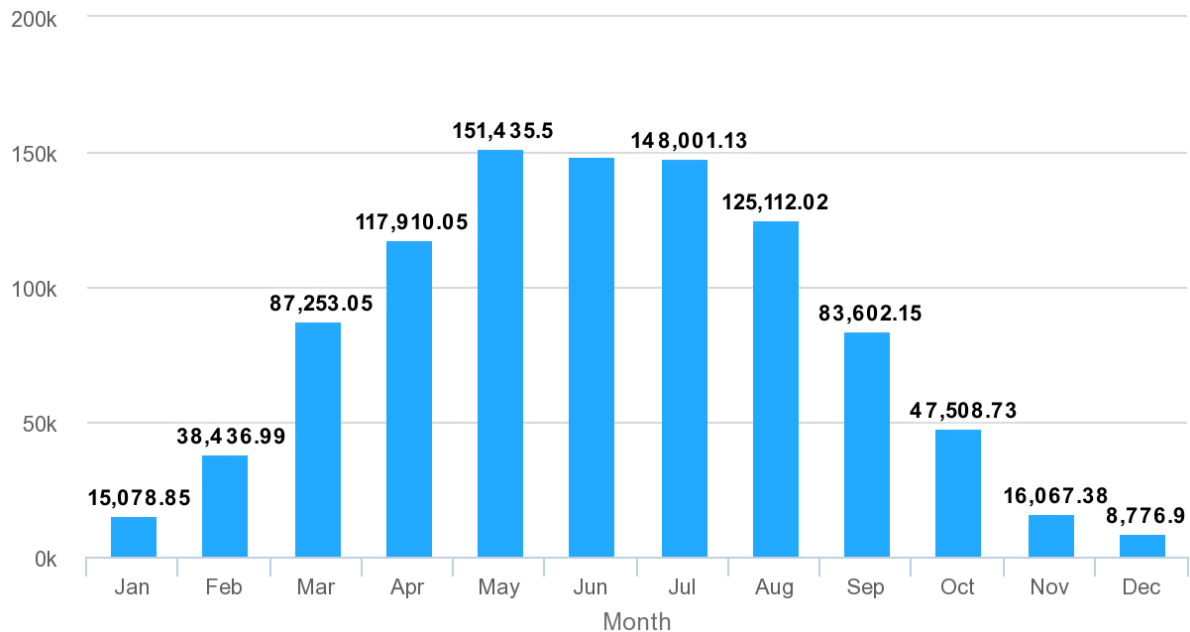
Sähkön tarve henkilöautoille		Käyttövoima		
Käyttövoima	yksikkö	Sähkö	Vety	Metanoli
Lukumäärä	milj. kpl	2.7	2.7	2.7
Ajomäärä	km/auto	15000	15000	15000
Sähkön tarve	kWh/auto	2250	2250	2250
Hyötysuhde				
- valmistus	%	-	70%	46%
- sähköntuotanto	%	-	30%	30%
- kokonais	%	-	21.0%	13.8%
Sähkön tarve	kWh/auto	2250	10714	16304
	TWh	6.1	28.9	44.0
Tuulivoiman tarve	MW	2025	9643	14674
Suhde sähköautoihin		1.0	4.8	7.2

Suomi ei ole vedyn tuottajamaana kilpailukykyinen, koska sähkön hinta on täällä suurempi kuin esimerkiksi Pohjois-Norjassa ja Ruotsissa, joissa ei ole sähkön siirtoverkkoja etelään tai Espanjassa tai Lähi-Idässä, jossa aurinkosähköä saadaan vuodessa samankokoisista paneeleista kaksinkertainen määrä. Esimerkiksi ennen Venäjän tuonnin loppumista 13.5.2022 perjantaina sähkön keskihinta Suomessa oli 124 €/MWh, Pohjois-Ruotsissa 65 €/MWh ja Pohjois-Norjassa 12 €/MWh. On kai itsestään selvää, että Suomen 124 €/MWh vetyä ei kannata valmistaa,

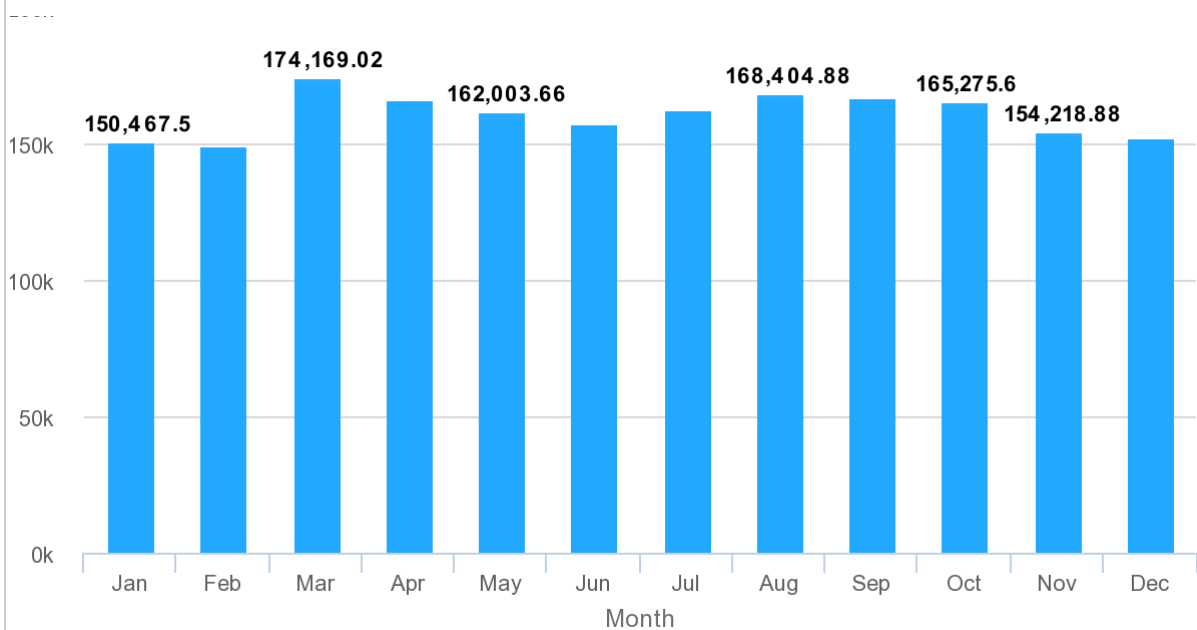


Kuva 3.1 Sähkön hinta Nord poolissa 13.5.2022.

Suomessa Tammisaaren korkeudella (60° astetta pohjoista leveyttä) EU:n aurinkolaskuri antaa 1000 kW aurinkopaneeleille vuosituotoksi noin 1000 MWh vuodessa (Kuva 3.2), mutta Siinaissa (30° PL) tuotoksi saadaan 1900 MWh vuodessa (Kuva 3.3). Erona näiden kahden paikkakunnan välillä on se, että Tammisaassa sähköä saadaan talvikuukausina marraskuusta helmikuuhun keskimäärin vain noin 20 MWh eli noin 25 % keskitehosta. Siinailla talven ja kesän vaihtelu on melko pientä. Talvikuukausien keskienergia on 150 MWh, kun se on vuodessa keskimäärin 159 MWh kuukaudessa.



Kuva 3.2 Aurinkovoimalan tuotto Tammisaassa (60° PL).



Kuva 3.3 1000 kW:n tehoisen aurinkovoimalan tuotto Siinailla (30° PL).

4 Energiatohokkuuden edistäminen (strategian luku 2.4)

4.1 Asunnot

Kiinteistöjen energiatohokkuusnormit muutetaan siten, että parhaaseen luokkaan kuuluvat nollapäästöiset talot. Ne saattavat kuluttaa paljonkin esimerkiksi uusiutuvaa energiaa, mutta eivät aiheuta haitallisia ympäristöpäästöjä.

Kaiken tehokkuussäätelyn tavoitteena pitää olla CO₂-päästöjen vähentäminen. Jos talo lämpiää sähköllä, sen CO₂-päästö on laskettavissa kaavalla

$$P = E \text{ (kWh/m}^2\text{)} \times \text{SPK (CO}_2\text{/kWh)}$$

Jos energiantarve E on 100 kWh/m² ja sähkön päästökerroin (SPK) on 50 gCO₂/kWh, asunnon päästökerroin $P = 100 \text{ kWh/m}^2 \times 50 \text{ g/kWh} = 5 \text{ kgCO}_2\text{/m}^2$. Vastaavasti, jos öljylämmitystalon öljynkulutus E on 100 kWh/m² ja sähkönkulutus 20 kWh/m², talon päästökerroin on $100 \times 270 + 20 \times 50 = 27 + 1 = 28 \text{ kgCO}_2\text{/m}^2$.

Energialuokitus tulee olla seuraava P (kgCO₂/m²):

A = alle 5 kgCO₂/m², B = 5 – 10 kgCO₂/m², C = 10 – 15 kgCO₂/m², D = 15 – 20 kgCO₂/m², E = 20 – 25 kgCO₂/m², F = 25 – 30 kgCO₂/m², G = 30 – 40 kgCO₂/m² ja H = yli 40 kgCO₂/m².

Jos 100 m² kokoinen talo kuuluu A-luokkaan, sen päästöt ovat alle 500 kgCO₂ vuodessa. Suomessa on noin kolme miljoonaa asuntoa. Jos kunkin asunnon CO₂-päästöt olisivat alle 500 kgCO₂, asuntojen kokonaispäästöt olisivat 1,5 miljoonaa tonnia CO₂:ta vuodessa. Jos tämä jaetaan kaikkien 5,5 miljoonan asukkaan kesken, siitä saadaan keskimääräiseksi asumisen CO₂-päästökseksi $1,5/5,5 = 270 \text{ kgCO}_2\text{/asukas}$.

