



KEMIANTEOLLISUUS

 **Metsäteollisuus**

POWER  **DERIVA**

 **Tecnologiateollisuus**

PÄÄSTÖOIKEUDEN VAIKUTUS SÄHKÖN HINTOIHIN JA TEOLLISUUDEN KILPAILUKYKYYN

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
2	Lähtötiedot	2
	Power-Derivan EMPS-hintamalli	2
	Polttoaineiden hinnat	3
	Sähköntuotannon omakustannukset	4
3	EU:n päästökauppajärjestelmä	7
	EU:n päästökaupan historia	7
	Päästökauppajärjestelmän tulevaisuus	10
	Suomen päästöoikeushuutokauppatulojen kehitys	12
4	Energiabalanssit	17
	Pohjoismaat	17
	Keski-Eurooppa	19
5	Base-skenaarion sähkön hinnat	23
	Kooste sähkön aluehinnoista	23
6	Päästöoikeuden vaikutus sähkön hintaan	25
	Päästökaupan vaikutukset Suomen aluehintaan	28
	Pörssisähkön ominaispäästökertoimien skenaariotarkastelun tulokset	36
7	Päästökaupan vaikutus ja kompensaation tarve	38
	Kompensaatiomalli käytännössä	40
8	Yhteenveto	41

1 JOHDANTO

Power-Deriva Oy on tehnyt tarkastelun Päästöoikeuden vaikutus sähkön hintoihin ja teollisuuden kilpailukykyyn Metsäteollisuus ry:n, Kemianteollisuus ry:n ja Teknologiateollisuus ry:n toimeksiannosta. Power-Deriva tutkii raportissa erilaisten päästöoikeuden hintaskenaarioiden vaikutusta sähkön hintoihin ja teollisuuden kilpailukykyyn sähkön hinnan kautta. Käsitlemme raportissa myös Suomen päästöoikeushuutokauppatulojen ja päästökaupan kustannusten kompensaation tulevaisuuden näkymiä.

Päästöoikeusmarkkina on muuttunut huomattavasti viimeisen kolmen vuoden aikana. Markkinoilla vallinnut ylitarjontatilanne piti hintatason vuosien ajan 5-7 €/tCO₂ tuntumassa, mutta viimeisen vuoden aikana hinta on ollut 20-25 €/tCO₂ tasolla johtuen odotuksista tilanteen muuttumisesta. Euroopan politikot ovat pitkään puhuneet päästöoikeuden hintatason olevan liian alhainen vaikuttamaan erityisesti energiateollisuuden päästöihin.

2017-2018 hyväksytty markkinavakauserä (Market Stability Reserve eli MSR) ja neljännen kauppakauden tiukemmat päästöjenvähennystavoitteet nostivat päästöoikeuden hinnan yli 20 €/tCO₂:iin 2018 aikana. Euroopan komissiolle ja päättäjille on MSR:n muodossa annettu mahdollisuus säädellä päästöoikeuden markkinan tarjontaa, siten että riittävä hintataso kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi saavutetaan. MSR:n tarkoituksena on pienentää ylitarjontaa vähentämällä liikkeelle laskettavien päästöoikeuksien määriä. Euroopan politikkojen tavoitetasot ovat tällä hetkellä n. 20-30 €/CO₂t välissä vuoteen 2030 mennessä, mikä muodostaa perusskenaariomme. Tarkastelujaksomme kattaa vuodet 2019-2033.

Perusskenaarion lisäksi tarkastelemme skenaariota, jossa hinta nousee jakson loppuun mennessä kohti tasoa 49 €/tCO₂ ja skenaariota, jossa hinta nousee kohti tasoa 93 €/tCO₂. Mukana on myös vertailuskenaario, jossa päästöoikeuden hinta on 0 €/tCO₂. Arvioimme vaikutuksia sähkön hintaan, mahdolliseen kompensaatioon ja Suomen huutokauppatuloihin eri skenaarioissa.

Raportissa käsitellään myös Euroopan sähkömarkkinajärjestelmää ja sen suurta murrosta johtuen tuuli- ja aurinkovoiman kustannusten nopeasta laskusta. Tuuli- ja aurinkovoimakapasiteettia rakennetaan tällä hetkellä paikoitellen jopa ilman julkista tukea. Oletamme tuuli- ja aurinkovoiman osuuden sähköntuotantopaletissa kasvavan merkittävästi 2030 mennessä ja laskevan päästöjä energiateollisuudessa yhdessä kohonneen päästöoikeuden hinnan kanssa.

2 LÄHTÖTIEDOT

Power-Derivan EMPS-hintamalli



Kuva 1 Power-Derivan EMPS-hintamallin alueet.

EMPS-malli (EFI's Multi Area Power-Market Simulator) on energiamalli, jota ylläpidetään Power-Derivalla jatkuvasti ja jota käytetään salkunhallinnan tukemiseen sekä erilaisiin projekteihin. EMPS-malliin voidaan asettaa kaikenlaisia voimalaitoksia, siirtoyhteyksiä, vesivirtaamia, tuuli- ja aurinkovoimaa. Mallissa on 40 skenaariota vesi-, tuuli- ja aurinkovoimalle. Vesivoimatuotanto on mahdollista mallintaa tarkasti käyttäen hyväksi allastasoja ja tuotantorajoja. Käytämme skenaarioissa tulevaisuuden näkymiin perustuvia skaalattuja historia-arvoja vuosien 1951-1990 väliltä. Parametrit sekä tulokset ovat viikkotason energiamäärinä tai hintoina.

Käytämme polttoaineissa sekä päästöoikeuden hinnoissa lähtökohtaisesti markkinahintoja, mutta pidemmissä tarkasteluissa olemme tehneet oletuksia polttoaineiden ja päästöoikeuden hintojen kehityksestä. Käytämme mallinnuksessa eri maiden osalta yli 200 polttoainevaihtoehtoa, joissa on huomioitu eri polttoaineiden hinnat, ominaisuudet, verotus ja tukimekanismit. Tällä hetkellä mallissa on yksityiskohtaisesti kuvattuna Pohjoismaat, Baltia, Puola, Saksa, Alankomaat sekä Iso-Britannia.

Polttoaineiden hinnat

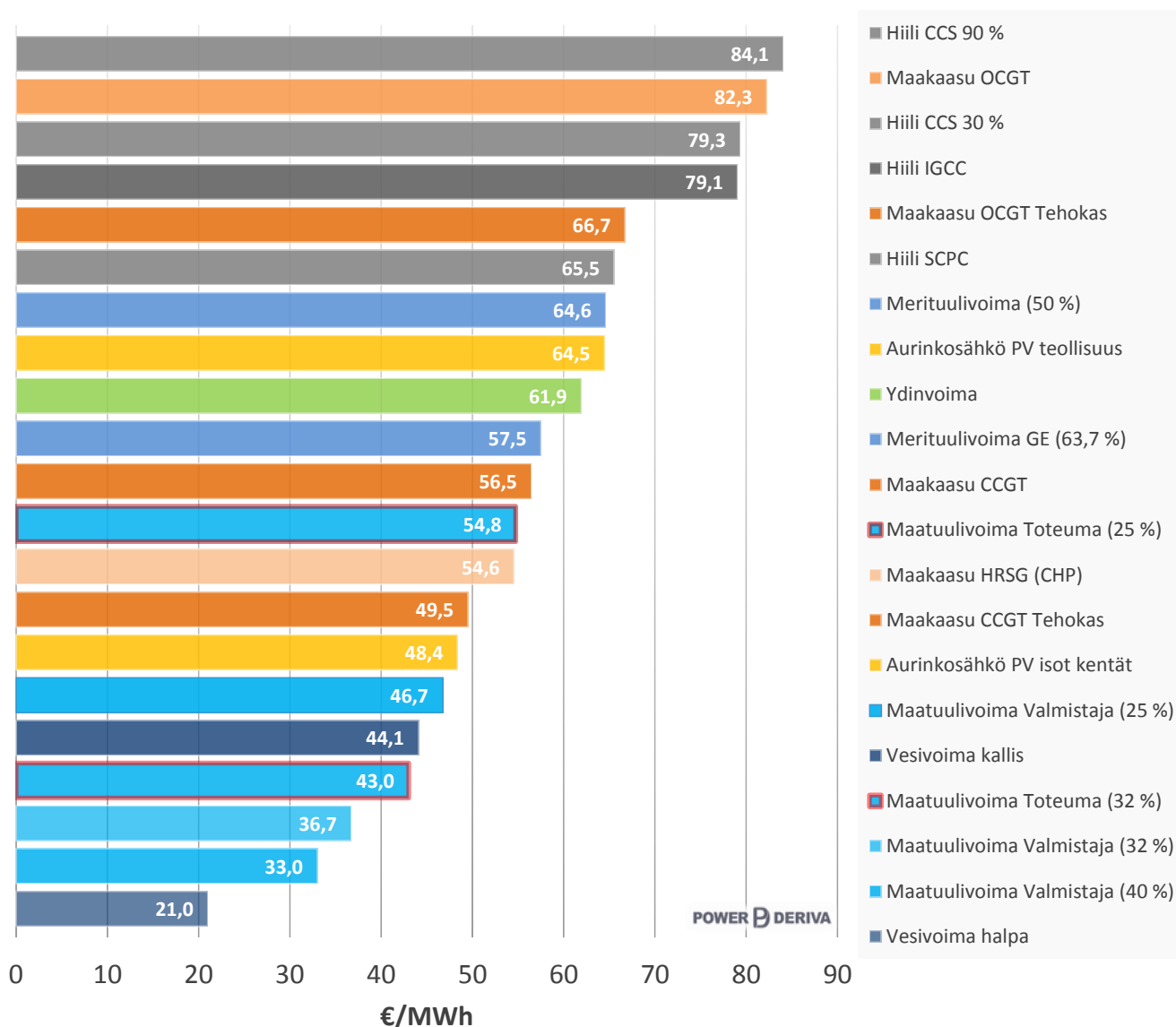
Taulukko 1. Polttoaineet mallinnuksessa sekä päästöoikeusskenaariot [nimellishinnat].

Nimellishinnat	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Kivihiili, PD [\$ /t]	79	79	80	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	89	90
TTF Kaasu, PD [€/MWh]	18	18	18	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	21
UK Kaasu PD [p/th]	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52
Öljy, PD [\$ /bbl]	72	72	75	79	79	80	80	81	82	83	84	85	85	86	87
EUA, PD [€/CO2t]	20	21	22	24	25	27	28	29	30	32	32	33	33	33	34

Päästöoikeusskenaariot	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
CPLC 29-49 [€/CO2t]	30	31	33	34	36	37	39	40	42	43	45	46	47	48	49
CPLC 58-93 [€/CO2t]	58	62	66	70	74	78	82	86	87	88	89	90	91	92	93

Taulukossa 1 on esitetty polttoaineiden hinnat base-mallinnuksessa. EUA, PD tarkoittaa Power-Derivan base-skenaariossa käytettyä päästöoikeuden hintaa, joka pohjautuu Euroopan politikkojen näkemukseen päästöoikeuden hintakehityksestä. Alemmassa taulukossa on kuvattu Maailmanpankin alaisen Carbon Pricing Leadership Coalitionin (CPLC) skenaarioiden ala- ja ylärajat. Tarkastelemme raportissa päästöoikeuden vaikutusta sähkönhintoihin kyseisillä skenaarioilla. Käytämme myös skenaariota, jossa päästöoikeus on mallinnettu hinnalla 0 €/tCO2 ja vertaamme sähkön hintaa tässä skenaariossa Taulukon 1 perusteella mallinnettuihin sähkön hintoihin.

Sähkön tuotannon omakustannukset



Kuva 2. Sähkön tuotannon arvioidut omakustannukset v. 2019. Lyhenteet: CCS = Carbon Capture and Storage; OCGT = Open Cycle Gas Turbine; PV = Photovoltaic; IGCC = Integrated Gasification Combined Cycle, CCGT = Combined Cycle Gas Turbine; HRSG = Heat Recovery Steam Generator

Tuuli- ja aurinkovoiman investointikustannukset ovat olleet laskussa viimeisen 10 vuoden aikana, kun niiden käyttö on yleistynyt. Aurinkovoiman kustannus on pudonnut vuosien 2010-2017 aikana jopa 70 % paikasta riippuen. Investointikustannukset tuulivoimalle ovat laskeneet myös vauhdilla. Maatuulivoiman omakustannus on laskenut 2010-2017 aikana noin 80 €/MWh:sta 35-55 €/MWh:iin. Toteutuneet omakustannukset tuulivoimalle Saksassa ja Pohjoismaissa ovat olleet n. 40 ja 55 €/MWh välissä riippuen tuuliolosuhteista. Tulevaisuudessa merituulivoiman yleistyminen ja tekniikan kehitys voi laskea investointikustannuksen lähemmäksi maatuulivoiman investointikustannuksia. Merituulivoiman omakustannukset ovat tällä hetkellä 55-100 €/MWh välillä riippuen kohteesta. Mikäli tuulivoimaloiden koot jatkavat kasvussa ja niiden käyttöaste on esim. General Electricin merituulivoimalalle markkinoimalla tasolla 63,7 %, niin silloin omakustannukset tuotetulle sähkölle voivat laskea alle 60 €/MWh tasolle.

Kuvassa 2 on esitetty erilaisten laitosten näennäisiä omakustannuksia. Merkillepantavinta on maatuulivoiman omakustannukset, jotka ovat käyttöasteesta ja laskentatavasta riippuen 35-45 €/MWh välissä. Norjan kantaverkkoyhtiö Statnett uskoo jopa 30 €/MWh maatuulivoiman omakustannukseen 2025 mennessä. Koko Norjan rannikko on erittäin hyvää aluetta tuuliolosuhteiden kannalta. Uskomme kuitenkin tuulivoimatuotannon profiili- ja tasesähkökustannusten nousevan sitä mukaa kuin tuulivoimaa rakennetaan enemmän Eurooppaan ja näin hidastavan investointikustannusten laskua. Huomioitavaa on kuitenkin, että tuulivoimaturbiinitoimittajat ovat siirtäneet osan kustannuksista huoltoliiketoiminnan puolelle laskien näin ollen turbiinin investointikustannusta.

Perusvoimaa tuottavat voimalaitokset ovat jäämässä investointikustannuksiltaan uusiutuvia energialähteitä kalliimmiksi. Ydinvoiman omakustannus on n. 60 €/MWh 40 vuoden käyttöiällä. CCGT-maakaasuvoimalaitos 11 kuukauden ajoajalla ja 64 % hyötysuhteella saattaa olla erittäin kilpailukykyinen investointi. Toistaiseksi on kuitenkin epävarmaa, onko tällainen ajoaika ja hyötysuhde käytännössä saavutettavissa. Tuulivoimakapasiteetin kasvu voi pakottaa ajamaan laitoksen alas usein, mikä lisää huollon tarvetta, ja maakaasuverkko voi asettaa rajoitteita voimalaitoksen sijainnin suhteen Pohjoismaissa. Ympäristövaatimusten mahdollinen kiristyminen voi nopeasti viedä investoinnilta kannattavuuden. Maakaasu- ja hiilivoimalaitosten investointikustannuksissa ei olla oletettu päästöoikeuden hinnan tai rikki- ja typpipäästöjen kustannusten nousua. EU:n teollisuuden päästöjä koskeva IED-direktiivi nostaa erityisesti vanhempien voimalaitosyksiköiden kustannuksia, kun rikki- ja typpipäästörajoja kiristetään. Rikki- ja typpikustannusten nousu 2020 jälkeen vaikuttaa erityisesti hiilivoimalaitosten kustannuksiin, sillä laitokset joutuvat investoimaan savukaasujen puhdistusyksiköihin. Laitokset, jotka eivät teknisesti kykene noudattamaan päästörajoja suljetaan 31.12.2023 mennessä.

Uskomme uusiutuvan sähköntuotannon olevan kilpailukykyisin sähköntuotantomuoto ja tästä johtuen tukkusähkön keskihinnan pitäisi noudattaa osaltaan erityisesti tuulivoiman investointikustannuksia keskipitkällä aikavälillä. Uskomme maatuulivoimaa rakennettavan jatkossa ilman tukia, mutta merituulivoimalle tukia todennäköisesti maksetaan. Erilaisten

huutokauppajärjestelmien yleistyessä tukien määrät kuitenkin laskevat todennäköisesti vuoteen 2030 mennessä.