4.2 Henkilöautot

Autojen luokitukseen pitää ottaa mukaan myös sähköautot siten, että siinä käytetään sähkölle keskimääräistä päästökerrointa SPK = 50 gCO₂/kWh. Tällöin sähköautojen energialuokaksi tulee $0,2 \text{ kWh} \times 50 \text{ gCO}_2\text{/kWh} = 10 \text{ gCO}_2\text{/km}$. Näin luokitus olisi seuraava:

A = alle 10 gCO₂/km, B = 10 – 20 gCO₂/km, C = 20 – 40 gCO₂/km, D = 40 – 60 gCO₂/km,

E = 60 – 80 gCO₂/km, F = 80 – 100 gCO₂/km, G = 100 – 150 gCO₂/km ja H = yli 150 gCO₂/km.

Suomessa henkilöautoilla ajetaan keskimäärin 15.000 km vuodessa. Jos kaikki autot pääsivät A-luokkaan, CO₂-päästöt olisivat $10 \text{ g/km} \times 15.000 \text{ km} = 150 \text{ kgCO}_2$ vuodessa. Näin Suomen kaikkien 2,7 miljoonan henkilöauton CO₂-päästöt olisivat $2,7 \times 150 = 405.000 \text{ tCO}_2$ eli noin 70 kg/asukas.

5 Energian toimitus- ja huoltovarmuus (strategian luku 2.5)

5.1 Sähkön toimitusvarmuus

Sähkö on Suomen tärkein energiamuoto tänään ja tulevaisuudessa sen osuus kasvaa jopa yli 80 %:iin kaikesta loppuenergiasta. Sähkön toimitusvarmuuden ylläpito on tämän vuoksi ensisijaisen tärkeää. Toimitusvarmuutta mitataan, kuinka monta tuntia Suomessa on todennäköinen sähkövajeus. Aalto-yliopiston tekemän selvityksen mukaan tehovaje oli ennen Venäjän tuonnin loppumista noin yksi tunti vuodessa (Kuva 5.1.1, Nykytila).

Kun 14.5.2022 Venäjä lopetti sähkön viennin Suomeen, tehovajeusriski on 4 tuntia vuodessa, jos Olkiluoto 3 on toiminnassa ja 16 tuntia, jos se on vikojen takia pois verkosta. Suomi on sähkön suhteen vahvasti tuonnin varassa ja sähkövajeus on 2500 tuntia, josta tuontia ei ole käytettävissä.

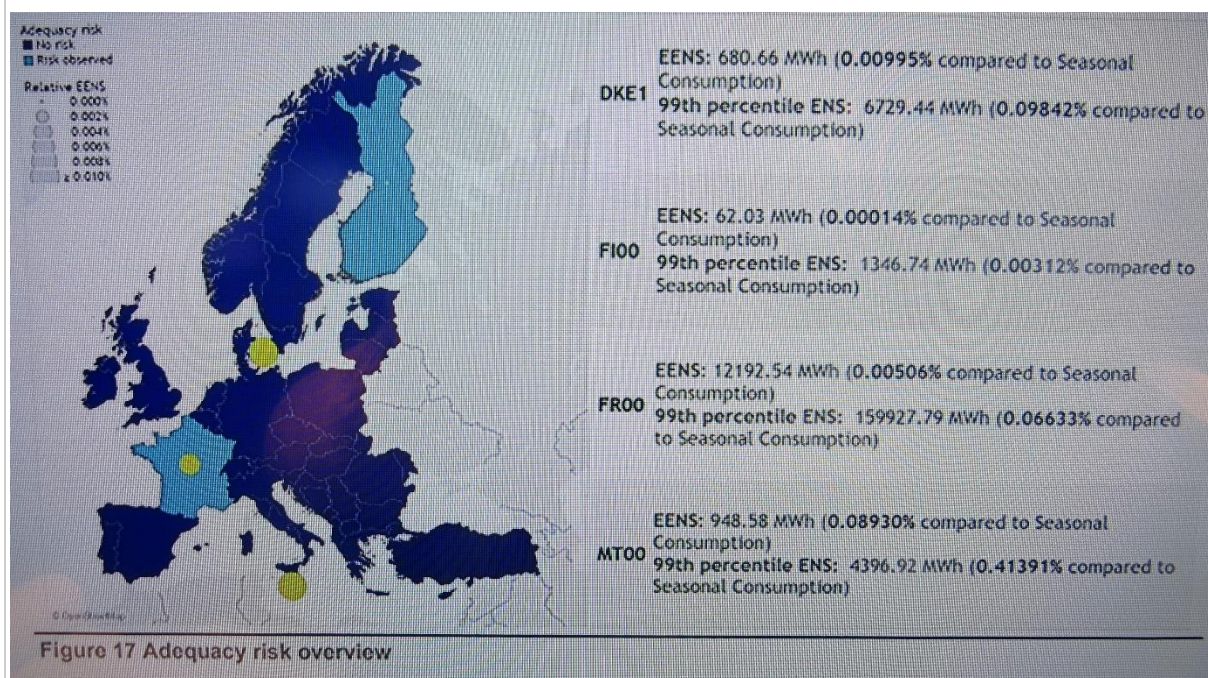
Koska Olkiluoto 3 on vielä koekäyttövaiheessa, voi hyvinkin olla, että laitos on pois verkosta jopa kuukauden ajan vikojen takia, joten varman päälle laskettaessa sähkön toimitusvarmuus on hyvin huono Suomessa, kunnes laitoksen ensimmäisten vuosien lastentaudit saadaan korjattua.



Kuva 5.1.1 Sähkön toimitusvarmuus eri tilanteissa.

Yleisesti käytetty sähköjärjestelmien suunnittelukriteeri on $n - 1$, jolloin järjestelmä pitää pystyä toimimaan, vaikka sen suurin yksikö (Ol3) on poissa toiminnasta. Näin suunnittelun lähtökohtana pitää olettaa, että Olkiluoto 3-yksikkö ei ole toiminnassa ja sähkövajausta on 16 tuntia vuodessa. Tämä ei ole hyväksyttävä taso. Tarvittava toimitusvajausta saa olla korkeintaan yksi tunti vuodessa.

Myös Euroopan yhteinen sähköjärjestelmien suunnittelujärjestä Ensto-E arvioi, että Suomessa voi talvella olla vajea sähköntuotannossa. Samojen ongelmamaiden joukkoon kuuluivat Tanska, Ranska ja Malta, joissa joudutaan rajoittamaan sähkönkulutusta talvella (Kuva 5.1.2).



Kuva 5.1.2 Ensto-E:n arvio Euroopan maiden sähköpulasta talvella 2020-21.

5.2 Toimitusvarmuuden parantamien

Tavoitteena on pitää sähkön toimitusvarmuus niin hyvänä, että sähkövajauksen todennäköisyys on korkeintaan yksi tunti vuodessa. Lisäksi pitää varautua siihen, että sähköjärjestelmä voidaan käynnistää kaupunkien ympärillä paikallisesti, vaikka kantaverkko ei ole toiminnassa.

Poiskytkettävät kuormat 1300 – 1600 MW

Toimitusvarmuutta voidaan parantaa nopeasti ottamalla käyttöön nopeita reservejä korvaavia järjestelmiä. Nopeita reservejä on Suomessa noin 1200 MW ja niiden pitää pystyä käynnistymään 15 minuutissa. Jos kaikki Suomen noin 500.000 sähkölämmitettyä omakotitaloa varustetaan GSM-ohjatuilla releillä, niiden avulla voidaan pudottaa sähköllä lämmitettyjen vesivaraajien kuormia pudottaa noin 300 – 600 MW.

Vastaavasti GSM-releillä voidaan lopettaa sähkölämmitys esimerkiksi yhdeksi tunniksi kerrallaan ja on mahdollista saada noin 1000 MW kuormien pudotustehoa. Näin kuormia ohjaamalla voidaan toteuttaa 1300 – 1600 MW kuormien ohjaustehoa talvella. Samalla Fingridin käytössä olevat 1200 MW nopeat reservit voidaan ottaa normaaleiksi markkinasähkön tuottajiksi.

Valtiovalta on velvoittanut verkkoyhtiöitä kaivamaan jakelujohdot maan alle. Samalla tavalla valtiovaltan tulee velvoittaa verkkoyhtiöitä varustamaan sähkölämmityslaitteet sähkölämmityksessä taloissa netin kautta ohjattavilla GSM-releillä.

Uutta varavoimaa 1000 MW

Varavoimaa on mahdollista myös lisätä noin yhden vuoden aikataululla rakentamalla uusia kaasu- tai dieselmoottorivoimalaitoksia esimerkiksi Wärtsilän tekniikkaan pohjautuen. Pitää kuitenkin muistaa, että öljyllä käyvät dieselmoottorit tuottavat CO₂-päästöjä 275 g/kWh/0,45 = 610 g/kWh ja kaasulla käyvät kaasumoottorit vastaavasti 200 g/kWh / 0,45 = 450 g/kWh. Tällä ei kuitenkaan ole sähköntuotannon kokonaispäästöjen kannalta merkittävää vaikutusta, koska laitosten käyttöaika jää muutamaan tuntiin vuodessa ja niille.

Nämä uudet laitokset tulisi rakentaa kaukolämmityslaitosten tonteille, jolloin kantaverkon sähköpulan sattuessa niiden avulla kaukolämmitys ja vesihuolto voitaisiin pitää toiminnassa. Niiden avulla lämmitysvoimalaitokset olisi myös mahdollista käynnistää ilman valtakunnan verkosta saatavaa sähköä.

Kapasiteettimekanismit

Nämä uudet voimalat voitaisiin rakentaa, kun Suomessa otetaan käyttöön kapasiteettimekanismit, jotka ovat parhaillaan valmisteluvaiheessa (Hallituksen esitys 199-2021). Kapasiteettimekanismien tarjouskilpailu tulee tehdä vähintään kaksi vuotta ennen tarvepäivämäärä, jolloin uutta dieselvoimaa ennätetään rakentamaan olemassa oleville voimalaitos- tai lämpölaitostonteille.