Power To Gas -teknologia voi yleistyä uusiutuvan sähköntuotannon kasvun seurauksena. Teknologiassa tuulivoimatuotannon avulla tuotetaan esim. metaania kemianteollisuuteen tai maakaasuvoimalaitoksille. Erityisesti litiumionitekniikkaa hyödyntävät sähkövarastot ovat yleistyneet Keski-Euroopassa uusiutuvan sähköntuotannon mukana. Litiumionisähkövarastot ovat olleet muihin akkukemioihin verrattuna suositumpia kestävyytensä ja nopeutensa takia. Sähkövarastojen investointikustannukset ovat jatkaneet noin 5-15 % vuotuisessa laskussa. Syitä laskuun on käytön yleistyminen mm. sähköauto- ja energiasektorilla. Akkukemiojen varauskapasiteetti on kasvanut viimeisen 20 vuoden aikana keskimäärin 8 % vuotuista vauhtia, mutta viimeisten vuosien aikana varaustason kasvu hidastunut n. 5 %:iin per vuosi.

3 EU:N PÄÄSTÖKAUPPAJÄRJESTELMÄ

Tässä luvussa esitellään lyhyesti EU:n päästöoikeusmarkkinoiden historian olennaisimmat tapahtumat sekä historiallinen hintakehitys. Luvussa luodaan myös katsaus markkinan tulevaisuuteen ja odottamaamme perusskenaarioon.

EU:n päästökaupan historia

EU-maat sitoutuivat vuonna 1997 Kioton kokouspöytäkirjan mukaisiin kasvihuonekaasupäästötavoitteisiin. Kioton pöytäkirjassa määriteltiin tavoitejaksot 2008-2012 ja 2013-2020. EU sitoutui tuolloin vähentämään päästöjään vuoteen 2012 mennessä 8 % alle vuoden 1990 tason ja vuoteen 2020 mennessä 20 % alle vuoden 1990 tason.

EU:n päästökauppajärjestelmä otettiin käyttöön jo vuonna 2005, jotta eri talouden toimijat pystyisivät tutustumaan järjestelmään jo ennen Kioton pöytäkirjan ensimmäisen tavoitejakson alkua. Päästökauppajärjestelmä luotiin mekanismiksi tavoitteiden saavuttamiseksi markkinaehtoisesti. EU määritteli liikkeelle laskettavien päästöoikeuksien määrän, joka pienenisi vuosittain ennalta sovitulla prosenttiosuudella, ja päästöoikeuden hinnan per ekvivalenttihiilidioksiditonni annettaisiin muodostua markkinoilla kysynnän ja tarjonnan mukaan. Tavoitteena oli, että antamalla kasvihuonekaasupäästöjen tuottamisen hinnan muodostua vapaasti markkinoilla syntyisi kannustin, jolla päästöjä leikattaisiin niiltä sektoreilta, missä se voidaan tehdä kaikkein pienimmin kustannuksin.

EU:n päästökauppajärjestelmä on tähän mennessä jakautunut kolmeen päästökauppakauteen. Ensimmäinen kausi kattoi vuodet 2005-2007. Ensimmäinen kausi oli kokeilujakso, jolla pyrittiin luomaan mekanismit päästökaupan tekniseksi toteuttamiseksi ja analysoimaan markkinan toimintaa. Päästöoikeuksien jako tapahtui ilmaisjakona kansallisesti suoraan valtioilta yrityksille historiallisiin päästöihin nähden. Hintataso heilahteli aluksi voimakkaasti 15...30 €/tCO₂ välillä, mutta kääntyi vuoden 2006 aikana ripeään laskuun. Päästöoikeuksia oli jaettu enemmän kuin markkinoilla oli niille kysyntää. Koska ensimmäisen päästökauppakauden päästöoikeuksia ei voinut siirtää käytettäväksi myöhemmillä päästökauppakausilla, tällaisessa tilanteessa päästöoikeuden arvo lähestyi nollaa vuoden 2007 loppua kohden.

Toisella päästökauppakaudella 2008-2012 ilmaisjaon osuutta vähennettiin ja valtiot ryhtyivät myymään osan päästöoikeuksista huutokaupalla. Lisäksi liikkeelle laskettavien päästöoikeuksien kokonaismäärää alennettiin verrattuna ensimmäiseen päästökauppakauteen. Toisen päästökauppakauden päästöoikeudet oli mahdollista siirtää käytettäväksi kolmannella päästökauppakaudella 2013-2020. Päästöoikeuden hinta lähti jälleen nousuun ja oli vuoden 2008 aikana korkeimmillaan lähellä 30 €/tCO₂ tasoa. Vuosina

2008-2009 kansainvälinen talouskriisi kuitenkin iski Euroopankin teollisuustuotantoon, ja päästöoikeuksien kysynnän pienenemisen myötä hintataso laski 15 €/tCO₂ tuntumaan, missä se pysytteli vuoteen 2011 saakka.

Vuoden 2011 alussa hintataso lähti pieneen nousuun kun Saksa, jossa ydinvoima oli ollut jo kauan poliittisesti epäsuosittua, ilmoitti ajavansa ydinvoimatuotantonsa alas vuoteen 2022 mennessä. Myöhemmin vuonna 2011 Euroopan talouden näkymät kuitenkin heikkenivät Kreikan velkakriisin kärjistyttyä ja päästöoikeuden hinta lähti laskuun. Samoihin aikoihin eri puolille Eurooppaa alettiin rakentaa valtioiden tuella uusiutuvaa energiantuotantoa, erityisesti tuuli- ja aurinkovoimaa. Uusiutuvan energiantuotannon kasvun myötä päästöoikeuksia kuluttavien fossiilisten polttoaineiden käyttö sähköntuotannossa lähti nopeaan laskuun, mikä synnytti päästöoikeusmarkkinoille pitkäkestoisen tilanteen, jossa liikkelle laskettavien päästöoikeuksien määrä ylitti niiden kysynnän. Tämä painoi hintatasoa voimakkaasti alaspäin ja kolmannen päästökauppakauden alkaessa vuonna 2013 hinta oli jo lähellä 3 €/tCO₂ tasoa.

Kolmannella päästökauppakaudella hintataso kääntyi pieneen nousuun, kun markkinat reagoivat poliitikkojen lupauksiin päästöoikeusmarkkinan hintaohjausvaikutuksen vahvistamisesta. Ensimmäisiä konkreettisia toimia oli vuoden 2014 alussa tehty backloading-päätös. Päätöksellä pienennettiin päästöoikeushuutokaupparamääriä yhteensä 900 milj. tCO₂ vuosilta 2014-2016 ja siirrettiin nämä päästöoikeudet huutokaupattaviksi vuosina 2019-2020. Alkuvuonna 2016 päästöoikeuden hinta laski kuitenkin noin viiden euron tasolle melko nopeasti johtuen erityisesti Euroopan heikentyneistä kasvunäkymistä. Alhainen hintataso ja toisaalta kansallisella tasolla eri puolilla EU:ta kasvanut poliittinen paine uusiutuvan energiantuotannon lisäämiseen sai useat maat suunnittelemaan kansallisia hintalattioita päästöjen tuottamiselle.

Vuoden 2015 lopussa Ranska isännöi YK:n ilmastokokousta, jonka tuloksena syntyi Pariisin ilmastopöytäkirja. Pariisin ilmastopöytäkirjaan sitoutuneet osapuolet, mukaan lukien EU, sitoutuvat toimiin maapallon keskilämpötilan nousun rajoittamiseen alle 2 °C:een verrattuna esiteolliseen aikaan. EU-poliitikot ottivat vahvan kannan, että kansallisten toimien sijaan päästöoikeusmarkkinan tulee olla EU:n päästövähennystavoitteiden kannalta ensisijainen mekanismi. EU:n energiapakettin sisällöksi vahvistettiin vuonna 2018, että vuonna 2030 EU:ssa hiilidioksidipäästöjä tulee leikata 40 % vuoden 1990 tasosta, 32 % kulutetusta energiasta tulee olla peräisin uusiutuvista energialähteistä, ja energiatehokkuuden tulee olla 32,5 % korkeampi kuin vuonna 2005 määritellyn referenssikehityspolun mukaan.

Vuosien 2016-2017 aikana EU-parlamentti, Euroopan neuvosto ja EU-komissio pääsivät sopuun useista neljättä päästökauppakautta (2021-2030) koskevista uudistuksista. Keskeisin neljännen päästökauppakauden uudistuksista on markkinavakausturvan (Market Stability Reserve, MSR) käyttöönotto. MSR tulee käyttöön vuonna 2019 eli jo kaksi vuotta ennen neljännen päästökauppakauden alkua ja sen tarkoituksena on vähentää huutokaupattavien päästöoikeuksien määrää sellaisina aikoina, jolloin markkinoilla on ylijäämää. Vuosina 2019-2024 24 % osuutta ylijäämästä vastaava määrä päästöoikeuksia vähennetään huutokaupalla

jaettavista päästöoikeuksista ja siirretään varantoon. Vuoden 2018 toukokuussa EU arvioi ylijäämäksi 1,69 miljardia tonnia. Myös vuonna 2014 backloading-päätöksellä myöhemmin huutokaupattaviksi siirretyt päästöoikeudet tullaan siirtämään MSR:iin. MSR tulee asettamaan päästöoikeuksien ylijäämälle rajan siten, että vuodesta 2024 alkaen varannossa on kerrallaan korkeintaan edellisen vuoden huutokauppamäärän verran päästöoikeuksia. Tämän ylittävältä osalta varannossa olevat päästöoikeudet tullaan mitätöimään. EU-komissio tarkastelee MSR:n toimintaa kolmen vuoden välein ja tarvittaessa tekee järjestelmään muutoksia päästöoikeuden hintatason ohjaamiseksi.

Toinen keskeinen uudistus on päästöoikeuksien huutokauppamäärien lineaarisen vähennyskerroimen korottaminen. Vähennyskerroin määritellään suhteessa vuoden 2005 toteutuneiden päästöjen tasoon. Kun vielä kolmannella päästökauppakaudella vähennyskerroin on 1,74 %, niin neljännellä kaudella se on 2,2 %.

Vuonna 2018 päästöoikeuden hinta lähtikin jo vuoden alussa vahvaan nousuun 7 €/tCO₂ tienoilta ja kävi hetkellisesti yli 25 €/tCO₂:ssa. Uudistusten ohella nousua vauhditti Euroopan piristynyt talouskasvu, joka on lisännyt talouden aktiviteettia. EU-komissio on lausunut päästöoikeuden tavoitteeksi hintaväliksi 20...25 €/tCO₂, mihin hinta onkin asettunut.



Kuva 3. Päästöoikeuden hintakehitys 2005-2019.

Päästökauppajärjestelmän tulevaisuus

Loppuvuonna 2018 julkaistu kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n raportti maalasi hälyttävää kuvaa ilmaston lämpenemisestä ja odotettavissa olevista kehityspoluista, mikäli kasvihuonekaasupäästöjä ei ryhdytä rajoittamaan selvästi nykyistä ripeämmin. EU-parlamentti on jo keväällä 2019 esittänyt kannan, että EU:n tulisi kiristää päästövähennystavoitteensa 55 %:iin vuoteen 2030 mennessä ja täyteen hiilineutraaliuteen vuoteen 2050 mennessä. Suomi ja joukko muita maita ajavat tavoitteen kiristämistä Eurooppa-neuvostossa, mutta useat maat ovat suhtautuneet tähän penseästi.

Päästöoikeusmarkkinan ongelmana ovat edelleen syöttötariffeihin ja hintapreemioihin perustuvat uusiutuvan energiantuotannon kasvattamiseen tähtäävät ohjausmekanismit, jotka syrjäyttävät fossiilista energiantuotantoa markkinoilta riippumatta päästöoikeuden hinnasta. Tämä vähentää päästöoikeuksien kysyntää ja aiheuttaa päästöoikeuksien ylitarjontaa. Poliitikot ovat uudistuspäätöksillään tähänneet päästöoikeuden hinnan nostamiseen tasolle, jolla sillä olisi vaikutusta hiilidioksidipäästöihin. Niin kauan kun päästöoikeuden hinta on suurelta osin riippuvainen poliittisista linjauksista markkinahinnassa voi esiintyä suurta volatiliteettia. Ilmastopoliitiikan suurten linjojen muuttuminen ei tällä hetkellä ole todennäköistä, mutta on kuitenkin mahdollista.

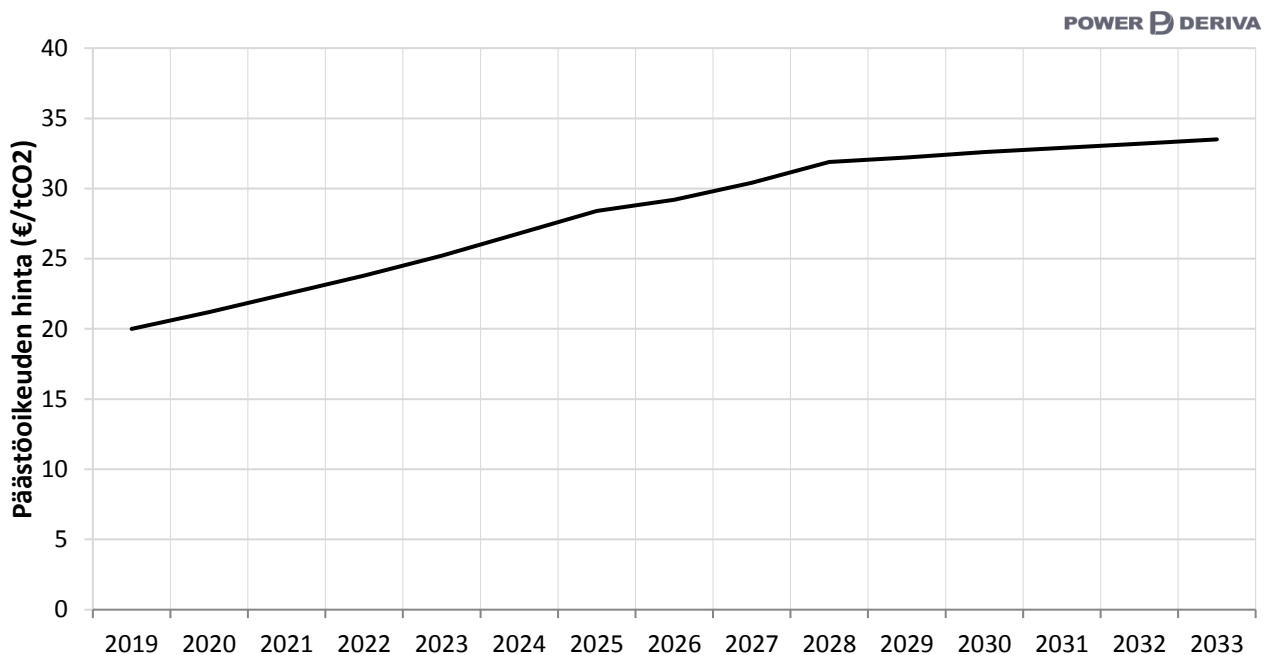
Iso-Britannian mahdollinen irtautuminen päästökauppajärjestelmästä EU-eron yhteydessä voisi aiheuttaa päästöoikeusmarkkinalle tarjontapiikin, kun brittiläiset yritykset todennäköisesti myisivät hankkimansa päästöoikeudet markkinoille. EU on kuitenkin ilmoittanut, että tässä tapauksessa Iso-Britannian liikkeelle laskemat päästöoikeudet mitätöitäisiin, jolloin vaikutus markkinaan kumoutuisi.

Yksi tapa, jolla päästöoikeuden hinnan nousun toivotaan konkreettisesti auttavan hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, olisi se, että kivi- ja ruskohiili korvautuisi energiantuotannossa maakaasulla, joka tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä energiayksikköä kohti. Tämä on myös ollut taustalla oleva johtoajatus, kun EU-poliitikot ovat esittäneet kantoja, joiden mukaan päästöoikeuden hintatason tulisi olla vuoteen 2025 mennessä 20...25 €/tCO₂ välillä ja vuoteen 2030 mennessä 30...35 €/tCO₂ välillä.

Tässä on tosin se ongelma, että siinä missä päästöoikeusmarkkinoihin EU-poliitikot voivat vaikuttaa, kivihiilen ja maakaasun markkinat ovat kansainväliset ja hinnanmuodostus riippuu kansainvälisestä kysyntä-tarjontatilanteesta. Päästöoikeuden hinnan noustessa myös maakaasun kysyntä ja hinta nousee suhteessa kivihiilen kysyntään ja hintaan, jolloin polttoaineiden hintojen muutokset osittain kumoavat päästöoikeuden hinnan muutoksen vaikutuksen sähkön tuotantokustannuksiin. Talven 2018-2019 aikana maakaasun hintataso on laskenut kivihiilen hintaa enemmän, mikä on lisännyt maakaasun kilpailukykyä energiantuotannossa kivihiileen nähden. Koska maakaasu kuitenkin tuottaa energiayksikköä kohden kivihiiltä vähemmän hiilidioksidipäästöjä, on maakaasun hinnan alenemisella päästöoikeuksien kysyntää pienentävä vaikutus.

Keski-Euroopassa alhaisimman hyötysuhteen kivihiilivoimalaitosten käyttökustannukset ovat nousseet korkeammaksi kuin korkeimman hyötysuhteen maakaasuvoimalaitoksilla. Kuitenkin hyötysuhteeltaan korkeimmat kivihiilivoimalaitokset ovat edelleen kilpailukykyisiä maakaasuvoimalaitoksiin nähden. Samoin vielä kivihiilivoimalaitoksiakin enemmän hiilidioksidipäästöjä megawattituntia kohti tuottavat ruskohiilivoimalaitokset ovat edelleen kilpailukykyisiä. Korkeampiin päästöoikeuden hintoihin liittyy myös riski hiilivuodosta, eli siitä, että Euroopasta siirtyy teollista tuotantoa maihin, joissa päästökauppa ei nosta tuotantokustannuksia.

Monissa maissa on suunniteltu kansallisten hiilidioksidipäästöhintalattioiden käyttöä siltä varalta että EU:n päästöoikeusmarkkinalla ei saavutettaisi tyydyttävää ohjausvaikutusta. Iso-Britanniassa otettiin käyttöön hintalattia vuonna 2013 ja esimerkiksi Alankomaat, Ranska ja Saksa ovat hahmotelleet hintalattian käyttöönottoa 2020-luvun alussa. Myös päästökauppaan liittymistä suunnitteleva Sveitsi harkitsee päästöhintalattiaa fossiiliselle sähköntuotannolle. Varsinkaan Keski-Euroopassa yksittäisen maan käyttöönottava hintalattia ei kuitenkaan ole kovinkaan tehokas, sillä valtaosa päästöistä ainoastaan siirtyy ympäröiviin maihin eikä päästöjen kokonaismäärä merkittävästi vähene. Myös yhteisestä Keski-Euroopan maita koskevasta päästöoikeuden hintalattiasta on keskusteltu, samoin kuin Pohjoismaiden yhteisestä minimihintatasosta. Puheet hintalattioista ovat vaimentuneet vuoden 2018 aikana päästöoikeuden hinnan voimakkaan nousun seurauksena. Euroopan komission ja parlamentin komiteoiden jäsenten mukaan päästöoikeuden hintatason tulisi olla vuoteen 2025 mennessä 20...25 €/tCO₂ välillä ja vuoteen 2030 mennessä 30...35 €/tCO₂ välillä. Kuvassa 4 on kuvattu päästöoikeuden odotettu hintakehitys vuosille 2019-2033 perusskenaariossa.



Kuva 4. Päästöoikeuden oletettu hinta perusskenaariossa seuraavan 15 vuoden ajalle (hinnat reaalihintoja, 2019).

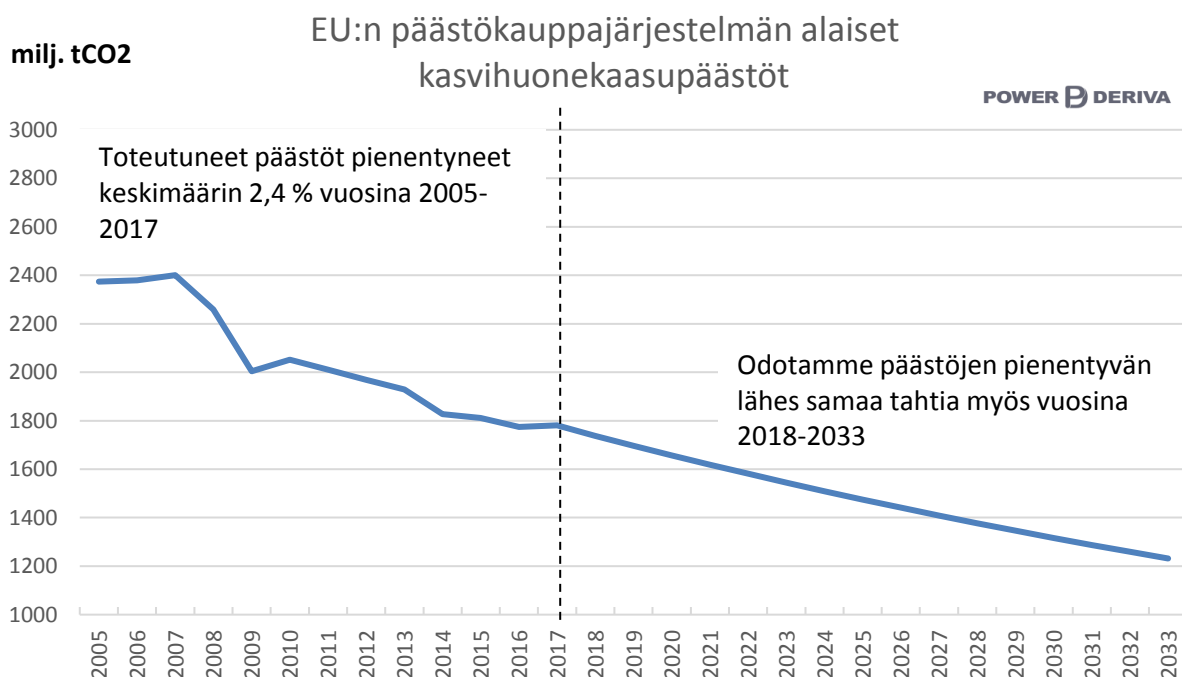
Uskomme poliittisten päätösten nostavan hiilidioksidipäästöjen tuottamisen hintaa jatkossakin. Mikäli päästöoikeusmarkkina ei tuota tätä vaikutusta, uskomme eri maiden

olevan valmiina säätämään kansallisia hintalattioita hiilidioksidille, jolloin sähköntuotanto tulee edelleen altistumaan hiilidioksidipäästöjen tuottamisen kustannusten nousulle. Toistaiseksi päästöoikeusmarkkinaa pidetään yhä tärkeimpänä keinona hiilidioksidipäästöjen hinnoitteluksi.

Suomen päästöoikeushuutokauppatulojen kehitys

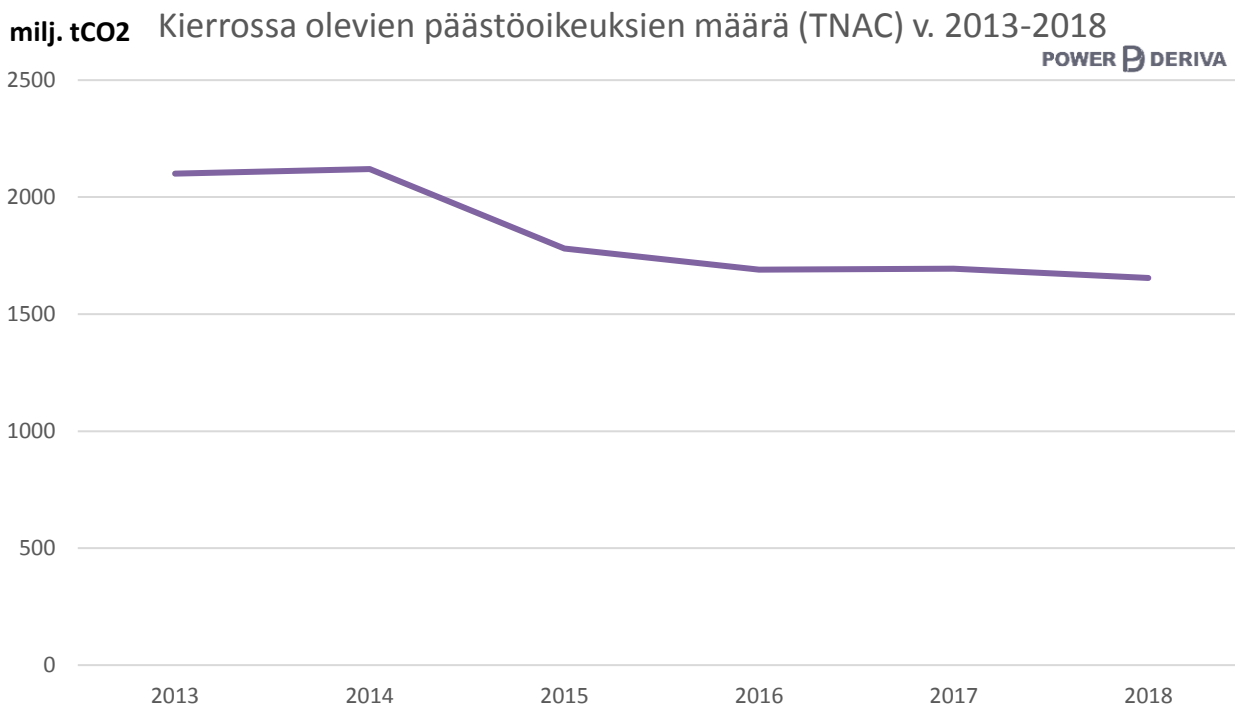
Tässä osioissa on arvioitu Suomen valtion päästöoikeuksien huutokaupasta saamien tulojen kehittymistä tulevaisuudessa. Ensimmäiseksi on arviotu tulevaisuuden päästöoikeuksien kysynnän ja tarjonnan kehitystä.

Tarkastellaan aluksi EU:n päästökauppajärjestelmän piirissä olevien kasvihuonekaasupäästöjen toteutunutta kehitystä. Vuosina 2005-2017 päästöoikeusjärjestelmän alaiset kasvihuonekaasupäästöt laskivat 2,4 mrd. tCO₂:sta 1,78 mrd. tCO₂:iin. Tästä saadaan tämän ajanjakson vuosittaiseksi päästöjen pienentymiseksi noin 2,4 %. Uusiutuvan energiantuotannon kasvun EU-alueella jatkuessa voimakkaana pidämme perusteltuna olettaa päästöjen pienentyvän vuosittain 2,2 % vuoteen 2033 saakka. Kiinteiden polttolaitosten päästöt pienenevät mutta lentoliikenteen kasvavat. EU ei ollut tätä kirjoitettaessa vielä vahvistanut vuoden 2018 toteutuneita päästöjä, joten tässä myös ne päästöt on ennustettu.



Kuva 5. Päästökauppajärjestelmän kattavat toteutuneet ja ennustetut kasvihuonekaasupäästöt 2005-2033.

Päästöoikeusmarkkinoilla on vallinnut toisen ja kolmannen kauppakauden aikana tilanne, jossa päästöoikeuksia on laskettu liikkeelle paljon enemmän kuin niille on ollut kysyntää. EU-komissio on määritellyt päästöoikeusmarkkinan ylijäämätilannetta kuvaavan suureen TNAC, joka on lyhenne sanoista Total Number of Allowances in Circulation. TNAC kuvaa sitä kumulatiivista määrää päästöoikeuksia, joka markkinoilla on liikkeellä siitä johtuen, että menneisyyden liikkeelle lasketut määrät ovat olleet suurempia kuin päästöoikeuksien kysyntä. Vuoden 2018 keväällä EU-komissio tiedotti TNAC:n saavuttaneen noin 1,69 mrd. tCO₂ tason. Määrä on lähes saman verran kuin päästökauppajärjestelmän alaiset toteutuneet päästöt vuonna 2017, 1,75 mrd. tCO₂.

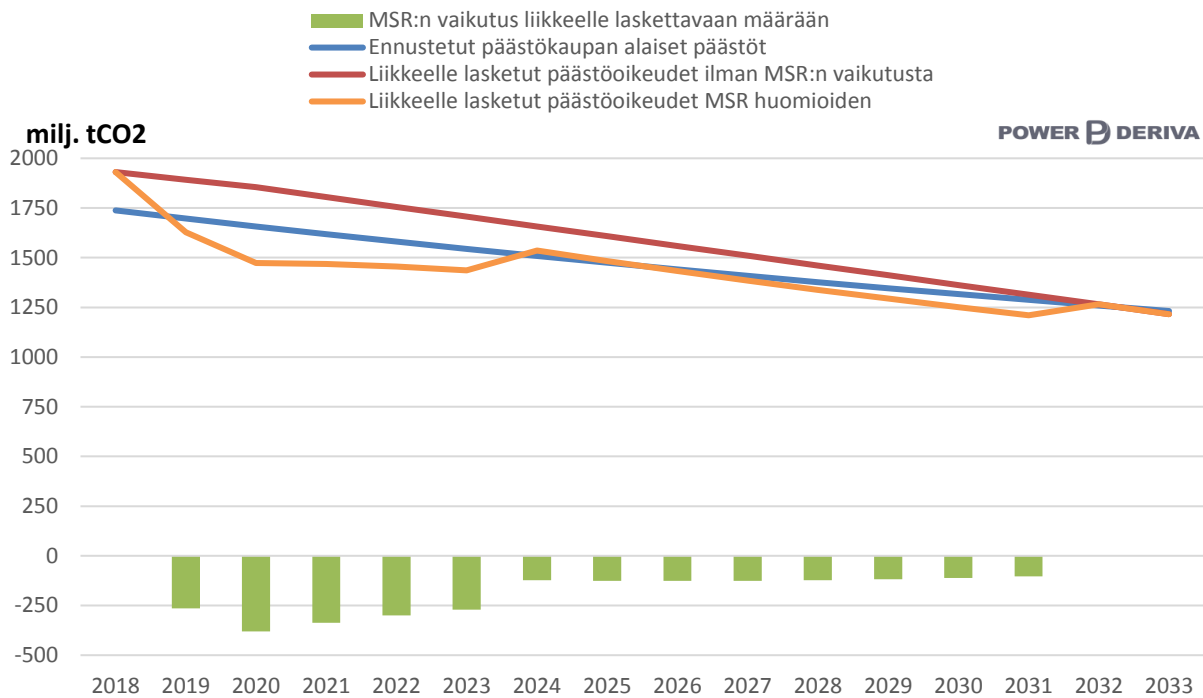


Kuva 6. Päästöoikeuksien ylijäämän kehitys vuosina 2013-2018.

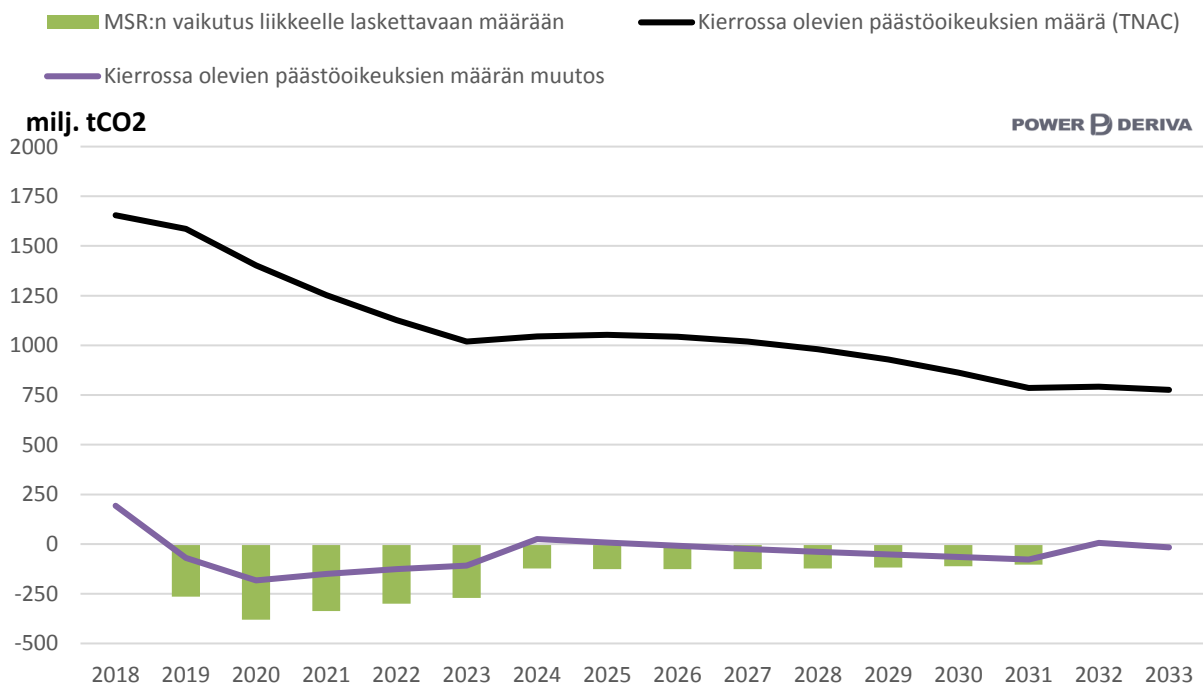
Koska päästöoikeuksia on kertynyt markkinoille enemmän kuin niille on kysyntää, on päästöoikeuden hinta madellut alamaissa vuodet 2012-2017. EU-poliitikkojen luoma markkinavakaussavara eli Market Stability Reserve eli MSR tähtää tämän ylijäämän kutistamiseen. MSR tulee pienentämään päästöoikeuksien huutokauppamääriä vuodesta 2019 alkaen, mikäli TNAC on suurempi kuin 833 Mt. Jos TNAC on pienempi kuin 400 Mt, tullaan MSR:ään siirrettyjä päästöoikeuksia lisäämään huutokauppamääriin.