Samalla lakiesitystä tulisi korjata niin, että se mahdollistaa dieselvoimalaitosten päästöt 610 g/kWh. Varavoimalaitosten päästöillä ei ole merkitystä sähköntuotannon kokonaispäästöjen kannalta. Koska Suomi on nyt Venäjän hybridi vaikutusten alaisena, varavoimalaitosten rakentaminen tulee aloittaa pikaisesti.

6 Ydinenergian käyttö (strategian luku 2.6)

6.1 Vanhat ydinvoimalat

Loviisan 1 ja 2 sekä Olkiluoto 1 ja 2 ydinvoimalaitosten käyttöä jatketaan vuoteen 2050 asti, jonka jälkeen vasta uusien ydinvoimalaitosten rakentaminen realistista. Siihen asti näitä voimalaitoksia tulee parantaa.

Suurin ilmastollinen hyöty on saavutettavissa, jos Loviisan ydinvoimalan hukkalämmöllä aletaan lämmittämään koko pääkaupunkiseutua. Selvityksemme mukaan ydinkaukolämmön hukkalämmön avulla Loviisasta saataisiin ydinkaukolämpöä noin 7 TWh ja samalla Pääkaupunkiseudun CO₂-päästöjä voidaan vähentää noin 3 miljoonaa tonnia vuodessa ”*Helsingin CO₂-päästöjen vähennys 3 Mt/a*” (EKOENERGO OY - Studies and consultations). Lämmön hinta Helsinkiin siirrettynä olisi 25 €/MWh. Jos projekti aloitetaan nopeasti, lämmönsiirto voidaan aloittaa jo vuonna 2030.

USA:ssa käyttöluvia ydinvoimalaitoksille on myönnetty aina 80 vuoteen asti. Vuonna 2050 Loviisa 1 on 72 vuotta vanha, joten käyttö lupaa on mahdollista jatkaa esimerkiksi vuoteen 2057 asti, jolloin laitoksen kytkemisestä verkkoon tulisi 80 vuotta. Ei voida poissulkea sitäkään, että Loviisan laitosten käyttö jatkuisi aina vuoteen 2077 asti, jolloin laitosta olisi käytetty 100 vuotta.

6.2 Uudet ydinvoimalat

Jos Suomi haluaisi rakentaa mahdollisimman nopeasti uuden ydinvoimalan, ainoa mahdollinen tekniikka oli EPR-1600, joka on valmistumassa Olkiluotoon. Sen rakentaminen kesti elokuusta 2005 maaliskuuhun 2022, jolloin laitos kytkettiin sähköverkkoon. Rakentamisen kesto oli 16 vuotta ja seitsemän kuukautta. Sitä ennen laitokselle haettiin periaatepäätöstä marraskuussa 2000, joten lisensiointi ja suunnitteluvaihe kesti noin viisi vuotta. Käyttöönotto kestää puolestaan noin 5 kuukautta. Projektin kokonaiskesto oli näin $5 + 17 = 22$ vuotta.

Jos siis uusi ydinvoimala halutaan rakentaa EPR-1600- tekniikkaa käyttäen, laitos olisi valmis noin 22 vuoden kuluttua eli vuonna 2045. Jos puolestaan uusi ydinvoimala tehtäisiin paljon puhuttujen SMR-laitosten avulla, lisensiointi voidaan aloittaa vasta, kun tällaisia laitoksia on toiminnassa. Sen jälkeen kestävät lisensiointi- ja rakentamisvaihe yhteensä ainakin 10 vuotta.

Ehkä ensimmäinen SMR on Idahon laitospaikalle hyväksytty NuScalen Non Carbon Project, jonka kuusi 77 MW reaktoria valmistuisivat suunnitelmien mukaan vuonna 2030. Jos Suomen ensimmäinen SMR-projekti alkaisi 2030, lisensiointi voisi olla valmis vuonna 2035 ja laitos kytkettäisiin verkkoon vuonna 2045. Ei ole kuitenkaan tietoa, mitä tällainen voimala maksasi ja olisiko se edes taloudellisesti järkevä pelkässä sähköntuotannossa. Hanhikiven voimalan kustannusarvio on lähteiden mukaan noin 6,5 miljardia euroa ja sen tuottaa sähkö maksaisi noin 64 €/MWh (Taulu 6.2.1). Samalla tavalla laskettuna tuulivoimasähkön tuottaminen maksaa Suomessa noin 40 €/MWh. Olkiluoto 3:n sähkö maksaa noin 47 €/MWh, mutta

voimala saatiin tarjoushinnalla 3,2 mrd. euroa (2000 €/kW). Uusi samalainen laitos maksasi luultavasti noin 4000 €/kW. Siihen pitäisi lisätä omistajan kustannukset ja rakennusajan korot.

Taulu 6.2.1 Ydinvoimalaitosten tuottaman sähkön omakustannushinnat. (Lähde: Kirja: ”Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen”).

Voimalaitos		Tianwan 1-2	Tianwan 3-4	Olkiluoto 3	Hanhikivi 1	Tuulivoima
Tyyppi		VVER-91/99	VVER-91/99	EPR-1600	VVER-1200	40x5
Nettoteho	MW/kpl	990	1060	1600	1150	
Yhteensä	MW	1980	2120	1600	1150	200
Pääsopimus	Meur	800	900	3200	4400	260
Oma osuus	Meur	1867	2100	1280	1320	26
Yhteensä	Meur	2667	3000	4480	5720	286
	€/kW	1347	1415	2800	4974	1430
Rakennusaika	vuotta	6.5	5	17	8	2
Laskentakorko	%	3%	3%	3%	3%	3%
Rakennusajan korot	%	9.8%	7.5%	25.5%	12.0%	3.0%
	Meur	260	225	1142.4	686.4	8.58
Investointi	Meur	2927	3225	5622	6406	295
	€/kW	1478	1521	3514	5571	1473
Suhde Tianwaniin		1.00	1.03	2.38	3.77	1.00
Annuiteetti (30 v 5 %)		6.5%	6.5%	6.5%	6.5%	6.5%
Huipunkäyttöaika	h/a	7500	7500	7500	7500	3200
Pääomakust.	€/MWh	12.8	13.2	30.5	48.3	29.9
Käyttö ja polttoaine	€/MWh	16.0	16.0	16.0	16.0	10.0
Omakustannushinta	€/MWh	28.8	29.2	46.5	64.3	39.9

Ainoa paikka, jossa SMR-laitos voitaisiin kytkeä tuottamaan kaukolämpöä olisi Loviisa, jolloin sen avulla olisi mahdollistaa jatkaa ehkä jo vuonna 2030 alkavaa kaukolämmön siirtoa nykyisistä Loviisan laitoksista Helsingin seudulle. Kaukolämmön myynti tekisi voimalan myös kannattavaksi, koska esimerkiksi 1000 MW kokoisesta voimalaitoksesta saataisiin sähköä noin 7 TWh ja lämpöä noin 7 TWh eli saman verran kuin Loviisan nykyistä voimalaitoksista kaukolämpömuutoksen jälkeen. Tuotanto kasvaisi 8 TWh:sta 14 TWh:iin eli 75 %, mikä voisi tehdä investoinnin kannattavaksi.

7 Energiamarkkinoiden kehittäminen (strategian luku 2.7)

7.1 Sähkömarkkinoiden kehittäminen

Suomen sähkömarkkinoiden suurin ongelma on vakava kapasiteetin puute. Käytettävissä oleva kapasiteetti on vain noin 12.000 MW, mutta huippukulutus voi olla pakkaspäivinä 15.500 MW. Kapasiteettivajaus on noin 3500 MW eli noin 23 % huippukulutuksesta. Tämä suhteellinen kapasiteettivajaus on suurempi kuin missään muussa maassa EU:n alueella.

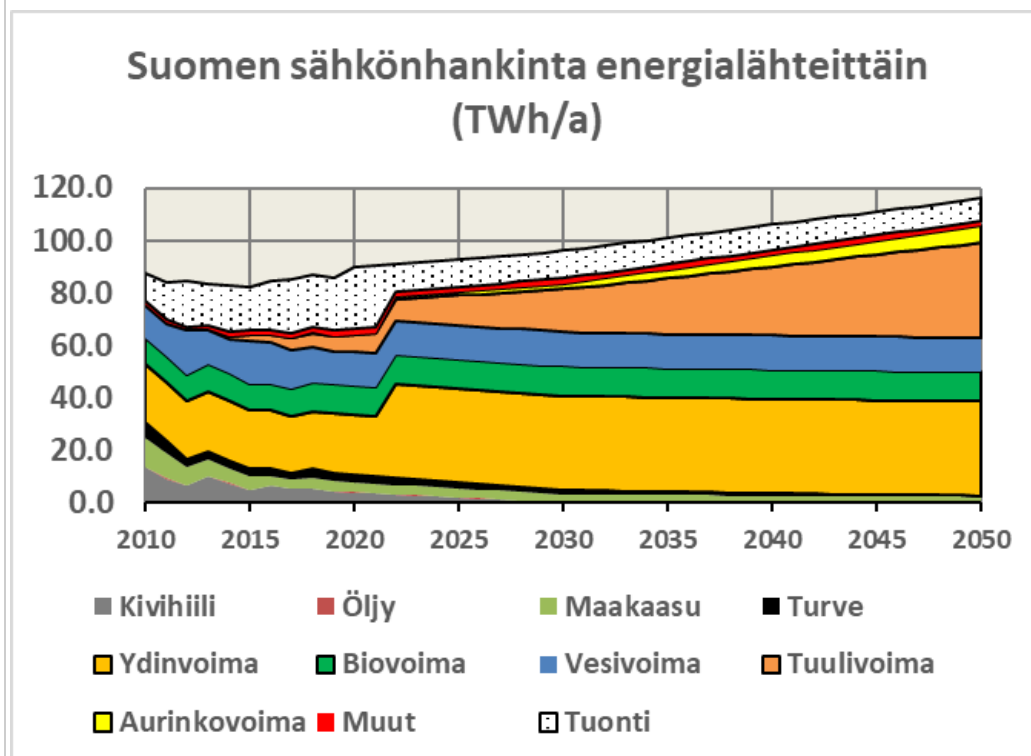
Sähkön tuontikapasiteetin kerrottiin olevan 5100 MW ennen Olkiluoto 3:n käynnistymistä ja Venäjän tuonnin loppumista. Venäjän tuonti oli 1400 MW, joten tuonnin lopettamisen jälkeen

lauantain 14.5.2022 jälkeen tuontikapasiteetti oli vain 3700 MW. Kun Olkiluoto 3 nousee täyteen tehoonsa, Ruotsin tuontia pitää vähentää 300 MW, jotta Olkiluoto 3:n poisputoaminen ei aiheuta valtakunnanverkon kaatumista. Näin syksyllä 2022 tuntikapasiteetti on enää vain 3400MW. Tuontikapasiteettia on juuri ja juuri sen verran, mikä on mahdollinen tehovaje ensi talvena.