Vuosittain liikkeelle laskettavien päästöoikeuksien määriä pienennetään määritetystä perustasosta, joka on määritetty siten, että tavoite kasvihuonekaasupäästöjen pienentämisestä 40 %:lla vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä saavutetaan. Perustason mukainen määrä päästöoikeuksia jaetaan liikkeelle siten, että 57 % jaetaan huutokaupoilla ja 43 % suoraan ilmaisjakona. Perustasosta tehtävä vähennys on vuosina 2019-2023 24 % TNAC:stä, ja vuosina 2024-2030 12 % TNAC:stä. Tässä tarkastelussa on oletettu päästökaupan jatkuvan vuosina 2031-2033 samoilla ehdoilla kuin 2030. Vähennys kohdistuu kokonaisuudessaan päästöoikeuksien huutokauppamääriin, ilmaisjaon piirissä

oleviin päästöoikeusmääriin MSR ei vaikuta. MSR:n konkreettista vaikutusta päästöoikeusmarkkinaan havainnollistavat kuvat 7 ja 8.



Kuva 7. Ennustettu toteutuneiden päästöjen ja päästöoikeuksien liikkeelle laskun kehitys.

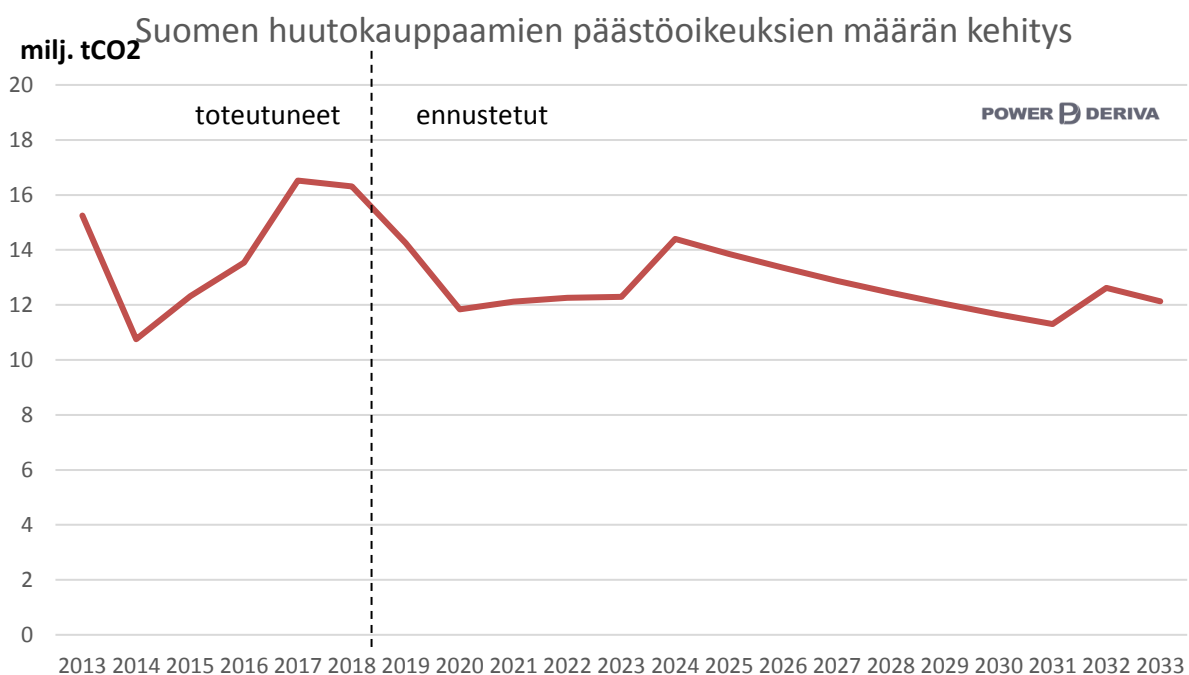


Kuva 8. MSR:n vaikutus kierrossa olevien päästöoikeuksien määrään.

Vuosina 2019-2023 MSR poistaa päästöoikeuksien tarjontaa joka vuosi yli 250 milj. tCO2. Tämän seurauksena päästöoikeuksia tulee markkinoille näinä vuosina vähemmän kuin niitä näinä vuosina kulutetaan. Tästä syystä kierrossa olevien päästöoikeuksien kokonaismäärä pienenee muutamassa vuodessa yli 600 milj. tCO2:lla. MSR:n vaikutus jatkuu lievempänä vuoden 2024 jälkeen, ja TNAC jatkaa hidasta pienenemistä. TNAC näyttää kuitenkin säilyvän

koko neljännen kauppakauden ajan 400 Mt yläpuolella, joten MSR:stä ei pureta päästöoikeuksia markkinoille.

Tarkastellaan seuraavaksi, kuinka päästöoikeuksien huutokauppamäärät koko EU:ssa ja Suomessa kehittyvät. EU-komissio arvioi alun perin, että neljännellä päästökauppakaudella 57 % liikkeelle laskettavista päästöoikeuksista tullaan jakamaan huutokaupalla. MSR:n päästöoikeuksien tarjontaa pienentävä vaikutus kohdistuu kuitenkin kokonaisuudessaan huutokaupalla jaettaviin päästöoikeuksiin, joten todellisuudessa huutokaupattava osuus jää 57 %:ia pienemmäksi. Suomen osuus kaikista EU:ssa huutokaupatuista päästöoikeuksista on ollut historiallisesti noin 1,7 %, ja oletamme osuuden pysyvän tällä tasolla. Kuvassa 9 on esitetty kuinka odotamme Suomen huutokauppaamien päästöoikeuksien määrän kehittyvän vuoteen 2033 saakka.



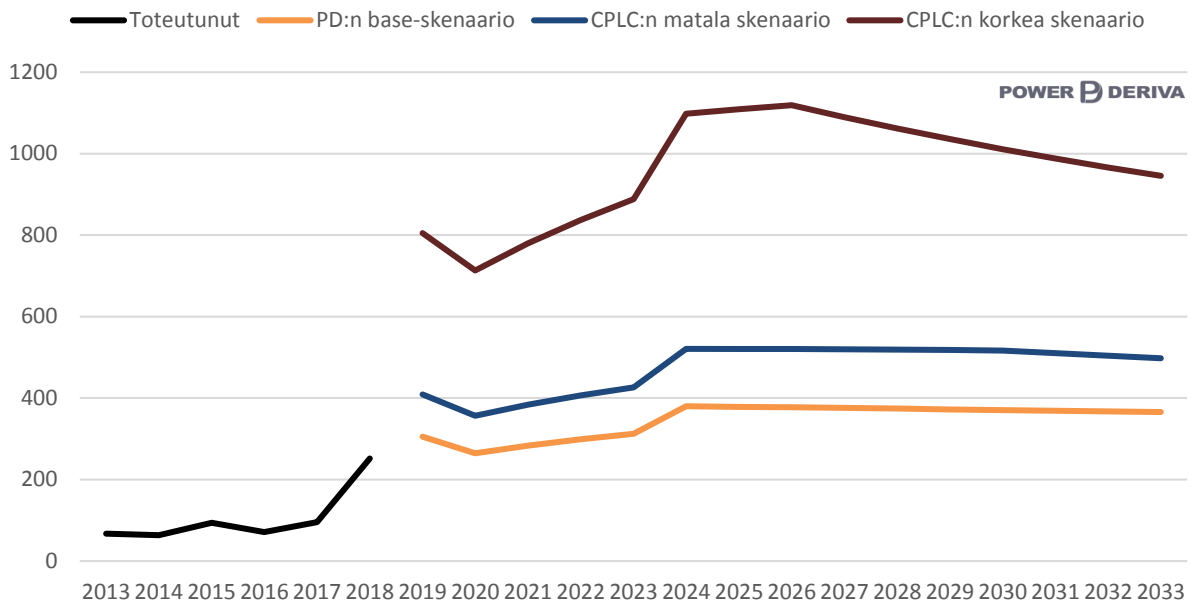
Kuva 9. Suomen huutokauppaamien päästöoikeuksien määrän kehitys.

Suomen huutokauppaamien päästöoikeuksien määrä laski vuosina 2014-2016 backloading-päätöksen vuoksi. Vuoden 2018 noin 16 milj. tCO₂:sta määrä pienenee noin 12 Mt:iin MSR:n päästöoikeushuutokauppamääriä pienentävästä vaikutuksesta johtuen. Vuonna 2024 MSR:n vaikutus lievenee, mikä kasvattaa hetkellisesti Suomen huutokauppamääriä, mutta ne jatkavat sen jälkeen laskuaan.

Käytämme kolmea skenaariota päästöoikeuden tulevaisuuden hintakehityksestä mallintaessamme päästöoikeuden hinnan vaikutusta sähkön hintaan. Tarkastellaan seuraavaksi Suomen päästöoikeushuutokauppitulojen kehitystä samoilla skenaarioilla.

milj. €

Suomen päästöhuutokauppatulot 2013-2033

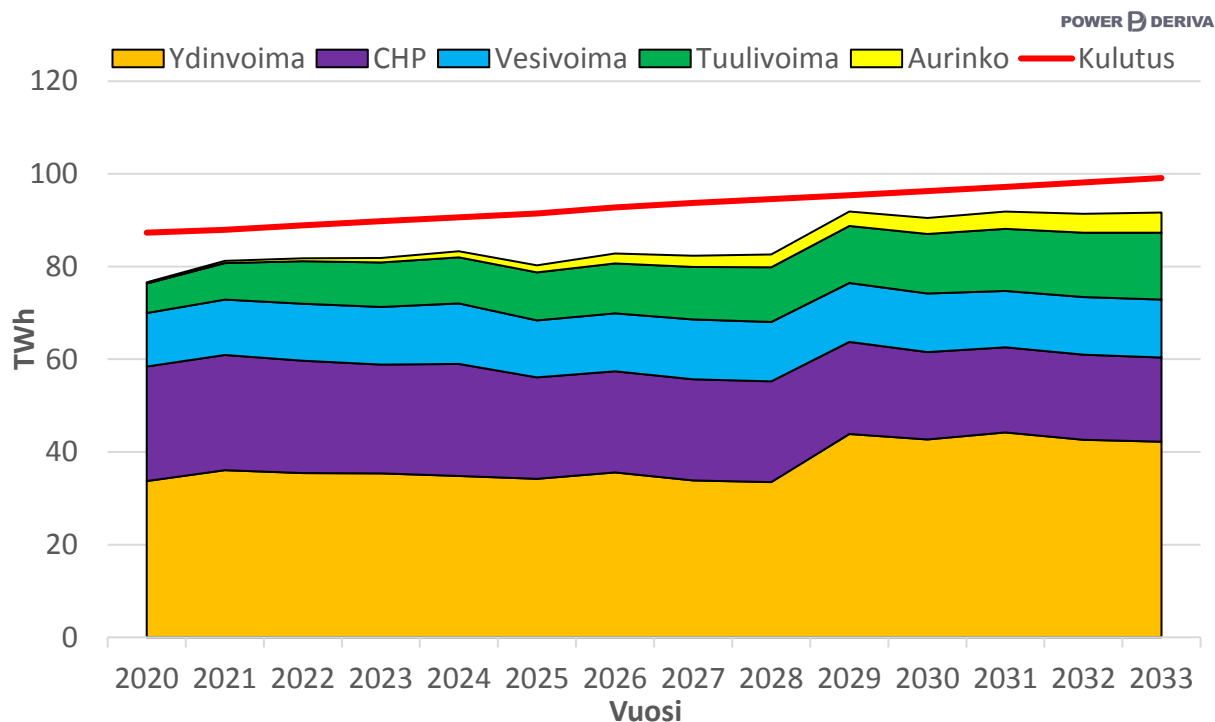


Kuva 10. Suomen päästöoikeushuutokauppatulojen kehitys.

Suomen päästöoikeushuutokauppatulot nousevat vuodesta 2020 alkaen päästöoikeuden hinnan nousun mukana kaikissa skenaarioissa. Perusskenaariossa yhden vuoden huutokauppatulot ovat alhaisimmillaan noin 265 milj. € ja nousevat 380 milj. € tuntumaan. CPLC:n skenaarioiden tavoitevaihteluväleissä huutokauppatulot ovat alimmillaan noin 350 milj. € ja korkeimmillaan 1,1 mrd. € vuodessa.

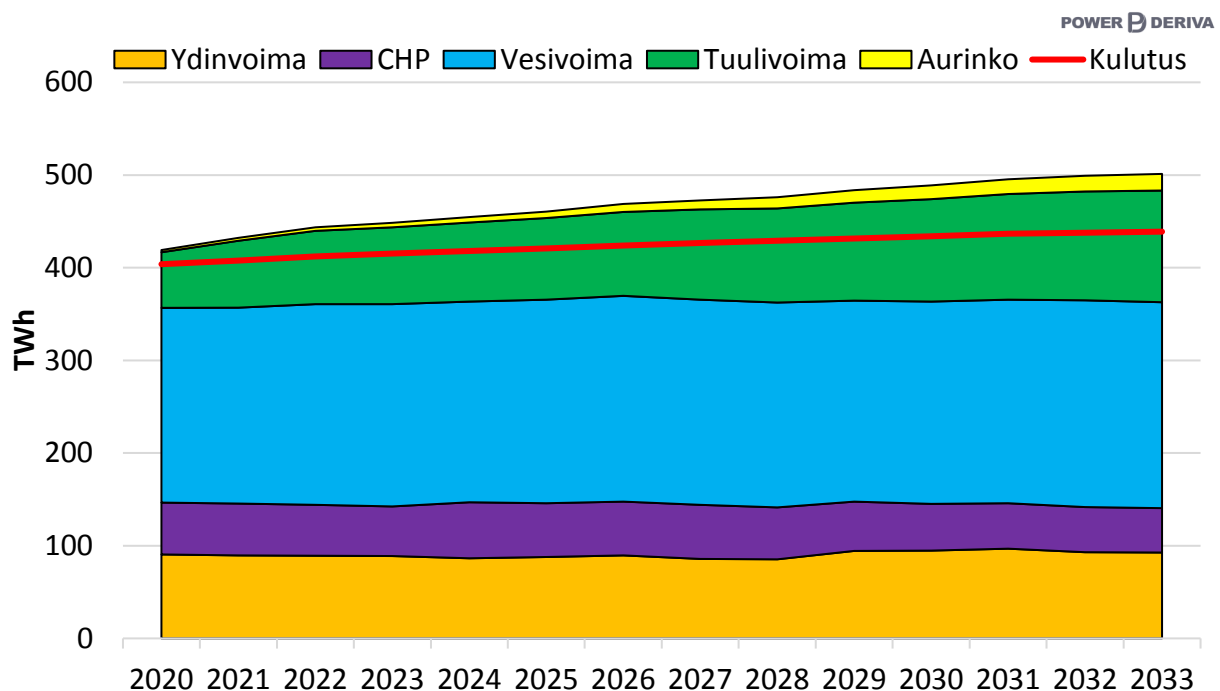
4 ENERGIABALANSSIT

Pohjoismaat



Kuva 11. Suomen energiabalanssi tuotantomuodoittain

Kuvassa 11 on esitetty Suomen energiabalanssi eli sähkön tuotantotavat ja kulutus. Suomi säilyy nettotuojana tarkastelujakson ajan. Oletamme kulutuksen jatkavan loivassa nousussa vuositasolla. Tuuli- ja aurinkovoimatuotannon odotetaan kasvavan merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. Myös ydinvoimatuotanto kasvaa mallinnuksessamme Hanhikivi 1 aloittaessa toiminnan. Odotamme laitoksen valmistuvan ja aloittavan toiminnan vuonna 2029 eli hieman myöhemmin ilmoitetusta.



Kuva 12. Pohjoismaiden energiabalanssi tuotantomuodoittain.

Kuvassa 12 on esitetty Pohjoismaiden energiabalanssi tuotantomuodoittain. Tuuli- ja aurinkovoimatuotannon kasvu nostavat Pohjoismaiden energiabalanssin reilusti ylijäämäiseksi. Oletuksemme on, että tuuli- ja aurinkovoiman investointikustannukset jatkavat loivassa laskussa, mikä lisää investointeja. Lisäksi olemassa olevien tuulivoimalaitosten käyttöiän lähestyessä loppuaan ne todennäköisesti korvataan jo muuten valmiiksi olemassa olevassa infrakstruktuurissa aiempaa huomattavasti moderneimmilla tuulivoimaturbiineilla, jotka kykenevät myös tuottamaan sähköä aiempaa huomattavasti enemmän. Osa lämpövoimalaitoksista voi tässä tapauksessa mennä kiinni, mutta emme ole toistaiseksi olettaneet niitä suljettavan nopeasti. Tanskan ja Ruotsin voimalaitoksia on muutettu polttamaan biopolttoaineita ja lisäksi uusia biopolttoaineella toimivia laitoksia on rakennettu mm. Suomeen ja Ruotsiin, minkä vuoksi laitoksia ei todennäköisesti olla heti sulkemassa.

Keski-Eurooppa

Euroopan ilmastopoliittisissa keskusteluissa on vuosien saatossa usein noussut esiin ristiriita: kuinka Euroopan suurin kansantalous eli Saksa voi ajaa hiilidioksidipäästöttömän ydinvoimatuotantonsa alas ja täten nojata entistä enemmän fossiilisiin polttoaineisiin EU:n ollessa samalla sitoutunut vähentämään hiilidioksidipäästöjään, jotta maapallon lämpeneminen saataisiin rajoitettua 2 °C:een verrattuna esiteolliseen aikaan?

Ydinvoimatuotanto on ollut Saksassa poliittisesti epäsuosittua jo vuosikymmenien ajan. Japanissa tapahtuneen maanjäristyksen ja sitä seuranneen hyökyaallon aiheuttaman Fukushima ydinonnettomuuden jälkeen vuonna 2011 maan politiikat päättivät ajaa Saksan ydinvoimatuotannon alas. Tuohon aikaan hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen oli jo agendalla EU:n vuoteen 2020 ulottuvien 20-20-20-tavoitteiden muodossa, mutta yleisesti nähtiin, että päästörajoituksia ei tarvitsisi kiristää. Päätökset ilmastopoliittisten tavoitteiden kiristämisestä saivat todella lisäpontta vasta vuonna 2016 tienoilla, kun EU linjasi Pariisin ilmastokokouksen jälkimainingeissa tavoitteensa vuodelle 2030 ja myöhemmin kesällä 2018 kun näitä tavoitteita kiristettiin.

Samanaikaisesti ydinvoimatuotannon alasajon kanssa Saksa alkoi tukea voimakkaasti uusiutuvaa energiantuotantoa. Tämä on käytännössä johtanut siihen, että tuuli- ja aurinkovoimatuotanto ovat korvanneet suurimman osan ydinvoiman tuottamasta sähköenergiamäärästä, ja kivihiiltä ja maakaasua polttavat lämpövoimalaitokset ovat siirtyneet perusvoiman tuottajista voimakkaammin kulutuksen ja uusiutuvan energiantuotannon määrien mukaan säätyviksi resursseiksi.

Ruskohiiltä, jonka ominaishiilidioksidipäästöt ovat korkeammat kuin kivihiilen tai maakaasun, polttavat voimalaitokset ovat olleet Saksassa kuitenkin käytännössä immuuneja sähköntuotantojärjestelmän rakenteen muutoksille. Ruskohiili (eng. lignite, brown coal, saks. Braunkohle) on energiasisällöltään matala fossiilinen polttoaine, jota louhitaan suurista avolouhoksista ja poltetaan kaivoksen lähelle sijoitetussa voimalaitoksessa. Polttoaineen kustannus voimalaitokselle toimitettuna on tällöin alhainen. Ruskohiiltä käyttävät voimalaitokset ovat muuttuvilta kustannuksiltaan nykyisillä polttoaineiden ja päästöoikeuden markkinahinnoilla kilpailukykyisiä verrattuna kivihiiltä tai maakaasua käyttäviin voimalaitoksiin. Lisäksi ruskohiilivoimalaitosten ja -kaivosten ylläpitäminen on ollut Saksalle käytännöllistä aluepoliittisista syistä. Ruskohiiliteollisuus työllistää suuren joukon ihmisiä, joista suuri osa entisen Itä-Saksan alueella, joka on edelleen keskimäärin merkittävästi köyhempää kuin entisen Länsi-Saksan alue.

Nyttemmin Saksa on ryhtynyt suunnittelemaan kivi- ja ruskohiilen käytön lopettamista sähköntuotannossa. Vuonna 2016 Saksa päivitti energia- ja ilmastostrategiansa vuoteen 2050 asti, ja tämän strategian pohjalta Saksan parlamentti asetti kesällä 2018 työryhmän suunnittelemaan hiilestä luopumista. Työryhmä antoi esityksensä tammikuussa 2019. Saksassa on tällä hetkellä noin 45 GW hiilivoimalaitoksia, jotka kaikki on määrä sulkea

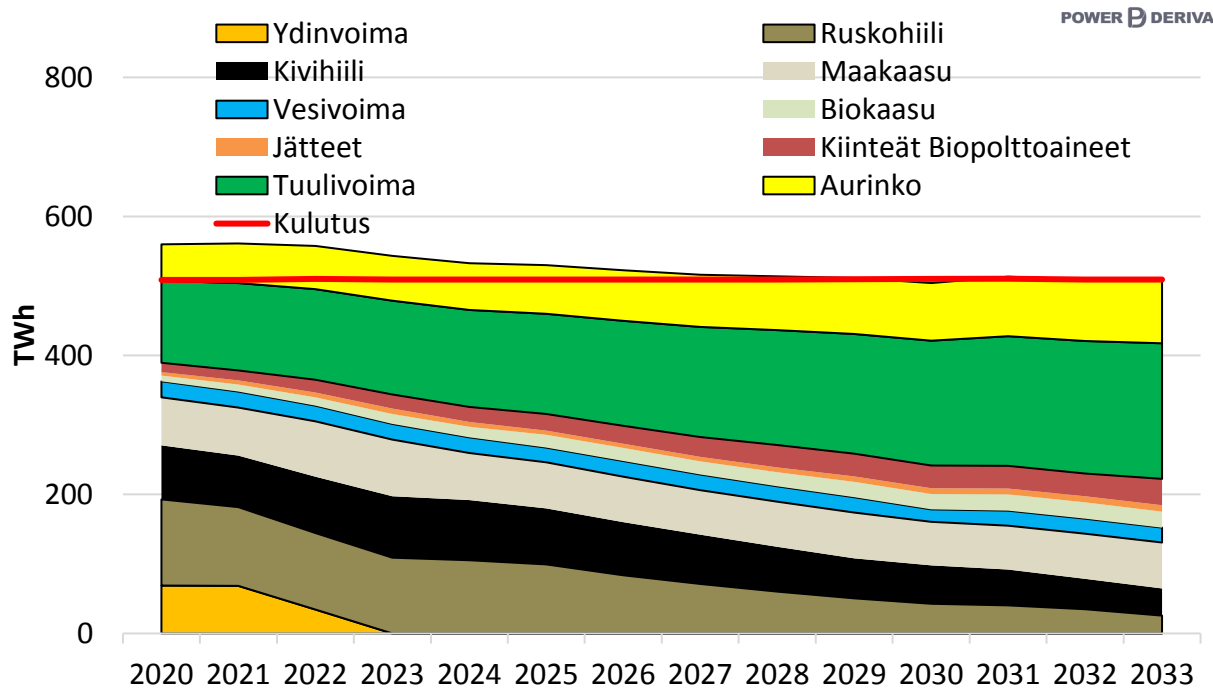
vuoteen 2038 mennessä. Välietapeiksi on määritetty, että vuoteen 2022 mennessä ruskohiilivoimalaitoksia suljettaisiin 4,8 GW ja kivihiilivoimalaitoksia 7,7 GW, ja vuoteen 2030 mennessä edellisten lisäksi 9 GW ruskohiilivoimalaitoksia ja 8 GW kivihiilivoimalaitoksia. Lisäksi esitys sisältää toimia ruskohiilentuotantoalueiden asukkaiden työllistymisen tukemiseksi kaivosten sulkemisen jälkeen. Esityksen maksimikokonaiskustannusarvio on 80 mrd. euroa. Työryhmän esitys ei ole vielä lainvoimainen, vaan menee Saksan parlamentin käsittelyyn kevään 2019 aikana.

Taulukko 2. Saksan hiilivoimalaitosten sulkemiset vuosiin 2022 ja 2030 mennessä.

Sulkemisaikataulu	2022	2030
Ruskohiili [GW]	4,8	9,0
Kivihiili [GW]	7,7	8,0
Summa [GW]	12,7	17,0

Koko suljettavaksi esitetty voimalaitoskapasiteetti ei ole kuitenkaan enää nykyään spot-markkinoiden käytössä, vaan osa siitä on jo siirtynyt tai tulee siirtymään lähivuosina tehoreserviin. Sulkemisten jälkeen jäljelle jäävien hiilivoimalaitosten käyttöasteet todennäköisesti kasvavat mutta hiilivoimalaitosten kokonaissähköntuotanto tulee kutistumaan. Todennäköisesti voimalaitosten sulkeminen tullaan hyvittämään jollain tavalla niiden omistajille. Tästä saatiin ennakkotapaus Saksan oikeuslaitoksen linjatessa, että valtio on velvollinen maksamaan ydinvoimayhtiöille korvauksia menetetystä sähköntuotannosta ydinvoimatuotannon alasajon seurauksena. Sähkönkulutus tulee pysymään Saksassa lähellä nykytasojaan, ja hiilivoiman väheneminen tullaan kattamaan erityisesti uusiutuvan sähköntuotannon kasvattamisella. Lyhyellä aikavälillä myös maakaasun käyttö voi lisääntyä.

Vuonna 2023 EU:n teollisuuden päästödirektiivi eli Industrial Emissions Directive (IED) laajenee koskemaan kaikkia suuria lämpövoimalaitoksia EU-alueella, kun tähän asti se on koskenut täysimääräisesti vain uusia voimalaitoksia. IED asettaa nykyistä kireämpiä rajoituksia ilmanlaatua paikallisesti heikentäville typpi- ja rikkipäästöille. IED ei sen sijaan koske hiilidioksidipäästöjä. Vanhojen rusko- ja kivihiilivoimalaitosten typpi- ja rikkipäästöt ylittävät IED:n asettamat rajat. Näiden voimalaitosten omistajien vaihtoehtoina on käytännössä investoida savukaasujen puhdistamiseen, jotta rajat saavutetaan, tai sulkea voimalaitokset vuoden 2023 loppuun mennessä. Käytännössä savukaasujen puhdistusinvestoinnit tulevat olemaan niin kalliita, että jo IED tulee aiheuttamaan joidenkin hiilivoimalaitosten sulkemisia.

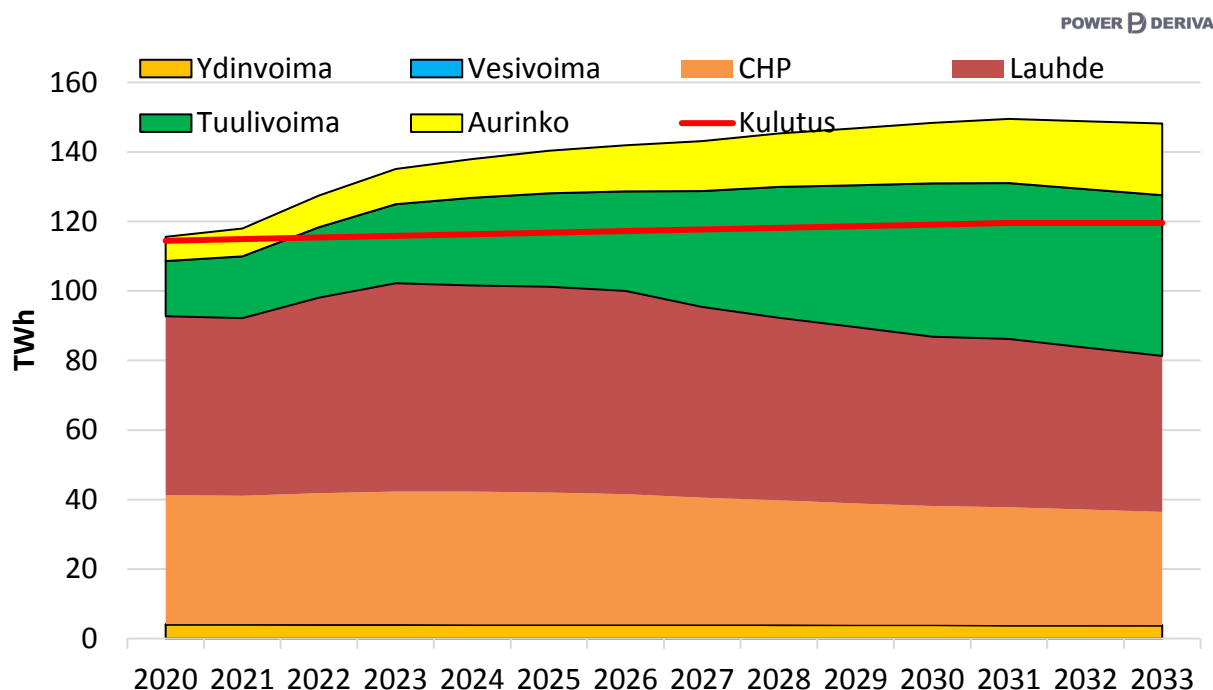


Kuva 13. Saksan energiabalanssi tuotantomuodoittain.

Kuvassa 13 on esitetty Saksan energiabalanssi tuotantomuodoittain. Hiilikomission ehdotus hiilivoimalaitosten alasajosta vuoteen 2038 mennessä on mukana base-mallinnukseemme. Uskomme Saksan sulkevan laitokset suunnitellun aikataulun mukaisesti ja lisäävän reilusti aurinko- ja tuulivoimaa johtuen laskevista kustannuksista. Välietapeiksi on määritetty, että vuoteen 2022 mennessä ruskohiilivoimalaitoksia suljettaisiin 4,8 GW ja kivihiilivoimalaitoksia 7,7 GW, ja vuoteen 2030 mennessä edellisten lisäksi 9 GW ruskohiilivoimalaitoksia ja 8 GW kivihiilivoimalaitoksia. Saksan virallisen laitosrekisterin perusteella osa vanhoista laitoksista oltaisiin jo muutenkin sulkemassa, joten hiilellä tuotetun sähkön osuus laskisi tulevien vuosien aikana.

Maakaasun osuus ei nouse Saksassa juurikaan johtuen sähkön keskihinnan alhaisuudesta 2030 mennessä. Keskihinnan alhaisuus johtuu suurimmaksi osaksi uusiutuvien tuotantomuotojen laskevista investointikustannuksista. Sen sijaan osa toimijoista voisi lisätä hieman biopolttoaineiden käyttöä, mutta tämäkin lisäys jää hyvin pieneksi tuulivoimatuotannon kasvun seurauksena.

Energiabalanssi laskee hiilivoimalaitosten sulkemisen myötä aavistuksen negatiiviseksi, mitä pyritään kattamaan tuonnilla muista maista. Saksa todennäköisesti tuo tulevaisuudessa osan sähköstään Iso-Britanniasta, Alankomaista ja Pohjoismaista.

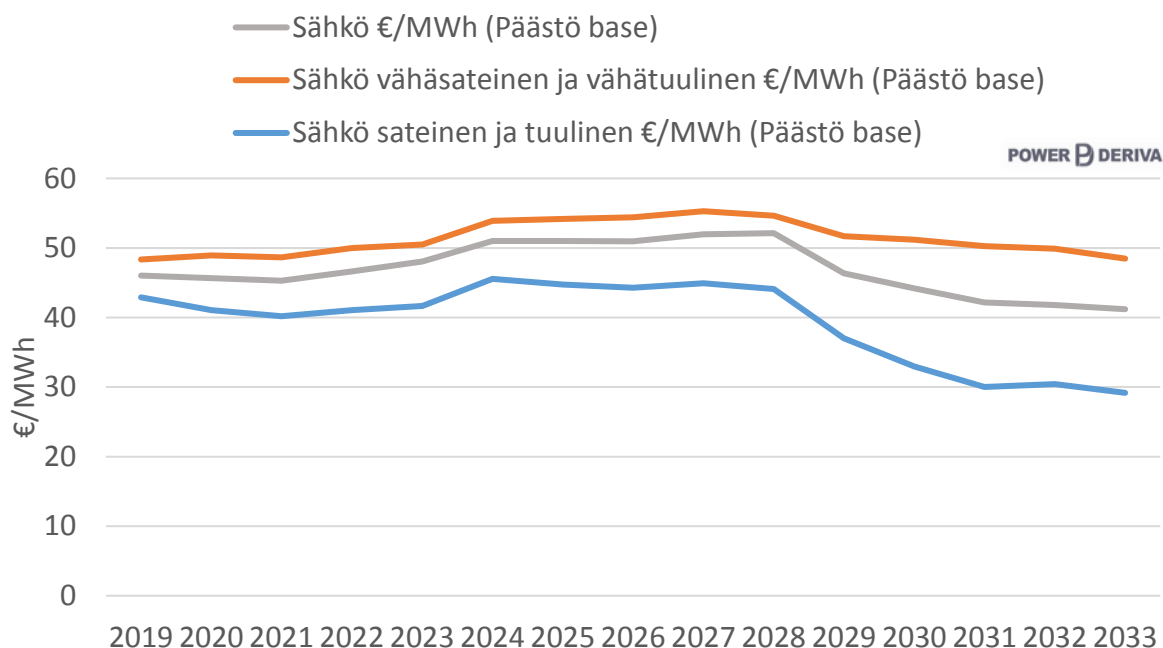


Kuva 14. Alankomaiden energiabalanssi tuotantomuodoittain

Kuvassa 14 on Alankomaiden energiabalanssi. Alankomaihin on tulossa reilusti tuuli- ja aurinkoinvestointeja tulevina vuosina ja kuvasta nähdään tuuli- ja aurinkovoiman kasvu. Lisäksi Saksan hiilivoimalaitosten sulkemiset näyttäisivät nostavan 2022-2026 lauhdevoimalaitosten ajomääriä.