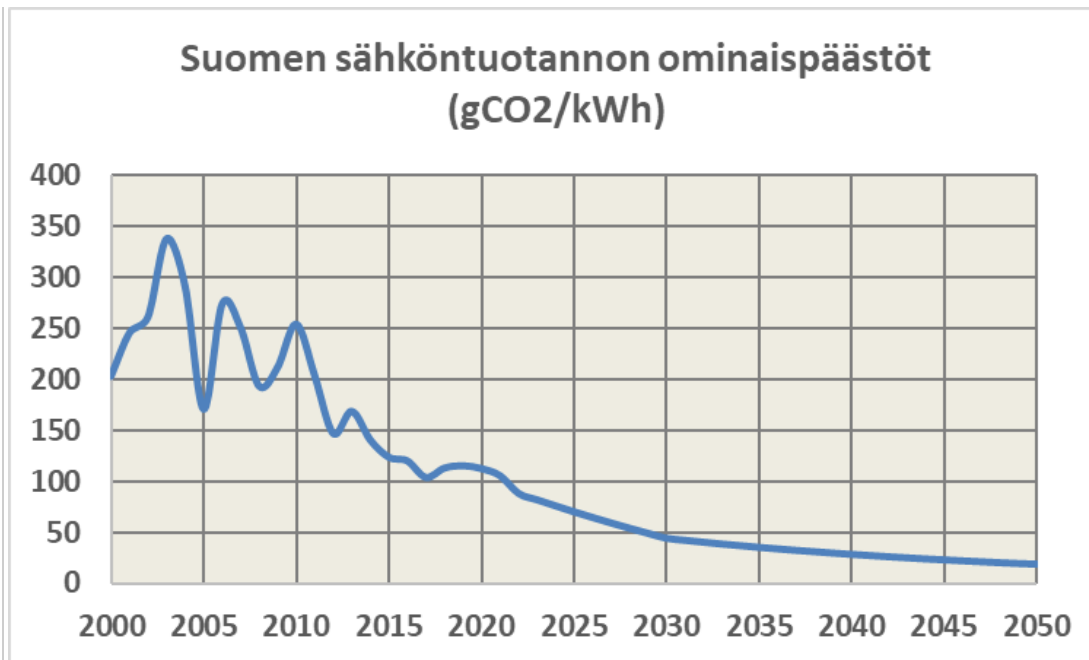
Jotta toimitusvarmuus voidaan palauttaa samaksi kuin tammikuussa 2022, siirtolinjoja ja uutta kapasiteettia pitää yhteensä rakentaa puuttuvan tuonnin eli 1700 MW tehon verran lisää. Tästä 800 MW uusi linja Ruotsiin valmistuu vasta vuonna 2025. Sen jälkeen kapasiteettia puuttuu vielä noin 900 MW, joka voidaan ottaa nopeista reserveistä, jos nopeat reservit (1200 MW) korvataan kuormien ohjauksella talvipäivinä.

Kuten aiemmin luvussa 5 kerrottiin, Suomessa tulee ottaa käyttöön kapasiteettimarkkinat, joiden tarkoituksena on pitää voimalaitoskapasiteetti halutun kokoisena. Samalla tulee varmistua siitä, että tärkeimpiä voimalaitoksia voidaan käynnistää saarekkeina, vaikka kantaverkko olisi pimeänä.

Suomen sähköntuotanto kehittyy varsinkin tuuli- ja aurinkovoiman varassa. Tuulivoiman lisäys on 1 TWh vuodessa ja aurinkovoiman lisäys 0,2 TWh vuodessa. Näin vuoteen 2050 mennessä Suomen tuulivoiman tuotanto ylittää 36 TWh, joka on enemmän kuin ydinvoiman tuotanto samana vuonna (Kuva 7.1.1). Sähköntuotannon ominaispäästö putoaa alle 50 gCO₂/kWh vuoteen 2030 mennessä (Kuva 7.1.2). Näin tätä lukua voidaan pitää sähköenergia suunnitteluarvona.



Kuva 7.1.1 Sähköntuotanto energialähteittäin (Lähde: Kirja: "Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen").



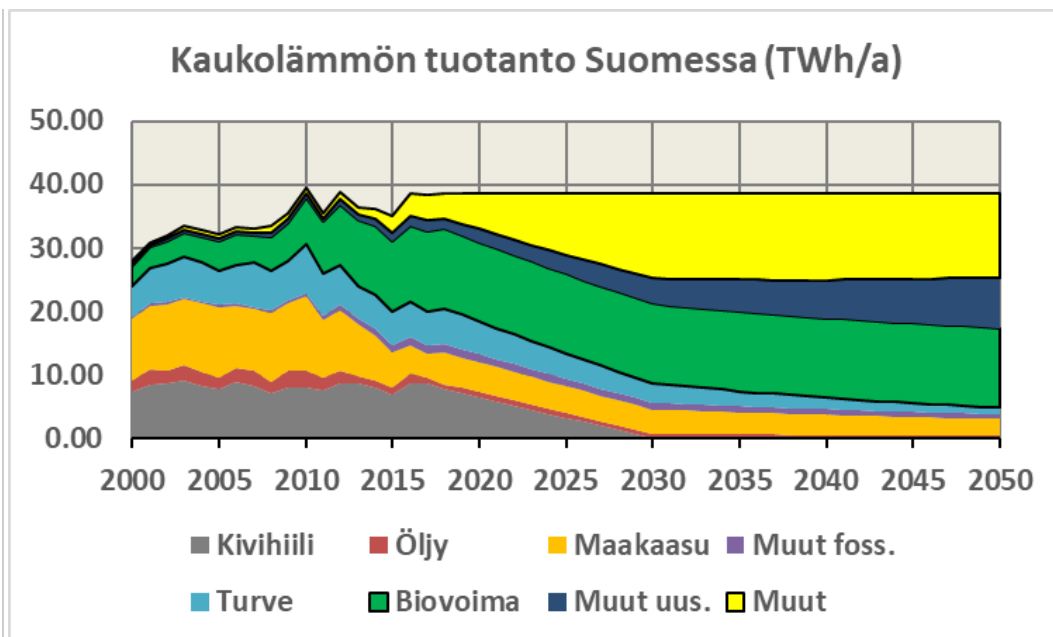
Kuva 7.1.2 Sähköntuotannon CO₂-päästöt (Lähde: Kirja: ”Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen”).

7.2 Lämpömarkkinoiden kehittäminen

Suomessa on käytettävissä suuria määriä hukkalämpöä. Suurin hukkalämmön hyödynnettävissä oleva lähde on Loviisan ydinvoimala, jossa koko syksyn, talven ja kevään ajan tuotetaan reaktorissa lämpöä 3000 MW, josta 2000 MW pumpataan mereen. Tästä lämmöstä noin 1500 MW voidaan edullisesti siirtää Helsinkiin ja säästää samalla CO₂-päästöjä noin kolme miljoonaa tonnia vuodessa. Lämmön omakustannushinta Helsinkiin siirrettynä on noin 25 €/MWh. Siirto on teknillisesti mahdollista aloittaa jo vuonna 2030 ja jatkaa sitä ainakin vuoteen 2050 asti nykyisistä reaktoreista.

Vuoden 2050 jälkeen on mahdollista rakentaa Loviisa 3, joka voisi olla myös NuScalen tyyppinen SMR-reaktori, jossa olisi 12 kappaletta 80 MW tehoista reaktoria. Laitoksen suunnittelu voitaisiin aloittaa, kun ensimmäinen laitos on valmistunut. Se voisi tapahtua vuonna 2030 Idahossa, USA:ssa.

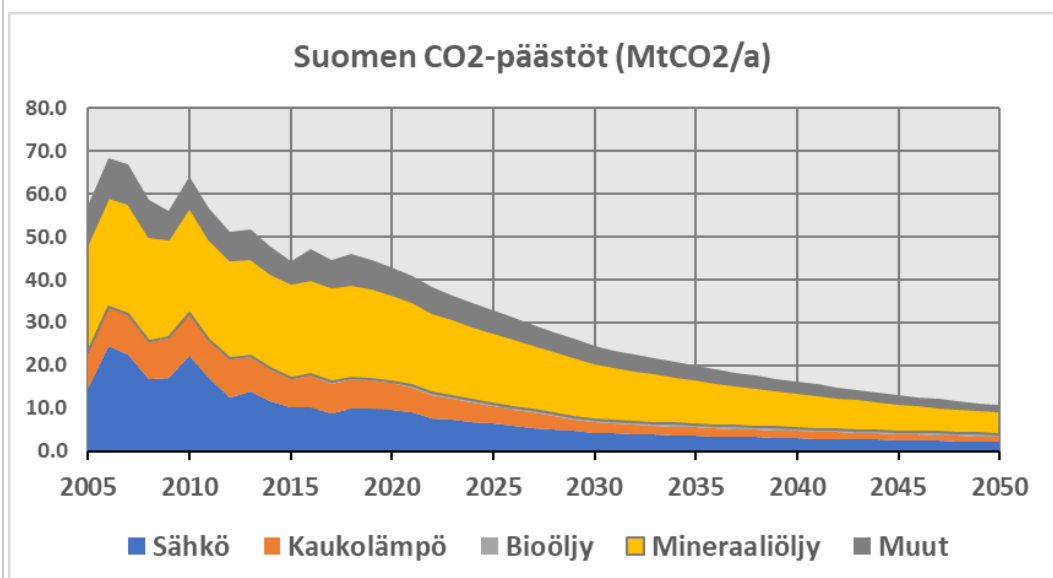
Myös muita hukkalämmönlähteitä voidaan hyödyntää. Espooseen rakennetaan Suomen suurinta datakeskusta, jonka hukkalämpö johdetaan Espoon, Kirkkonummen ja Kauniaisten kaukolämpöverkkoihin. Kaiken kaikkiaan noin 40 TWh kaukolämmön tuotannosta noin kolmannes voitaisiin vuonna 2030 tehdä hukkalämmöllä (Kuva 7.2.1, keltainen alue).



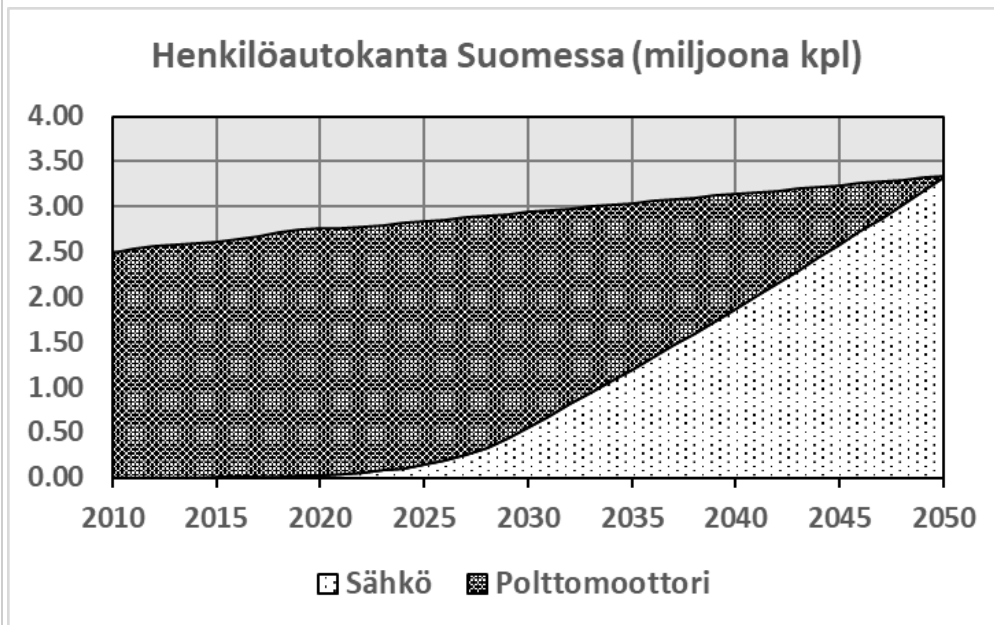
Kuva 7.2.1 Kaukolämmön energialähteet (Lähde: Kirja: "Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen").

7.3 Energiantuotannon CO₂-päästöt

Tärkein energiantuotannon tavoite on alittaa vuonna 2050 CO₂-ominaispäästö 2 t/asukas. Suurin CO₂-päästöjen lähde on mineraaliöljy, joka aiheuttaa noin 50 % Suomen päästöistä (Kuva 7.3.1). Öljyn käyttöä voidaan vähentää siirtymällä sähköautoiluun. Tämä nopeutuu, jos polttomoottoriautojen tuonti kielletään vuoden 2030 jälkeen. Silti vanhoja polttomoottoriautoja on liikenteessä vielä vuoteen 2050 asti (Kuva 7.3.2).



Kuva 7.3.1 Suomen CO₂-päästöt (Lähde: Kirja: "Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen").



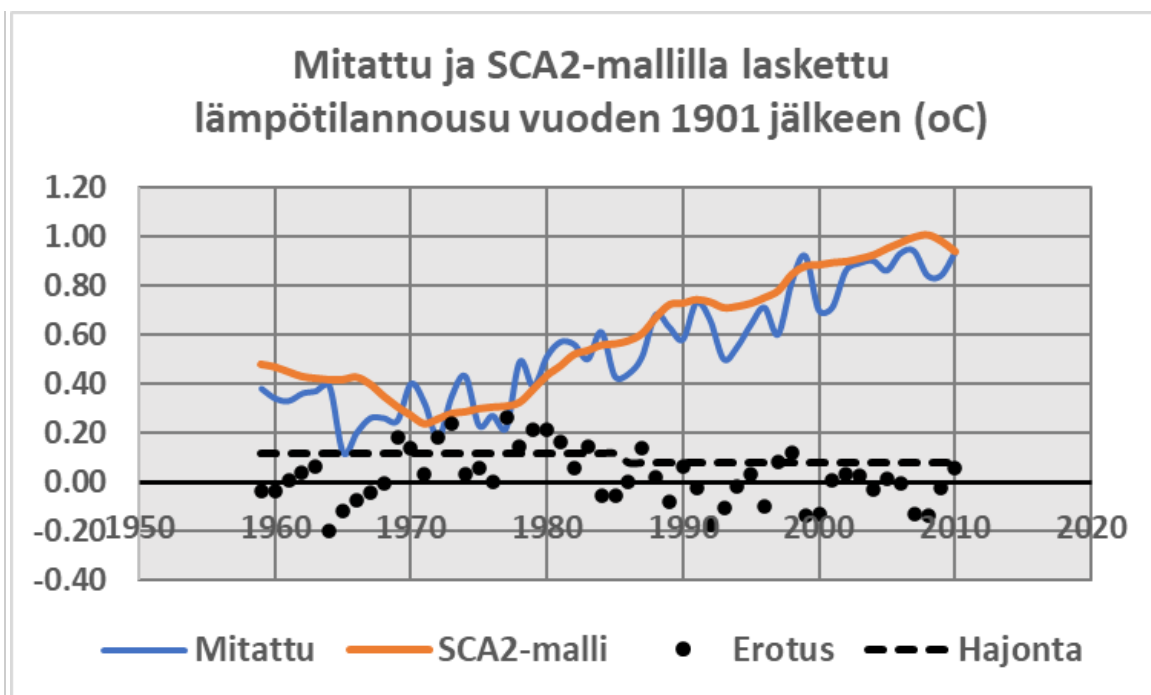
Kuva 7.3.2 Henkilöautokanta Suomessa (Lähde: Kirja: "Lämpötilan nousun pysäytys kahteen asteeseen").

8 Tutkimus, innovointi ja kilpailukyky (strategian luku 2.8)

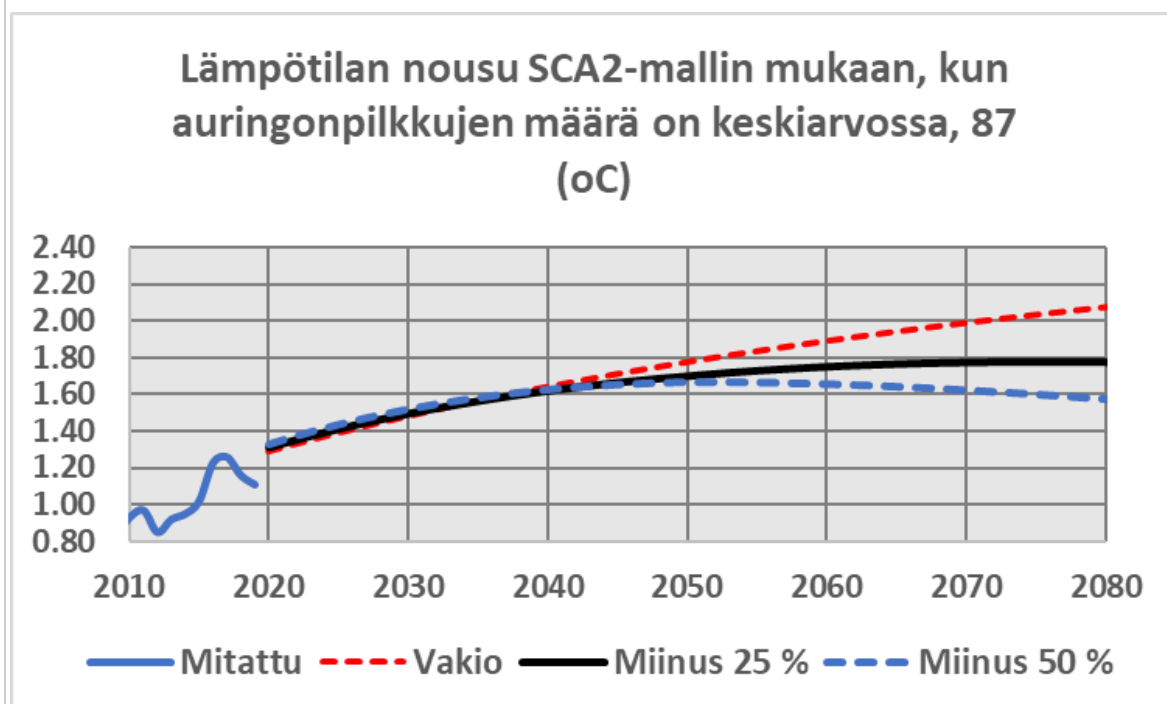
8.1 Ilmaston lämpenemisen mallinnus

Ilmastonmuutoksen ymmärtäminen on liialti ulkomaisten tutkimuslaitosten varassa ja mistään ei ole saatavissa dynaamisia malleja, miten lämpötilan nousu voidaan rajoittaa. Tekemämme SCA2-malli on pystynyt arvioimaan mitatun lämpötilan nousun noin 0,05 asteen keskihajonnalla vuosina 1970 – 2010. Sen tarkempaa mallia ei kirjallisuudessa ole löytynyt (Kuva 10.1.1).