5 BASE-SKENAARION SÄHKÖN HINNAT

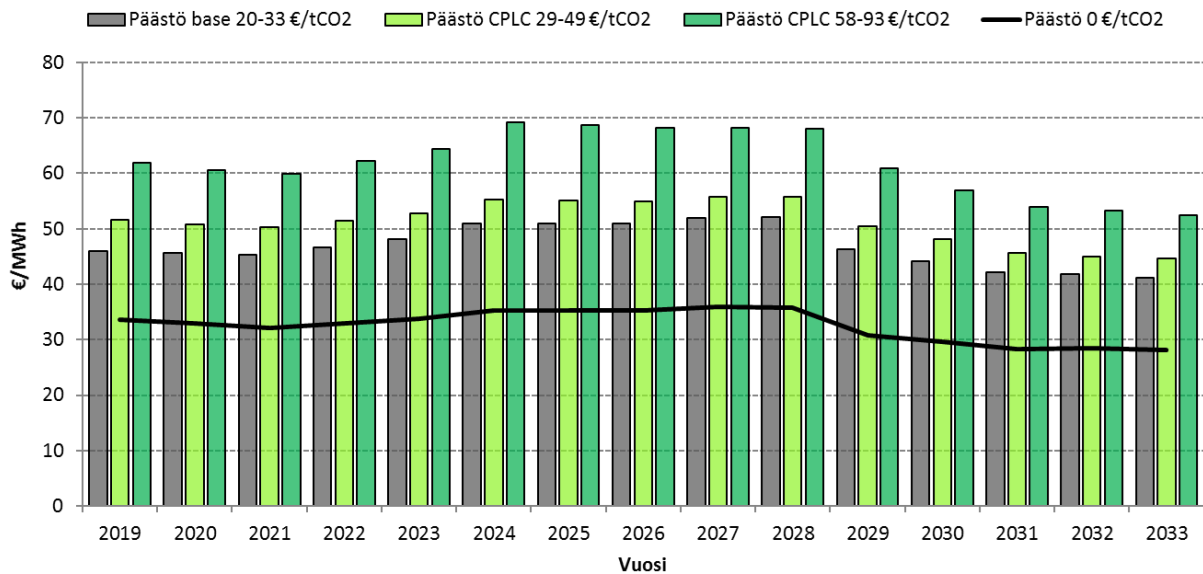
Kooste sähkön aluehinnoista



Kuva 15. Suomen sähkön hinta (nimellinen) eri sääskenaarioissa, päästöoikeuden base-skenaario.

Kuvassa 15 on esitelty Power-Derivan base-sähkön hinta ja sähkön hinnan muutos erilaisissa sääolosuhteissa. Vuoden 2030 jälkeen vuosikeskihinta saattaa vaihdella erittäin paljon johtuen rajusta tuulivoiman kasvusta sekä erilaisista hydrologisista tilanteista Pohjoismaissa.

Suomen sähkön hinnan simuloidut vuosikeskihinnat



Kuva 16. Suomen sähkön hinta (nimellinen) eri päästöoikeusskenaarioilla.

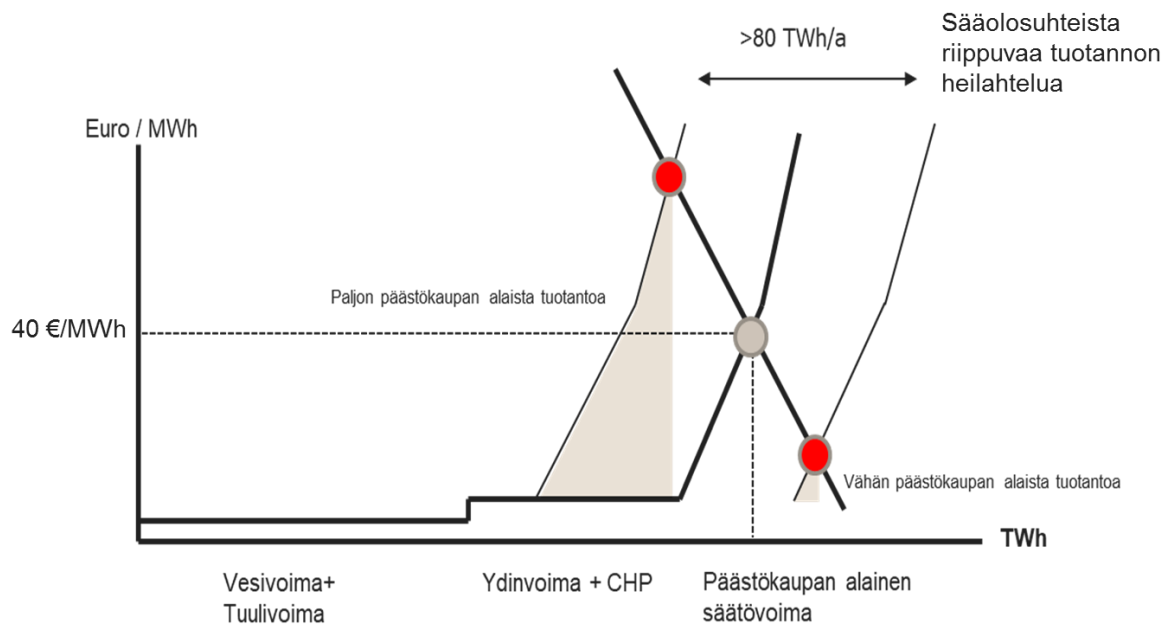
Kuvassa 16 on esitelty Suomen sähkön hinta eri päästöoikeushintaskenaarioilla normaalisääolosuhteissa. Harmaalla on base-sähkönhintaskenaario Euroopan politikkojen määrittelemällä päästöoikeuden hinnalla 20-30 €/CO₂t. Alempana sinisellä on nähtävissä sähkönhintaskenaario, kun päästöoikeuden hinta on nollassa. Ylempänä 50-60 €/MWh tasolla on nähtävissä CPLC:n päästöoikeuden hintaskenaarioiden vaikutus sähköhintoihin. Uskomme, että tuuli- ja aurinkovoimaa rakennetaan runsaasti, mikäli nimellinen sähkönhintataso säilyy CPLC-hintaskenaarioissa.

6 PÄÄSTÖOIKEUDEN VAIKUTUS SÄHKÖN HINTAAN

Tässä luvussa on esitetty yhteiseurooppalaisen sähkömarkkinan toiminta pääpiirteiltään ja analysoitu simuloinnin tulokset skenaarioittain. Jokaisella päästöoikeusskenaariolle on laskettu suora hintavaikutus sähkön hintaan ja analysoitu skenaarioiden välisien erojen syitä.

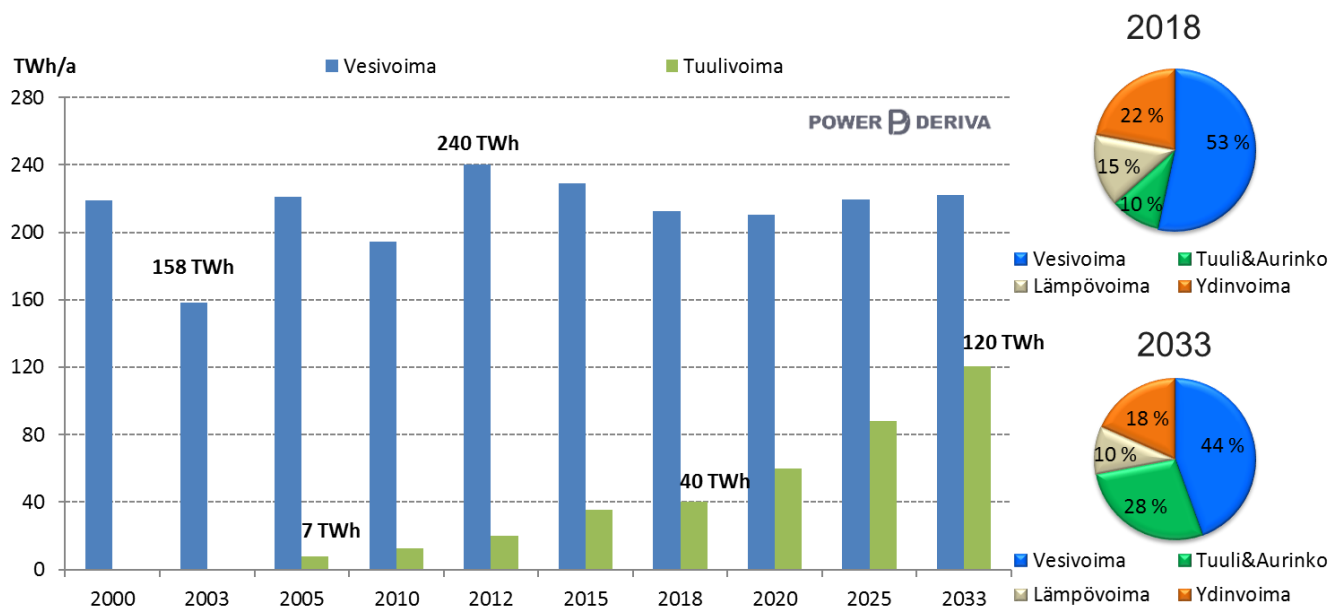
Päästöoikeuden hinta nostaa fossiilisia polttoaineita käyttävien voimalaitosten ajokustannuksia ja siten hintaa, jolla nämä laitokset tarjoavat tuotantoaan markkinoille. Historiasta on havaittu, että korkea vesi- ja tuulivoiman osuus vähentää korkeamman ajokustannuksen omaavaa päästökaupan lisäkustannukselle altistuvaa sähköntuotantoa. Vesi- ja tuulivoiman vaihtelut tyypillisesti korvataan muilla tuotantomuodoilla, jotka saattavat altistua päästökaupalle. Päästökaupan aiheuttama lisäkustannus muuttaa laitosten keskinäistä ajojärjestystä siten, että päästöiltään suuremman polttoaineen ja heikomman hyötysuhteen omaavat laitokset sijoittuvat tarjontakäyrällä oikealle eli sen kalliille osalle ja niiden kilpailuasema tarjouskilpailussa heikkenee. Järjestelmä takaa, että vesi- ja tuulivoiman vaihtelut kompensoidaan mahdollisimman vähäpäästöisillä laitoksilla. Tämä toteutuu sitä paremmin, mitä korkeampi on päästökaupan aiheuttama kustannusvaikutus.

Vesi- ja tuulivoimatuotannon pienentyessä hintamekanismi kasvattaa hinnan mukaan säätyvän tuotannon määrää ja tarjontakäyrä siirtyy vasemmalle. Tällöin sähkön hinta nousee ja päästökaupan alainen hinnan mukaan säätyvä tuotanto kasvaa. Vastaavasti vesi- ja tuulivoimatuotannon määrän kasvu syrjäyttää vastaavan määrän muita tuotantomuotoja. Tällöin tarjontakäyrä siirtyy oikealle ja sähkön hinta laskee ja samalla hinnan mukaan säätyvä tuotanto pienenee.



Kuva 17. Vesi- ja tuulivoimatuotannon vaihtelun vaikutus

Tilastollisesti voidaan havaita, että vesivoimatuotanto on vuositason vaihdellut Pohjoismaissa (Norja, Ruotsi, Suomi, Tanska) vähä- ja runsassateisen vuoden välillä noin 80 TWh/a. Vesivuosisien vaihtelun vaikutus keskimääräisestä jompaankumpaan ääripäähän on siis noin 40 TWh/a. Vertailujakson aikana tuulivoiman osuus järjestelmässä on kasvanut juuri tuon verran. Tuulivoiman rakentaminen on perustunut kuitenkin erilliseen tuotantotukeen eikä päästökauppajärjestelmän vaikutukseen sähkön hintaan. Ilmiö on yleiseurooppalainen ja on johtanut 2010-luvulla päästöoikeuksien ylitarjontaan ja päästöoikeuden hinnan romahdusmaiseen laskuun. Hinnan laskun myötä päästöoikeus menetti ohjausvaikutuksensa sähköntuotantoinvestointeihin. Tätä paikkaamaan luotiin markkinavakausvaranto eli MSR. Mekanismin on määrä poistaa päästöoikeuksien ylitarjonta markkinalta ja mahdollisesti palauttaa päästökaupan investointien ohjausvaikutus tulevaisuudessa.



Kuva 18. Vesi- ja tuulivoiman vaihtelun vaikutus (tuulivoima mukana vuodesta 2005 alkaen)

Työssä selvitettiin päästöoikeuden kokonaisvaikutus sähkön keskimääräiseen hintaan vuositasolla ja vaikuttavia tekijöitä havaittiin olevan kolme, josta seuraavassa on käsitelty kutakin erikseen.

1. Päästöoikeuden hintataso

Päästöoikeuden hinta nostaa suoraan kaikkien päästökaupan alaisten voimalaitosten muuttuvia kustannuksia. Päästöoikeuden hinnan noustessa sähkön hinta tyypillisesti nousee ja vastaavasti päästöoikeuden hinnan laskiessa sähkön hinta tyypillisesti laskee.

2. Uusiutuvien energianlähteiden ja ydinvoimatuotannon kasvu

Matalamman muuttuvien kustannusten omaavien tuotantomuotojen ajomäärän kasvaminen korvaa markkinamekanismissa suoraan aina kaikkein korkeimpien muuttuvien kustannuksien omaavia laitoksia vastaavan ajomäärän verran. Korkeimpien muuttuvien kustannusten laitokset taas lähes poikkeuksetta altistuvat päästöoikeuden aiheuttamalle muuttuvalle lisäkustannukselle. Näin ollen mitä heikompi hyötysuhde tai epäpuhtaampi polttoaine ja siten suurempi päästökerroin laitoksella on, sitä todennäköisemmin laitos korvautuu paremman hyötysuhteen ja puhtaamman polttoaineen omaavalla laitoksella, jonka päästökerroin on samalla pienempi ja täten vaikutus sähkön hintaan on myös pienempi. Seurauksena matalakustanteisten päästöttömien ja vähäpäästöisten laitosten osuuden kasvattaminen pienentää päästöoikeuden vaikutusta sähkön hintaan. Tämän vuoksi päästöoikeuden vaikutus sähkön hintaan myös pienenee ajan myötä.

3. Päästöoikeuden hintatason vaikutus ajojärjestykseen

Päästöoikeuden hinnan nousu suosii paremman hyötysuhteen ja puhtaamman polttoaineen omaavia laitoksia ja muuttaa laitosten keskinäistä ajojärjestystä tarjontakäyrällä. Vaikka päästöoikeuden hinnan nousu nostaa sähkön hintaa, ei vaikutus kuitenkaan ole lineaarinen. Pienen päästöoikeuden hinnassa tapahtuvan nousun vaikutus sähkön hintaan on vähäisempi

päästöoikeuden hinnan ollessa korkea, kuin samansuuruisen päästöoikeuden hinnan muutoksen tapahtuessa silloin, kun päästöoikeuden hinta on matala.