Mallin avulla on ennustettu, että auringonpilkkujen lukumäärän ollessa keskimääräisessä tasossa (87 kpl/vuosi), ilmakehä lämpenee vuoteen 2080 mennessä 2,1 astetta, jos päästöt pysyvät nykytasossa (Kuva 10.2). Jos päästöjä pystytään vähentämään vuoteen 2050 mennessä 25 % tai 50 % lämpeneminen pysähtyy vastaavasti 1,8:aan tai 1,7 asteeseen. Jos päästöjä lasketaan lineaarisesti 50 % vuoteen 2050 mennessä, ilmakehän lämpötila alkaa laskea vuoden 2050 jälkeen.

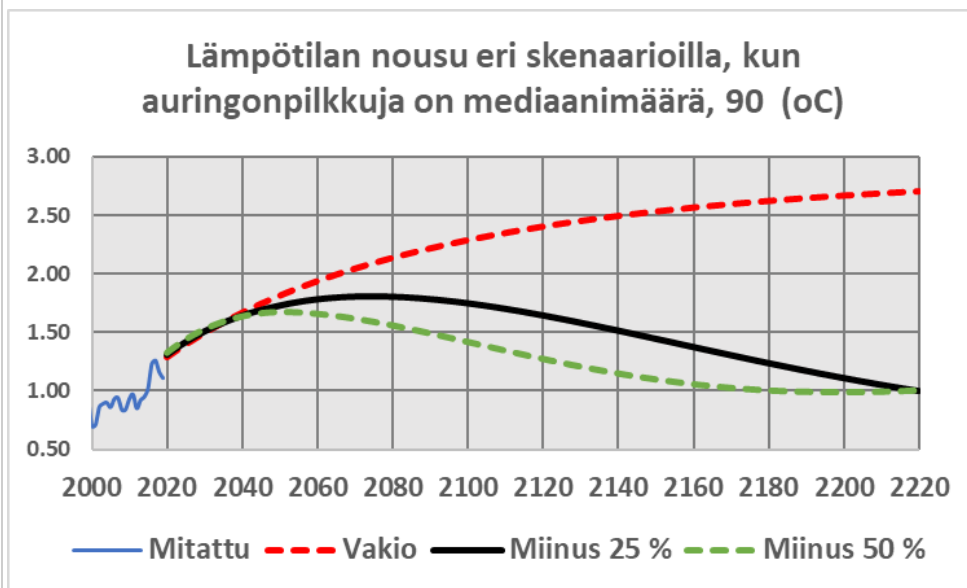


Kuva 8.1.1 Ilmaston lämpenemisen SCA2-mallin virhe verrattuna mitattuun lämpenemiseen (Lähde: "Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen").



Kuva 8.1.2 Ilmaston lämpeneminen, jos auringonpilkkujen määrä on 87 ja CO₂-päästöt säilyvät nykyisinä tai laskevat 25 % tai 50 % vuoteen 2050 mennessä (Lähde: "Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen").

Ilmaston lämpenemisen mallinnuksesta on laskettu seuraavien 200 vuoden lämpeneminen ja merten pinnan nousu. Ilmakehän lämpeneminen eri päästöskenaariolla on 1,0 – 2,7 astetta, kun päästöt vaihtelevat vuoteen 2050 mennessä – 50 % tasosta tai jäävät nykytasolle (8.1.3).



8.1.3 Lämpötilan nousu eri päästöskenaarioilla (Lähde: ”Ilmaston lämpenemisen rajoittaminen kahteen asteeseen”).

8.2 Uusien tekniikoiden kehittäminen

Energia- ja ilmastoimien tutkimus ja kehitystoiminta tulee suunnata vientimarkkinoille, jossa on suuri puute toimivista tekniikoista. Suomi on ollut edelläkävijä uusiutuvien energialähteiden käytössä höyty- ja vesikattoloissa (Tampella, Valmet), diesel-, kaas- ja vetymootoreissa (Wärtsilä), bioenergiasta ja -jätteistä johdetuissa polttoaineissa (Neste).

Uusia tuotteita tulisi kehittää nopeasti kasvaviin energiatekniikan aloihin kuten tuuli- ja aurinkovoimaan. Biopolttoaineiden kasvatukseen kehitysmaissa (UPM Etelä-Amerikka). Esimerkiksi palmuöljyä voisi kasvatuttaa Indonesian ja Malesian sijasta myös Afrikassa ja Etelä-Amerikassa. Myös metsien suojelussa Suomen tulisi pystyä kehitysvaroilla parempaa niissä maissa, joihin kehitysapua annetaan.

Yksi uusi nouseva ala on myös akkuteollisuus. Akkuja tarvitaan autoissa ja sähköverkkojen kuormien tasauksessa. Suomi on jo nyt merkittävä akkumateriaalien tuottaja. Wärtsilä on myös maailmanlaajuinen sähköverkkojen tasaamisen tarkoitettujen akkujen myyjä. Akkuja tarvitaan sähköverkoissa yhä enemmän, koska tuuli- ja aurinkovoiman vaihtelu vaikeuttaa sähköverkkojen stabiilisuuden ylläpitoa.

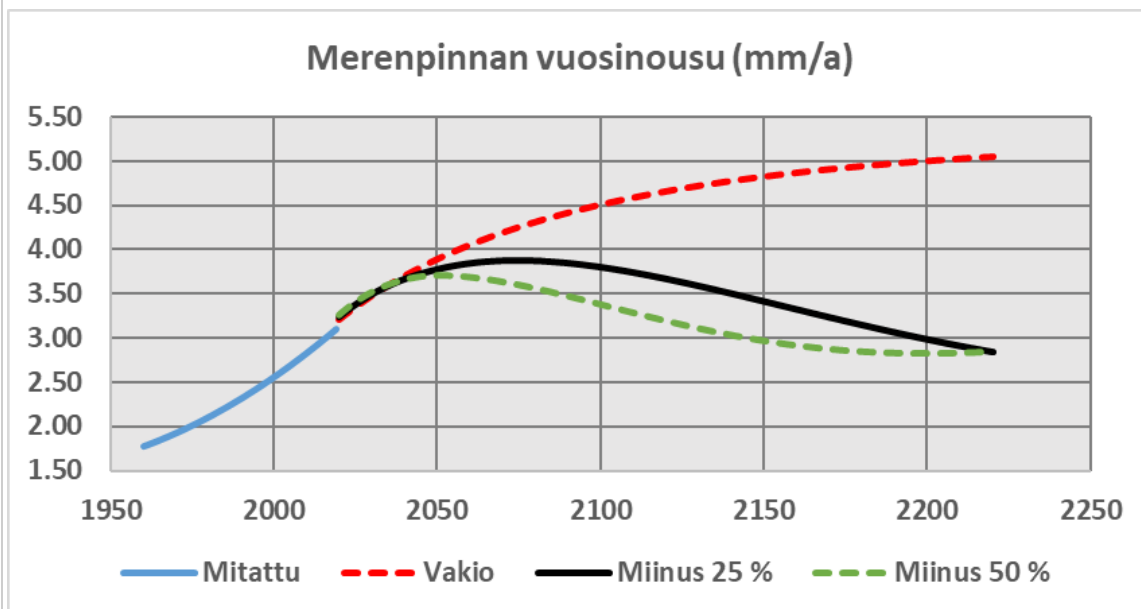
9 Verotus (strategian luku 2.9)

Ei kommentoitavaa

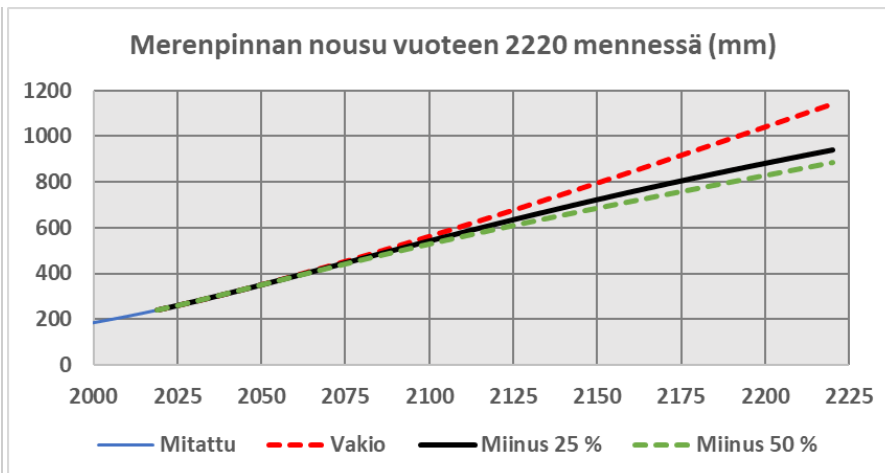
10 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen vahvistaminen (strategian luku 2.10)

Merten pinnanousu voidaan johtaa päästöistä. Jos päästöt säilyvät nykytasolla pinnannousu nopeutuu nykyisestä 3 mm/vuosi arvoon 5 mm/vuosi (Kuva 10.2.2). Se voi myös kääntyä vähenemiseen vuonna 2050, jos päästöjä lasketaan 50 % vuoteen 2050 mennessä.

Merien pinnan kokonaisnousu jäävuoteen 2220 mennessä alle 900 mm, jos päästöjä onnistutaan vähentämään 50 % vuoteen 2050 mennessä. Jos päästöt jatkuvat nykytasolla nousu on 1200 mm (Kuva 10.2.3). Koska Suomessa normaalin merenpinnan nousu voi tämän päälle olla 1500 mm, Suomessa pitää varautua tämän päälle noin 700 mm lisä nousulle, joten talot pitää perustaa vähintään noin 2300 mm korkeudelle meren pinnasta.



Kuva 10.2.2 Merenpinnan nousu päästöjen kehityksen funktiona (Lähde: ”Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen”).