Päästökaupan vaikutukset Suomen aluehintaan

Työssä simuloitiin neljä erilaista päästöoikeusskenaariota. Base-skenaarioksi on nimetty Power-Deriva Oy:n perusskenaario, joka pohjautuu Euroopan komission antamaan tavoitehintaan päästöoikeudelle, jolla kivi- ja ruskohiilivoimalaitokset saataisiin korvattua maakaasulla. Lisäksi on laskettu kaksi korkeamman hinnan skenaariota, jossa päästöoikeuden hintatasoa on herkkyytetty ylöspäin. Korkeammat skenaariot perustuvat Maailmanpankin asettaman työryhmän Carbon Pricing Leadership Councilin (CPLC) arvioihin siitä, millä tasolla päästöoikeuden hinnan pitäisi olla, jotta Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteet saavutetaan. Vertailun vuoksi laskettiin myös simulaatio sähkön hintaennusteelle sellaisessa tapauksessa, jossa päästöoikeuden hinta on asetettu nolaksi. Skenaario kuvaa täten sähkön hintaa ilman päästöoikeusmarkkinaa. Vertailemalla tämän simulaation tuloksia muihin tuloksiin saadaan laskettua päästöoikeuden kokonaisvaikutus sähkön hintaan ajan funktiona vertailun kohteessa olevassa skenaariossa. Simulaatioissa käytetyt päästöoikeuden hintaskenaariot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Eri päästöoikeus-skenaarioiden lähtöolettamat

	Päästö 0 €/t	Päästö base	Päästö CPLC 29-49	Päästö CPLC 58-93
2019	0	20,00	29,50	58,00
2020	0	21,20	31,00	62,00
2021	0	22,47	32,50	66,00
2022	0	23,82	34,00	70,00
2023	0	25,25	35,50	74,00
2024	0	26,76	37,00	78,00
2025	0	28,37	38,50	82,00
2026	0	29,22	40,00	86,00
2027	0	30,39	41,50	87,00
2028	0	31,91	43,00	88,00
2029	0	32,23	44,50	89,00
2030	0	32,55	46,00	90,00
2031	0	32,88	47,00	91,00
2032	0	33,21	48,00	92,00
2033	0	33,54	49,00	93,00

Yhteiseurooppalainen tarjouskilpailuun pohjautuva markkinamalli mahdollistaa, että suomalainen sähkön kysyntä katetaan myös ulkomaalaisella tarjonnalla. Perusedellytys tälle on kuitenkin, että aluehinnan Suomessa on oltava korkeampi kuin laitoksen alkuperäinen tarjontahinta on ollut sähköpörssissä Saksassa. Tässä tarkastelussa on tutkittu sitä todennäköisyyttä, että Saksassa sijaitsevan fossiilisia polttoaineita käyttävän voimalaitoksen

markkinoille tarjoaman sähkön hinta alittaa Suomen sähkön hinnan, jolloin markkinamekanismin mukaan tällä voimalaitoksella ja siten päästöoikeuden hintatasolla on vaikutusta sähkön hintaan Suomessa.

Base-skenaario

Seuraavassa esimerkissä on simuloitu base-skenaarion perusteella kolmea erilaista voimalaitosta. Esimerkinä on saksalainen ruskohiilivoimalaitos (hyötysuhde 34,5 %), saksalainen kivihiilivoimalaitos (38,5 %) ja moderni korkean hyötysuhteen (54 %) omaava saksalainen maakaasuvoimalaitos, joiden teoreettisia ajomääriä on verrattu Suomen aluehintasimulaation. Havaitaan, että nykytilanteessa saksalainen ruskohiilivoimalaitos voisi huutokauppamekanismissa käynnistyä Suomessa tehdyn ostotarjouksen perusteella 80,8 %:n todennäköisyydellä ja täten Suomen aluehintaan vaikuttaisi siten saksalaisen ruskohiilivoimalaitoksen tarjontahinta 80,8 % ajasta. Base-skenaariossa kuitenkin päästöoikeuden oletetaan nousevan ja mukailevan Euroopan komission antamaa hintatavoitetta. Vuonna 2023 moderni maakaasuvoimalaitos on marginaalisesti kilpailukykyisempi kuin ruskohiilivoimalaitos. Olkiluoto 3:n ja kasvavan uusiutuvan energiantuotannon johdosta tarve aktivoida voimalaitoksia Saksassa pienenee huomattavasti ja saksalainen maakaasuvoimalaitos ei vaikuta Suomen hintaan kuitenkaan kuin enää 49,1 % ajasta. Lisäksi maakaasuvoimalaitoksen hiilidioksidipäästöt tuotettua energiayksikköä kohti ovat pienemmät kuin ruskohiilivoimalaitoksella, mikä pienentää päästöoikeuden vaikutusta Suomen aluehinnassa. Vuonna 2024 Suomen aluehinta kuitenkin simulointiemme mukaan nousisi, mikä kasvattaa tarvetta aktivoida maakaasulaitos Saksassa. Tarve aktivoida saksalainen maakaasuvoimalaitos kuitenkin laskee vuonna 2029, jolloin Suomen omavaraisuusaste kasvaa Hanhikivi 1:n odotetun käynnistymisen myötä ja hintataso laskee. Tästä syystä saksalaisen maakaasuvoimalaitoksen vaikutus Suomen aluehintaan laskee hyvin pieneksi. Vuonna 2033 laitos saattaisi aktivoitua Suomessa tehdyn ostotarjouksen perusteella enää vain 4,7 % ajasta.

Vuosi	Päästöoikeus (€/t)	Ruskohiili (€/MWh)	Kivihiili (€/MWh)	Maakaasu (€/MWh)	Halvin (€/MWh)	Halvin ajassa (%/a)
2019	20	42,5	49,0	45,2	42,5	80,8 %
2020	21,2	43,9	50,0	45,7	43,9	63,7 %
2021	22,5	45,3	51,4	46,5	45,3	50,8 %
2022	23,8	46,8	52,8	47,3	46,8	48,2 %
2023	25,2	48,4	54,4	48,2	48,2	49,1 %
2024	26,8	50,1	56,0	49,1	49,1	66,2 %
2025	28,4	52,0	57,6	50,0	50,0	59,9 %
2026	29,2	52,9	58,7	50,7	50,7	55,3 %
2027	30,4	54,2	60,0	51,5	51,5	55,2 %
2028	31,9	56,0	61,6	52,4	52,4	50,6 %
2029	32,2	56,3	62,1	52,8	52,8	16,4 %
2030	32,6	56,7	62,7	53,3	53,3	11,5 %
2031	32,9	57,1	63,3	53,8	53,8	7,8 %
2032	33,2	57,4	63,8	54,3	54,3	5,6 %
2033	33,5	57,8	64,4	54,8	54,8	4,7 %

Kuva 19. Saksalaisen ruskohiilivoimalaitoksen, kivihiilivoimalaitoksen ja maakaasuvoimalaitoksen korkein teoreettinen vaikutus Suomen aluehintaan base-skenaariossa.

CPLC 29-49

Skenaariossa päästöoikeuden hinta on asetettu tasolle, jossa maakaasuvoimalaitos korvaa edullisimman kivihiiivoimalaitoksen vertailujakson alusta saakka. Esimerkin taulukossa on simuloitu base-skenaarion tapaan kolmea erilaista saksalaista laitosta, jotka käyttävät polttoaineenaan rusko- tai kivihiiiltä tai maakaasua. Päästöoikeuden hinnan nostaminen tarkoittaa käytännössä, että sähkön hinta Suomessa nousee mutta saksalainen maakaasuvoimalaitos pääsee vaikuttamaan Suomeen hintaan vähemmän kuin matalamman päästöoikeuden hinnan skenaariossa. Ensimmäisenä vertailuvuonna saksalainen maakaasuvoimalaitos voisi vaikuttaa Suomen hintaan 76,3 % ja vertailun viimeisenä vuonna ainoastaan 2,5 % ajasta. Molemmat arvot ovat pienempiä kuin base-skenaarion tapauksessa. Päästöjä syntyy lisäksi vähemmän, koska maakaasun päästökerroin on vertailussa huomattavasti pienempi kuin ruskohiilellä, joka oli edullisin vaihtoehto base-skenaariossa vuosina 2019-2022. Korkeampi sähkön hinta lisää investointeja päästöttömiin kohteisiin, mikä vähentää kaikkien fossiilisten polttoaineiden käyttöä yleisesti koko tarkastelujakson aikana. Tässä tarkastelussa uusiutuvien energianlähteiden määrän kasvu on kuitenkin pidetty samana kaikissa skenaarioissa.

Vuosi	Päästöoikeus (€/t)	Ruskohiili (€/MWh)	Kivihiihi (€/MWh)	Maakaasu (€/MWh)	Halvin (€/MWh)	Halvin ajossa (%/a)
2019	29,5	53,2	57,3	48,8	48,8	76,3 %
2020	31,0	54,9	58,6	49,3	49,3	61,8 %
2021	32,5	56,6	60,2	50,2	50,2	52,8 %
2022	34,0	58,3	61,8	51,1	51,1	53,8 %
2023	35,5	60,0	63,4	52,0	52,0	56,5 %
2024	37,0	61,7	64,9	52,9	52,9	68,6 %
2025	38,5	63,4	66,5	53,8	53,8	62,8 %
2026	40,0	65,1	68,1	54,7	54,7	56,6 %
2027	41,5	66,8	69,7	55,6	55,6	53,8 %
2028	43,0	68,5	71,3	56,5	56,5	49,0 %
2029	44,5	70,2	72,9	57,4	57,4	18,7 %
2030	46,0	71,9	74,5	58,3	58,3	11,5 %
2031	47,0	73,0	75,6	59,1	59,1	6,9 %
2032	48,0	74,1	76,8	59,8	59,8	4,3 %
2033	49,0	75,3	78,0	60,5	60,5	2,5 %

Kuva 20. Saksalaisen ruskohiilivoimalaitoksen, kivihiiivoimalaitoksen ja maakaasuvoimalaitoksen korkein teoreettinen vaikutus Suomen aluehintaan CPLC 29-49-skenaariossa

CPLC 58-93

Skenaariossa päästöoikeuden hinta on asetettu tasolle, jossa maakaasu korvaa ruskohiilen sähköntuotannossa vertailujakson alusta saakka. Tässä skenaariossa sähkön hintataso nousee kuitenkin jo sen verran korkealle, että investoinnit uusiutuviin energialähteisiin todennäköisesti kasvaisivat huomattavasti perusskenaariota nopeammin. Tätä vaikutusta ei ole tarkastelussa huomioitu vaan ainoastaan päästöoikeuden hintaa on nostettu. Tästä syystä tulokset poikkeavat CPLC 29-49 esityksestä ainoastaan vähän. Tässäkin skenaariossa on simuloitu kolmea erilaista saksalaista laitosta, jotka käyttävät polttoaineenaan rusko- tai kivihiiiltä tai maakaasua. Päästöoikeuden hinnan nostaminen tarkoittaa käytännössä, että sähkön hinta Suomessa nousee mutta saksalainen maakaasuvoimalaitos pääsee vaikuttamaan

Suomeen hintaan vähemmän kuin matalammassa päästöoikeuden skenaariossa. Ensimmäisenä vertailuvuonna saksalainen maakaasuvoimalaitos voisi vaikuttaa Suomen hintaan 74,4 % ja vertailun viimeisenä vuonna ainoastaan 1,6 % ajasta. Saksalaisen voimalaitoksen aiheuttamat päästöt Suomessa kulutetulle sähkölle ovat kuitenkin pienemmät kuin kahdessa edellisessä skenaariossa. Päästöjen väheneminen on tässä skenaariossa huomattavasti nopeampaa kuin base-skenaariossa. Base-skenaarion 2033 4,7 % mahdollinen yläraja saksalaisen maakaasuvoimalaitoksen aktivoimiselle suomalaisen spot-ostotarjouksen perusteella alitetaan tässä tarkastelussa jo vuonna 2029. Tämä johtuu suurelta osin Hanhikivi 1:n käyttöön otosta Suomessa. Järjestelmä korvaa saksalaisen maakaasuvoimalaitoksen huomattavasti edullisemmalla suomalaisella ydinvoimalla, johon ei kohdistu korkean päästöoikeuden hinnan aiheuttamaa merkittävää lisäkustannusta.

Vuosi	Päästöoikeus (€/t)	Ruskohiili (€/MWh)	Kivihiili (€/MWh)	Maakaasu (€/MWh)	Halvin (€/MWh)	Halvin ajossa (%/a)
2019	58	85,4	82,3	59,4	59,4	74,4 %
2020	62,0	90,0	85,8	60,9	60,9	51,7 %
2021	66,0	94,5	89,6	62,7	62,7	37,3 %
2022	70,0	99,0	93,3	64,5	64,5	42,1 %
2023	74,0	103,5	97,1	66,3	66,3	43,5 %
2024	78,0	108,1	100,9	68,1	68,1	60,1 %
2025	82,0	112,6	104,7	70,0	70,0	47,7 %
2026	86,0	117,1	108,4	71,8	71,8	37,8 %
2027	87,0	118,2	109,6	72,5	72,5	32,8 %
2028	88,0	119,4	110,7	73,2	73,2	28,5 %
2029	89,0	120,5	111,9	74,0	74,0	4,1 %
2030	90,0	121,6	113,1	74,7	74,7	3,4 %
2031	91,0	122,7	114,2	75,4	75,4	1,7 %
2032	92,0	123,9	115,4	76,2	76,2	1,6 %
2033	93,0	125,0	116,6	76,9	76,9	1,6 %

Kuva 21. Saksalaisen ruskohiilivoimalaitoksen, kivihiilivoimalaitoksen ja maakaasuvoimalaitoksen korkein teoreettinen vaikutus Suomen aluehintaan CPLC 58-93-skenaariossa.

Simuloidut hinnat

Simuloinnit toteutettiin taulukon 3 mukaisilla päästöoikeuden hinnoilla. Sähkön hinnalle laskettiin ennuste syöttämällä päästöoikeuden hinnat kaikkien polttolaitosten tarjontakustannuksiin ja herkkyyttämällä vesi-, tuuli- ja aurinkoskenaarioita EMPS-mallilla 40 erilaisen historiallisen toteumavuoden perusteella ja laskemalla skenaarioparvesta mediaanihinnat kullekin vuodelle. Tämä tehtiin jokaiselle neljälle päästöoikeuden hintaskenaariolle erikseen. Jokaiselle päästöoikeusskenaariolle saatiin 40 erilaisen sääskenaarion mediaanihinta laskettua kullekin vuodelle erikseen. Tulokset ovat taulukossa 4.

Taulukko 4. Simuloidut sähkön hinnat

	Sähkö €/MWh (Päästö 0 €/t)	Sähkö €/MWh (Päästö base)	Sähkö €/MWh (Päästö CPLC 29-49)	Sähkö €/MWh (Päästö CPLC 58-93)
2019	33,58	46,05	51,62	61,90
2020	32,92	45,67	50,83	60,52
2021	32,20	45,31	50,31	59,87
2022	32,94	46,61	51,53	62,16
2023	33,79	48,06	52,79	64,45
2024	35,30	50,99	55,23	69,29
2025	35,30	50,99	55,09	68,63
2026	35,32	50,95	54,89	68,13
2027	35,88	51,96	55,72	68,21
2028	35,84	52,12	55,78	67,97
2029	30,87	46,36	50,54	60,91
2030	29,63	44,18	48,12	56,92
2031	28,35	42,16	45,62	54,00
2032	28,45	41,80	45,07	53,20
2033	28,19	41,19	44,61	52,52

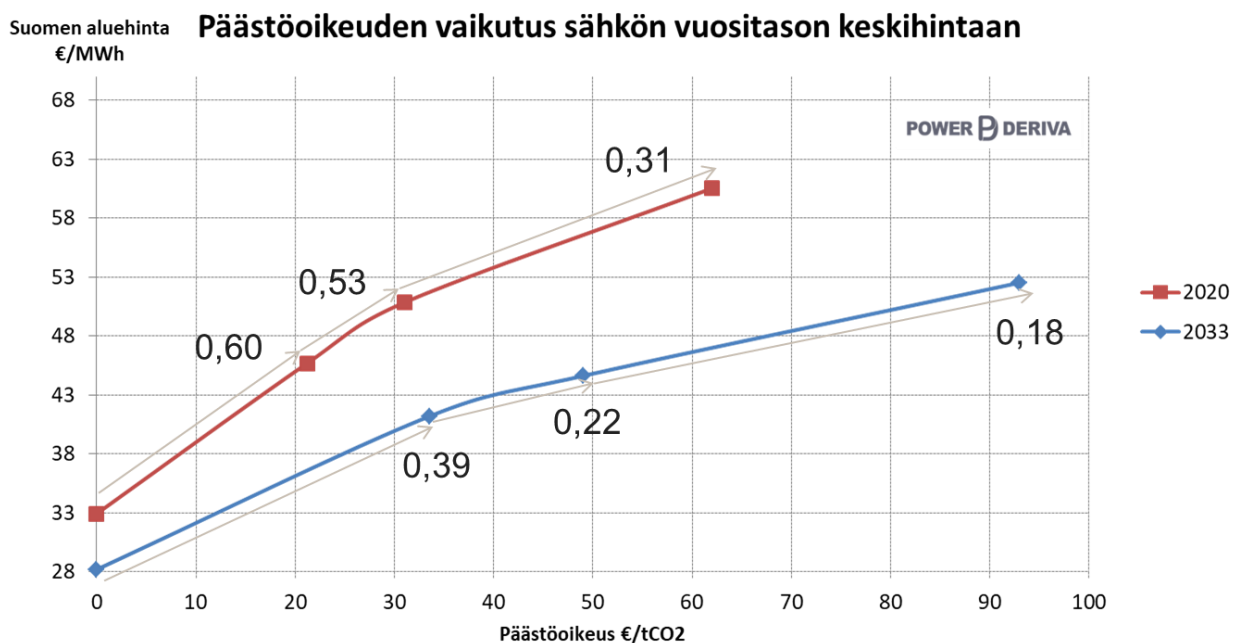
Päästöoikeuden vaikutus saatiin laskettua skenaariolle base, CPLC 29-49 ja CPLC 58-93 vähentämällä tuloksista päästöoikeuden 0€/t hinnalla simuloidut tulokset, jotka on esitetty seuraavassa.