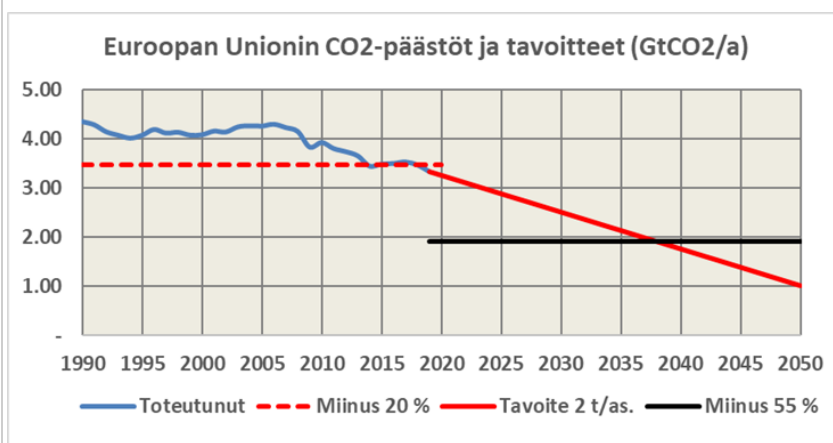


Kuva 10.2.3 Meren pinnan nousu vuoteen 2220 mennessä (Lähde: ”Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen”).

11 EU-vaikuttaminen (strategian luku 2.11)

11.1 Päästötavoitteet EU:ssa

EU:n ilmastotavoitteiden tulee olla sopusoinnussa maailman tavoitteiden kanssa pysäyttää ilmastomuutos kahteen asteeseen. Se saavutetaan, kun ihmisten aiheuttamat CO₂-päästöt ovat pienemmät kuin merten hiilinielut. EU:n tavoite tulee myös olla alittaa CO₂-päästöjen taso 2 tCO₂/asukas vuoteen 2050 mennessä. EU:ssa on noin 500 miljoonaa asukasta, jolloin CO₂-päästöjen tulee vuonna 2050 olla alle 1000 MtCO₂ vuodessa (Kuva 11.1.1).

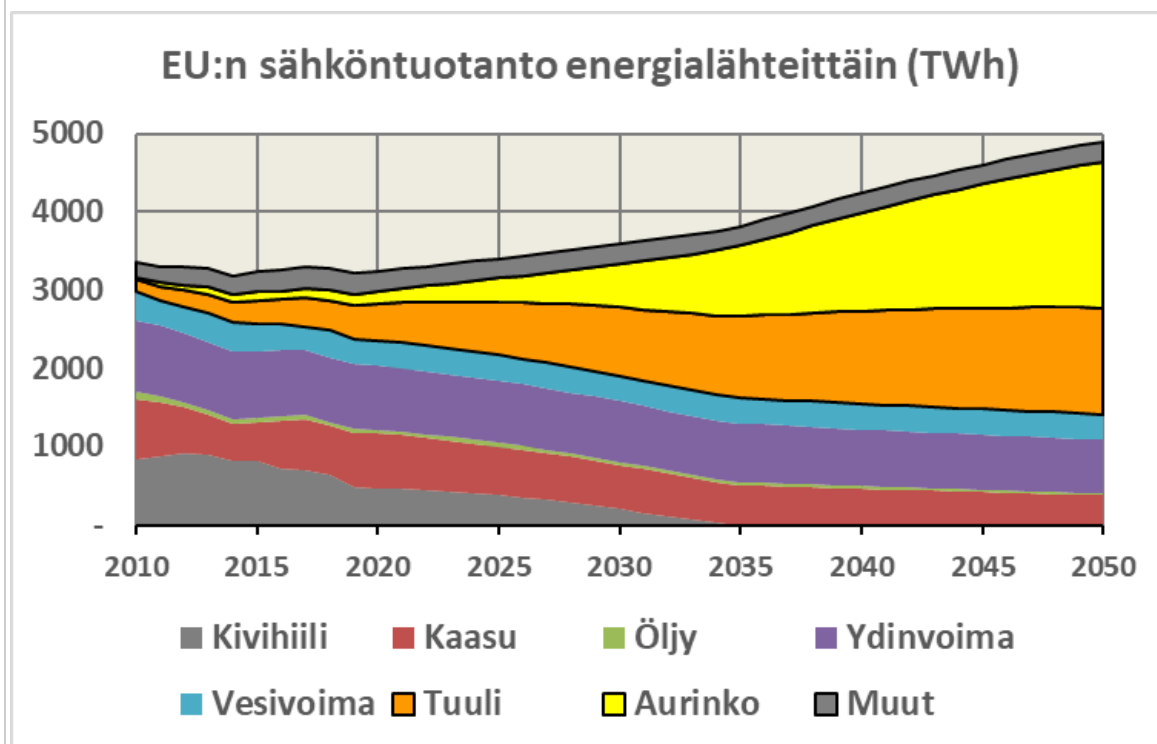


Kuva 11.1.1 EU:n CO₂-päästöjen tavoitteet (Lähde: ”Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen”).

EU:n 55 % tavoite vuodelle 2030 on huomattavasti etuajassa, jos päästöjen vähennys on lineaarista. Lineaarinen vähennysohjelma tarkoittaa, että päästöjen tulee olla -55 % tasolla vasta vuonna 2037 ja 1 GtCO₂ tasolla vuonna 2050.

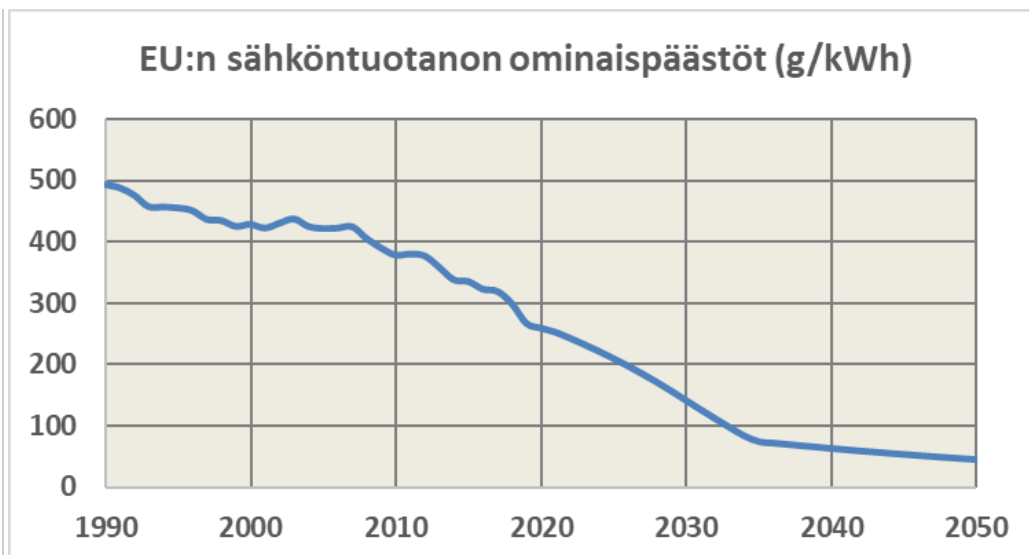
11.2 Sähköntuotannossa EU:ssa

EU:n sähköntuotanto kehittyy vuoteen 2050 mennessä siten, että vuoteen 2050 mennessä tärkeimmiksi energialähteiksi muodostuu aurinkoenergia (40 %) ja toiseksi tärkeimmäksi lähteeksi tuulivoima (30 %) (Kuva 11.2.1). Ydinvoima ja vesivoima kattavat sähkön tarpeesta 20 % ja fossiilisten lähteiden osuudeksi jää 10 %.



Kuva 11.2.1 EU:n sähköntuotanto energialähteittäin (Lähde: ”Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen”).

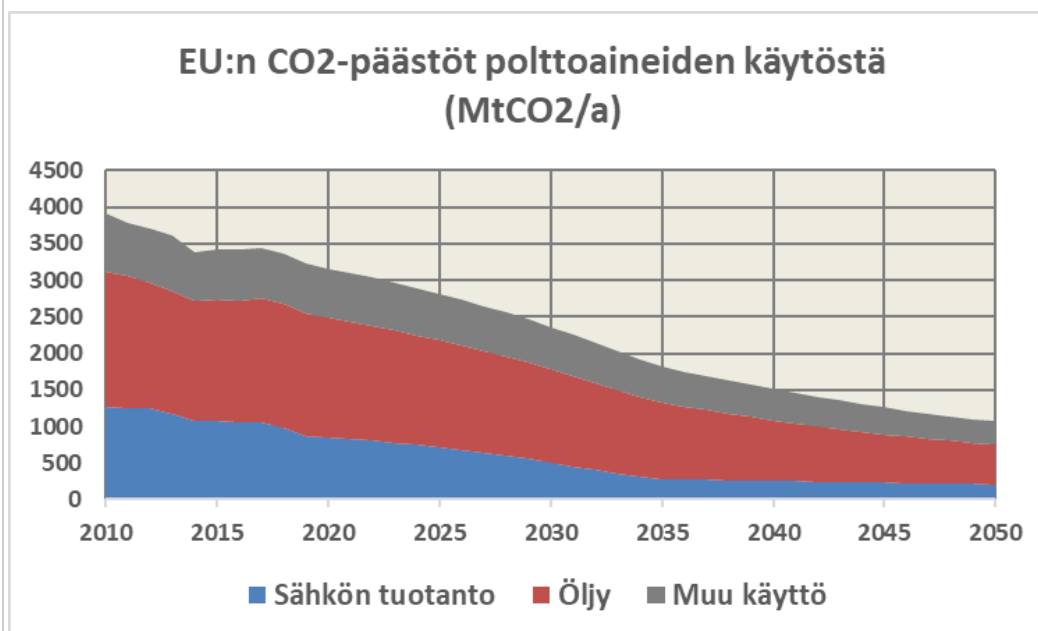
Sähköntuotannon ominaispäästö laskee vastaavasti alle 150 g/kWh vuoteen 2030 mennessä ja siitä edelleen 50 g/kWh vuoteen 2050 mennessä (Kuva 11.2.2).



Kuva 11.2.2 EU:n sähköntuotannon CO₂-päästöt (Lähde: "Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen").

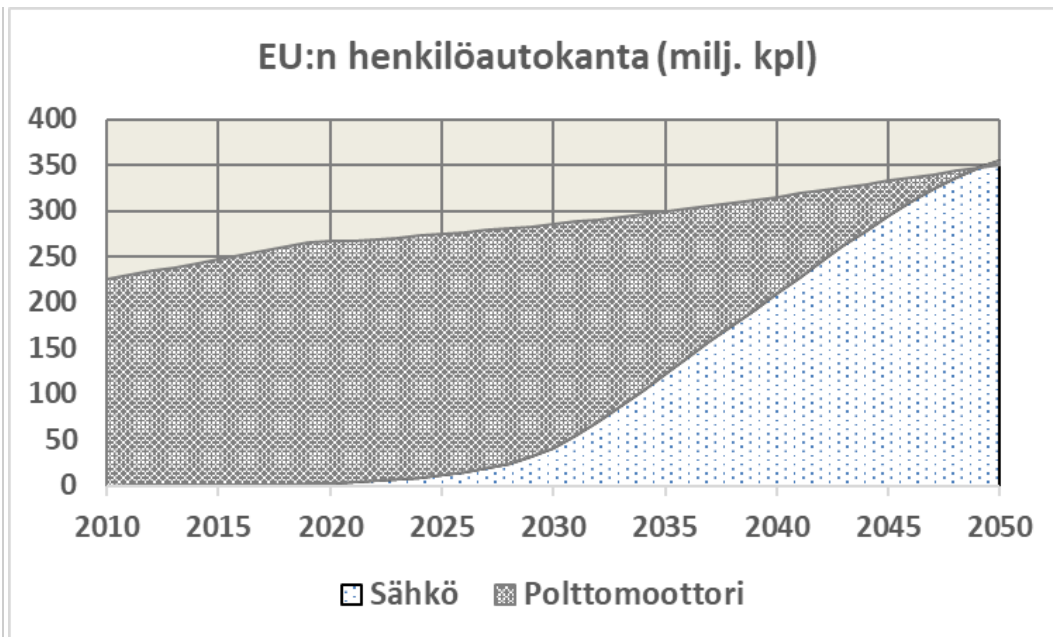
11.3 Öljyn päästöt

Öljy aiheuttaa yli puolet koko EU:n noin 3000 miljoonan tonnin CO₂-päästöistä (Kuva 11.3.1).



Kuva 11.3.1 EU:n CO₂-päästöt (Lähde: Kirja: "Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen").

Öljyn aiheuttamiin CO₂-päästöihin voidaan vaikuttaa muuttamalla henkilöautokanta sähköiseksi vuoteen 2050 mennessä (Kuva 11.3.2). Siihen päästään kieltämällä polttomoottoriautojen myynti vuoteen 2030 mennessä.



Kuva 11.3.2 EU:n henkilöautokanta (Lähde: Kirja: ”Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen”).

Sähkön lisäksi vuoteen 2050 mennessä liikenteessä käytettävät polttoaineiden pitää olla hiilineutraaleja. Esimerkiksi biokaasun avulla koko Suomen raskas liikenteen tarvitsemat polttoaineet voitaisiin kattaa. Myös metsätähteistä saadaan raskaalle liikenteelle sopivia biopolttoaineita edullisesti.

11.4 Muut kasvihuonekaasut ja metsät

Edellä on käsitelty päästöjen osalta pelkästään hiilidioksidia, jonka käyttö aiheutuu pääasiassa energiantuotannosta. Muiden kasvihuonekaasujen (metaani ja ilokaasu) päästöt aiheutuvat pääasiassa maataloudesta. Niiden päästöt pyritään pitämään niin alhaalla, että metsien hiilinieluilla niiden päästöt voidaan kompensoida kokonaan EU:ssa ja koko maailmassa.

Referenssitietoa

Liite 1. Eniten metsien hiilinieluja hävittäneet maat

CO2 storage in living forests		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	Change	Change
Countries		GtCO2	GtCO2	GtCO2	GtCO2	GtCO2	GtCO2	GtCO2	GtCO2	%
1	Indonesia	63.72	61.47	59.22	55.78	50.78	45.79	44.79	-18.93	-30%
2	Brazil	235.44	231.05	226.66	221.21	218.62	217.15	216.85	-18.59	-8%
3	Nigeria	7.39	6.47	5.56	4.83	3.98	3.06	2.88	-4.51	-61%
4	Tanzania	24.21	23.34	22.48	21.61	20.75	19.94	19.78	-4.43	-18%
5	Republic of the Congo	74.92	74.19	73.47	72.74	72.01	71.28	71.14	-3.78	-5%
6	Colombia	35.67	34.94	34.22	33.38	32.58	32.51	32.50	-3.17	-9%
7	Cameroon	12.07	11.52	10.97	10.43	9.89	9.34	9.23	-2.84	-23%
8	Paraguay	9.30	8.94	8.59	8.23	7.59	6.88	6.74	-2.56	-28%
9	Bolivia (Plurinational St	17.88	17.50	17.11	16.72	16.29	15.87	15.78	-2.10	-12%
10	Argentina	12.94	12.64	12.35	11.95	11.49	11.05	10.96	-1.98	-15%
11	Venezuela (Bolivarian R	22.86	22.33	21.80	21.25	21.26	20.96	20.90	-1.96	-9%
12	Myanmar	7.48	7.07	6.65	6.36	6.06	5.69	5.61	-1.87	-25%
13	Canada	52.90	52.86	52.83	51.83	51.30	51.27	51.26	-1.64	-3%
14	Sudan	8.75	8.56	8.37	7.62	7.45	7.23	7.19	-1.56	-18%
15	Peru	32.38	32.16	31.95	31.73	31.39	31.04	30.96	-1.42	-4%
16	Zimbabwe	2.56	2.37	2.18	1.99	1.80	1.62	1.59	-0.97	-38%
17	Ecuador	6.39	6.18	5.97	5.80	5.63	5.46	5.43	-0.96	-15%
18	Mozambique	6.89	6.71	6.53	6.35	6.20	6.02	5.98	-0.91	-13%
19	Angola	16.77	16.60	16.42	16.25	16.08	15.91	15.87	-0.90	-5%
20	Honduras	1.90	1.69	1.49	1.35	1.21	1.07	1.04	-0.85	-45%
21	Cambodia	2.23	2.10	1.97	1.82	1.70	1.59	1.56	-0.67	-30%
22	Ethiopia	1.46	1.00	0.93	0.87	0.80	0.82	0.82	-0.65	-44%
23	Madagascar	6.52	6.35	6.19	6.10	5.96	5.89	5.87	-0.65	-10%
24	Zambia	9.46	9.31	9.16	9.01	8.86	8.83	8.82	-0.63	-7%
25	Pakistan	1.21	1.10	0.99	0.89	0.78	0.64	0.61	-0.60	-50%
26	Nicaragua	1.86	1.71	1.57	1.42	1.28	1.28	1.28	-0.58	-31%
27	Nepal	2.21	2.06	1.91	1.78	1.78	1.78	1.78	-0.43	-19%
28	Mongolia	2.46	2.38	2.30	2.22	2.14	2.06	2.04	-0.42	-17%
29	Ghana	3.01	2.91	2.80	2.62	2.65	2.61	2.60	-0.40	-13%
30	Somalia	1.77	1.69	1.61	1.52	1.44	1.38	1.37	-0.40	-23%
31	Chad	1.36	1.32	1.28	1.24	1.11	0.99	0.96	-0.40	-29%
32	Iran (Islamic Republic of	0.91	0.91	0.91	0.93	0.95	0.61	0.54	-0.37	-40%
33	Uganda	0.63	0.57	0.51	0.45	0.37	0.28	0.26	-0.37	-58%
34	Mexico	7.66	7.57	7.49	7.40	7.34	7.31	7.30	-0.36	-5%
35	Central African Republic	10.77	10.70	10.63	10.56	10.49	10.42	10.41	-0.35	-3%
36	Guatemala	1.34	1.26	1.19	1.11	1.03	0.99	0.99	-0.35	-26%
37	Lao People's Dem. Rep.	4.23	4.19	4.14	4.06	3.98	3.90	3.88	-0.34	-8%
38	People's Rep. of Korea	0.88	0.82	0.76	0.70	0.63	0.56	0.54	-0.33	-38%
39	Guinea	2.52	2.46	2.39	2.33	2.27	2.21	2.19	-0.32	-13%
40	Benin	1.22	1.14	1.07	1.02	0.96	0.91	0.90	-0.32	-26%

Ekoenergo Oy

Ekoenergo Oy on vuonna 1979 perustettu yritys, joka on erikoistunut selvittämään energia- ja ilmastomuutosasioita. Yhtiö on julkaissut 19 kirjaa, joista 10 käsittelee Energia- ja ilmastoasioita. Yhtiön julkaisemat kirjat on esitelty yhtiön kotisivuilla www.ekoenergo.fi. Kirjoista uusin on ”*Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen*” v. 2021 tammikuussa.

Entinen ladattu e-kirja on *Fundamentals of Global Warming*-kirja, joka on ollut kotisivuilla ladattavissa vuodesta 2017 alkaen. Siitä tehty toinen painos on julkaistu vuonna 2019. Lisäksi sivustoilta löytyvät selvitykset ”*Data of World Forests*” ja ”*Metsien ja sahateollisuuden hiilinielu*”, jotka liittyvät ilmastomuutoksen arviointiin.

Asko Vuorinen

Asko Vuorinen on vuonna 1945 syntynyt tekniikan lisensiaatti, joka oli vuosina 1971-1979 suunnitteluinsinöörinä Loviisa 1 ja 2- projekteissa ja vuosina 1980- 1992 pääsuunnittelijana Loviisa 3-projektissa. Hän toimi vuosina 1992 – 2010 Wärtsilän energiajohtajana ja sen tytäryhtiön Modigen Oy:n toimitusjohtajana.

Yhteystiedot: [askovuorinen \(at\) gmail.com](mailto:askovuorinen(at)gmail.com)