Taulukko 5. Simuloitu päästöoikeuden vaikutus.

	Sähkö €/MWh (Päästö base)	Sähkö €/MWh (Päästö CPLC 29-49)	Sähkö €/MWh (Päästö CPLC 58-93)
2019	12,47	18,04	28,32
2020	12,75	17,91	27,59
2021	13,11	18,11	27,67
2022	13,66	18,58	29,21
2023	14,26	19,00	30,65
2024	15,69	19,94	33,99
2025	15,69	19,79	33,33
2026	15,63	19,57	32,81
2027	16,09	19,85	32,34
2028	16,28	19,94	32,13
2029	15,49	19,66	30,04
2030	14,55	18,49	27,29
2031	13,81	17,26	25,65
2032	13,35	16,61	24,75
2033	13,00	16,42	24,33

Tuloksista käy ilmi, että ainoastaan base-skenaariossa päästöoikeuden kustannusvaikutus kasvaa hieman vuodesta 2019 vuoteen 2033. Kasvu jatkuu tasaisena Hanhikivi 1:n verkkoonkytkentään saakka, joka aloittaa mallinnuksessa toimintansa vuonna 2029. Hanhikivi 1:n verkkoonkytkennän jälkeen vaikutus pienenee. Muissa skenaarioissa päästöoikeuden vaikutus laskee vuoden 2019 tasoon verrattuna huolimatta siitä, että päästöoikeuden hinta nousee voimakkaasti. Nousevasta päästöoikeuden hinnasta johtuen järjestelmä suosii entistä enemmän vähäpäästöisiä tuotantomuotoja, ja maakaasu syrjäyttää rusko- ja kivihiilen järjestelmässä base-skenaariota tehokkaammin. Päästöoikeuden vaikutus pääsääntöisesti kasvaa jokaisessa skenaariossa Hanhikivi 1:n verkkoonkytkentään saakka ja laskee verkkoonkytkennän jälkeen.

Kuvassa 22 on havainnollistettu Suomen aluehinnan kehitys nimellisenä vuosina 2020-2033. Kaikissa skenaarioissa sähkön hinta laskee vuodesta 2020 vuoteen 2030 huolimatta nousevasta päästöoikeuden hinnasta. Pisteet kuvaavat yksittäisten skenaarioiden simuloitua sähkön hintoja järjestyksessä päästö 0 €/t, base-skenaario, CPLC 29-49 ja CPLC 58-93 ja pisteiden välit on interpoloitu lineaarisesti. Päästöoikeuden hinnan nousu näkyy kuvassa pisteiden siirtymisenä oikealle x-akselin suunnassa ja hintatason lasku puolestaan näkyy pisteiden liikkumisena alaspäin y-akselin suunnassa. Kulmakertoimen loiveneminen taas kuvaa ajojärjestyksen muuttumista tuotantorakenteeltaan identtisten skenaarioiden kesken (jokaisessa skenaariossa muuttuu ainoastaan päästöoikeuden hinta). Päästöoikeuden hinnan noustessa sen heijastusvaikutus sähkön hintaan vaimenee vähäpäästöisempien laitosten kilpailukyvyyn parantuessa ja sen vuoksi sähkön hinnan nousuvauhti hidastuu.



Kuva 22. Simuloitu Suomen aluehinta päästöoikeuden funktiona. Numerot ovat kulmakertoimia ja kertovat kuinka paljon sähkön hinta muuttuu (€/MWh) kun päästöoikeuden hinta nousee 1 €/tCO2

Seuraavassa taulukossa on laskettu taulukon 4 ja 3 mukainen päästöoikeuden vaikutus sähkön hintaan tulevina vuosina. Luvut kertovat kuinka paljon sähkön hinta muuttuu kun päästöoikeuden hinta muuttuu yhden euron päästettyä hiilidioksiditonnia kohden siirryttäessä skenaariosta toiseen. Kuvassa 22 olevat vuoden 2020 ja 2033 luvut on lisäksi korostettu.

	Päästö: 0 €/tCO ₂ --> Base (€/MWh)/(€/tCO ₂)	Päästö: Base --> CPLC 29-49 (€/MWh)/(€/tCO ₂)	Päästö: CPLC 29-49 --> CPLC 58-93 (€/MWh)/(€/tCO ₂)
2019	0,62	0,59	0,36
2020	0,60	0,53	0,31
2021	0,58	0,50	0,29
2022	0,57	0,48	0,30
2023	0,56	0,46	0,30
2024	0,59	0,41	0,34
2025	0,55	0,41	0,31
2026	0,53	0,37	0,29
2027	0,53	0,34	0,27
2028	0,51	0,33	0,27
2029	0,48	0,34	0,23
2030	0,45	0,29	0,20
2031	0,42	0,24	0,19
2032	0,40	0,22	0,18
2033	0,39	0,22	0,18

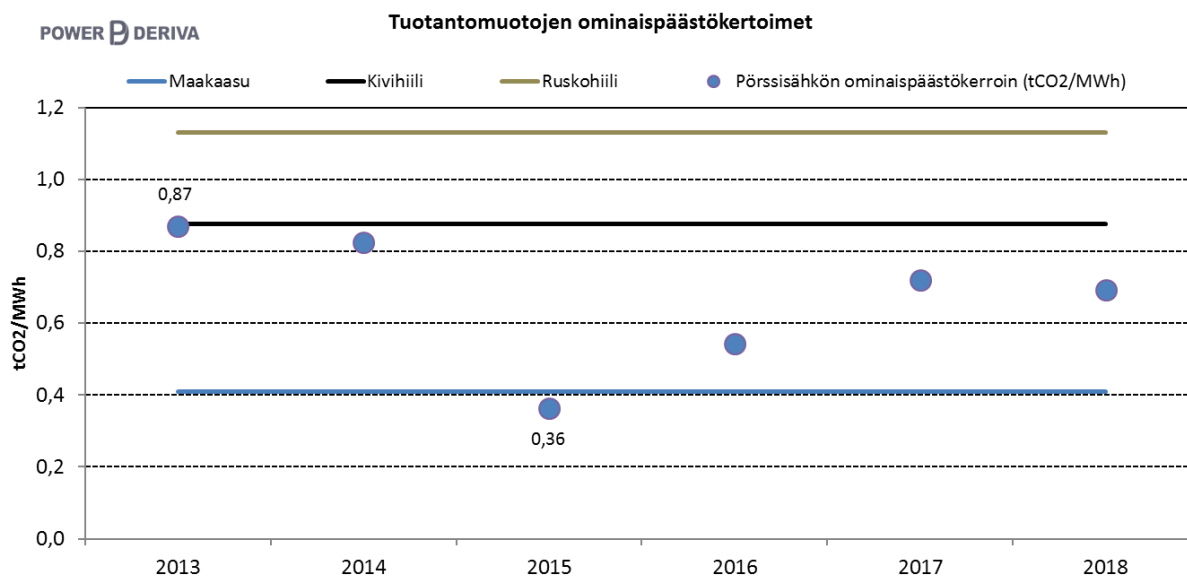
Taulukko 6. Simuloitu päästöoikeuden vaikutus sähkön hintaan. Luvut kertovat kuinka paljon sähkön hinta muuttuu (€/MWh) päästöoikeuden muuttuessa yhden euron päästetyltä hiilidioksiditonnilta

Päästöoikeuden vaikutus vuosina 2013-2018

Päästöoikeuden hinta on ollut vuosina 2014-2017 matalalla ja suosinut käytännössä voimakkaasti ruskohiilen polttoa. Päästöoikeuden hinnan noustessa kivihiilen ja maakaasun poltto ruskohiilen sijaan muuttuu kannattavammaksi. Erilaisilla polttoaineilla on erilaiset ominaispäästökertoimet ja siten vaikutus sähkön hintaan on myös erilainen. Seuraavan sivun kuvassa on viivoilla havainnollistettu eri tuotantomuotojen tyypillisiä ominaispäästökertoimia. Ominaispäästökertoimet riippuvat käytetystä polttoaineesta ja laitoksen hyötysuhteesta ja pysyvät näin ollen simuloinnissa aina vakion suuruisena.

Päästöoikeuden vaikutus on laskettu mallintamalla tuotantokustannuksia tunneittaista toteutunutta Spot-hintaa vuosina 2013-2018. Jokaiselle tunnille määritettiin todennäköinen hintaa määrittänyt laitos huomioiden polttoaineen ja päästöoikeuden vaikutus. Mikäli tunneittainen hinta oli matalampi kuin yhdenkään päästökaupan alaisen laitoksen ajokustannus käytettiin ominaispäästökertoimena nollaa. Näin saatiin jokaiselle tunnille laskettua sekä päästöoikeuden vaikutus että ominaispäästökerroin. Seuraavassa kuvassa on esitetty pörssisähkön ominaispäästökertoimet. Lisäksi taulukossa seuraavalla sivulla on

esitetty vastaavat arvot numeroina sekä laskettu päästöoikeuden vaikutus pörssisähkön hintaan.



Kuva 23. Erilaisille polttolaitoksille oletettuja ominaispäästökertoimia. Numerot ovat kulmakertoimia ja kertovat kuinka paljon sähkön tarjoushinta muuttuu (€/MWh) kun päästöoikeuden hinta nousee 1 €/tCO₂

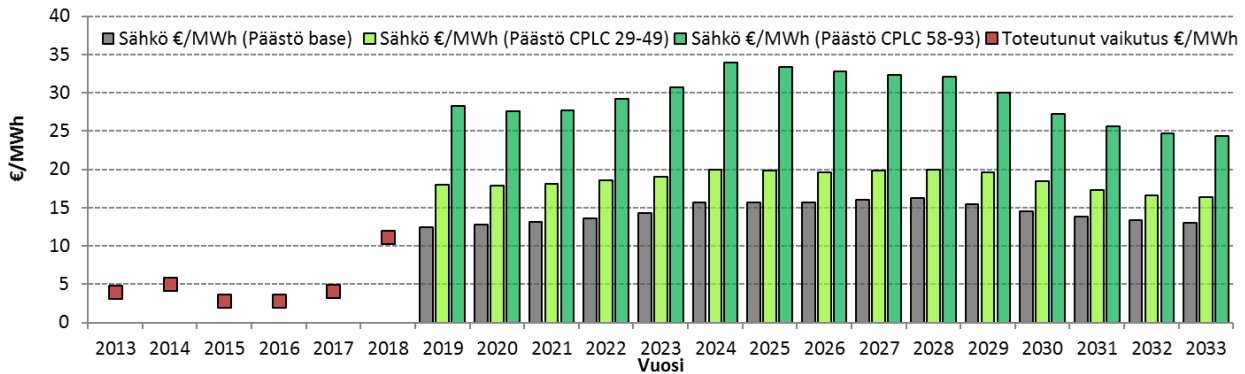
Taulukko 6. Päästöoikeuden vaikutus sähkön hintaan vuosina 2013-2018.

Vuosi	Päästöoikeuden vaikutus pörssisähkön hintaan (€/MWh)	Pörssisähkön ominaispäästökerroin (tCO ₂ /MWh)
2013	4,0	0,87
2014	5,0	0,83
2015	2,8	0,36
2016	2,9	0,54
2017	4,2	0,72
2018	11,2	0,69

Pörssisähkön ominaispäästökertoimien skenaariotarkastelun tulokset

POWER DERIVA

Suomen sähkön hinnan muutos 0 €/CO₂t päästöoikeusskenaariosta

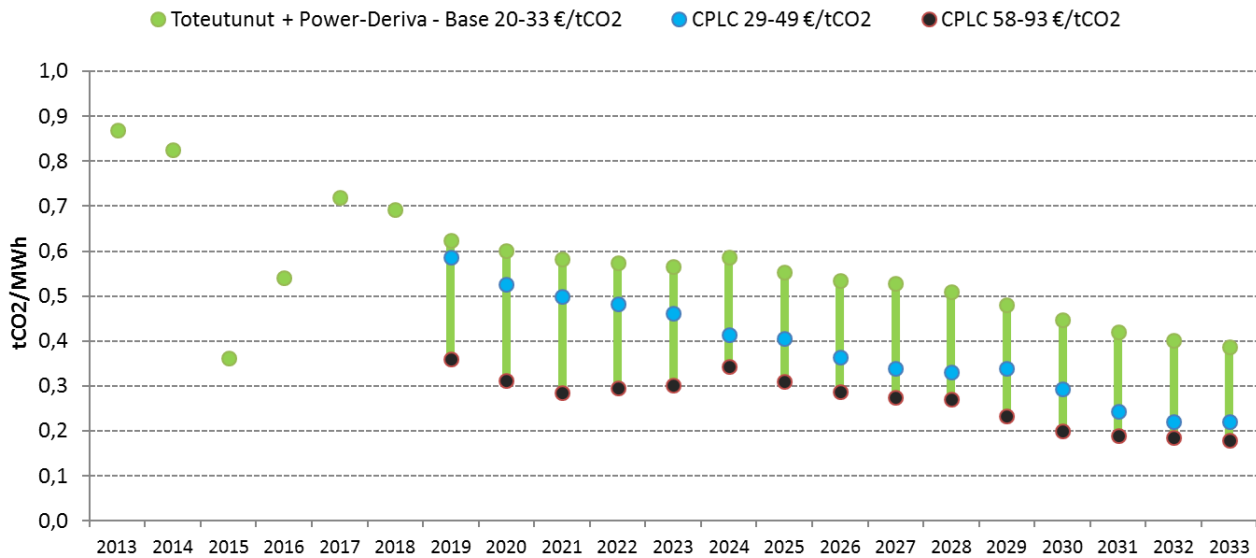


Päästöoikeusskenaariot	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Toteuma [€/CO ₂ t]	4,5	6,0	7,7	5,3	5,8	15,6															
EUA, PD [€/CO ₂ t]							21	21	22	24	25	27	28	29	30	32	32	33	33	33	34
CPLC 29-49 [€/CO ₂ t]							30	31	33	34	36	37	39	40	42	43	45	46	47	48	49
CPLC 58-93 [€/CO ₂ t]							58	62	66	70	74	78	82	86	87	88	89	90	91	92	93

Kuva 24 Päästöoikeuden hinnan vaikutus Suomen sähkön hintaan 2013-2018 toteumassa ja eri skenaarioissa 2019-2033.

Kuvassa 24 on esitetty päästöoikeuden vaikutus vaikutus Suomen sähkön hintaan vuosina 2013-2018 ja odotetun vaikutuksen eri päästöoikeuden hintaskenaarioilla vuosille 2019-2033. 2013-2017 päästöoikeuden hinta oli 4,5-7,7 €/tCO₂ välissä ja vaikutus sähkön hintaan oli n. 3-5 €/MWh. 2018 päästöoikeuden hinta lähti nousemaan ja keskimäärin hinta oli 15,6 €/CO₂t ja vaikutus sähkön hintaan n. 13 €/MWh. Päästöoikeuden hinta nostaa sähkön hintaa base-skenaariossamme noin 12,5-16,3 €/MWh 2019-2030. Korkeimmassa päästöoikeuden hintaskenaariossa CPLC 58-93 €/tCO₂ vaikutus sähkön hintoihin on 25-34 €/MWh.

Suomen pörssisähkön ominaispäästökertoimet



Kuva 25 Suomen pörssisähkön historialliset ominaispäästökertoimet vuonna 2013-2018 sekä tulevaisuuden simuloidut arvot skenaarioittain.

Kuvassa 25 on esitetty Suomen pörssisähkön ominaispäästökertoimien toteutunut ja ennustettu kehitys. Vuonna 2015 sää oli poikkeuksellisen sateinen ja tuulinen ja runsas vesi- ja tuulivoiman tarjonta yhdistettynä matalaan kulutukseen vähensi polttolaitosten tarvetta ja pörssisähkön ominaispäästökerroin jäi tämän vuoksi poikkeuksellisen matalaksi. Vertailujakson korkein kerroin taas oli vuonna 2013 eli vertailujakson alussa. Kerroin on trendinomaisesti laskussa uusiutuvien energianlähteiden ja ydinvoimatuotannon kasvusta johtuen. Vuonna 2019 ja siitä eteenpäin nähtävä siirtymä base-skenaariolta alaspäin taas havainnollistaa pörssisähkön ominaispäästökertoimen laskemista päästöoikeuden (ja samalla sähkön) hinnan noustessa. Sähkönhintaa nousee kuitenkin reilusti, jos CPLC 58-93 €/CO₂t skenaarioon päädyttäisiin, vaikka yhden euron päästöoikeuden nousu vaikuttaisikin vain 0,2-0,3 €/MWh eli vuonna 2033 98 €/CO₂t päästöoikeuden hinnan vaikutus sähkönhintaan olisi +25 €/MWh nostava.

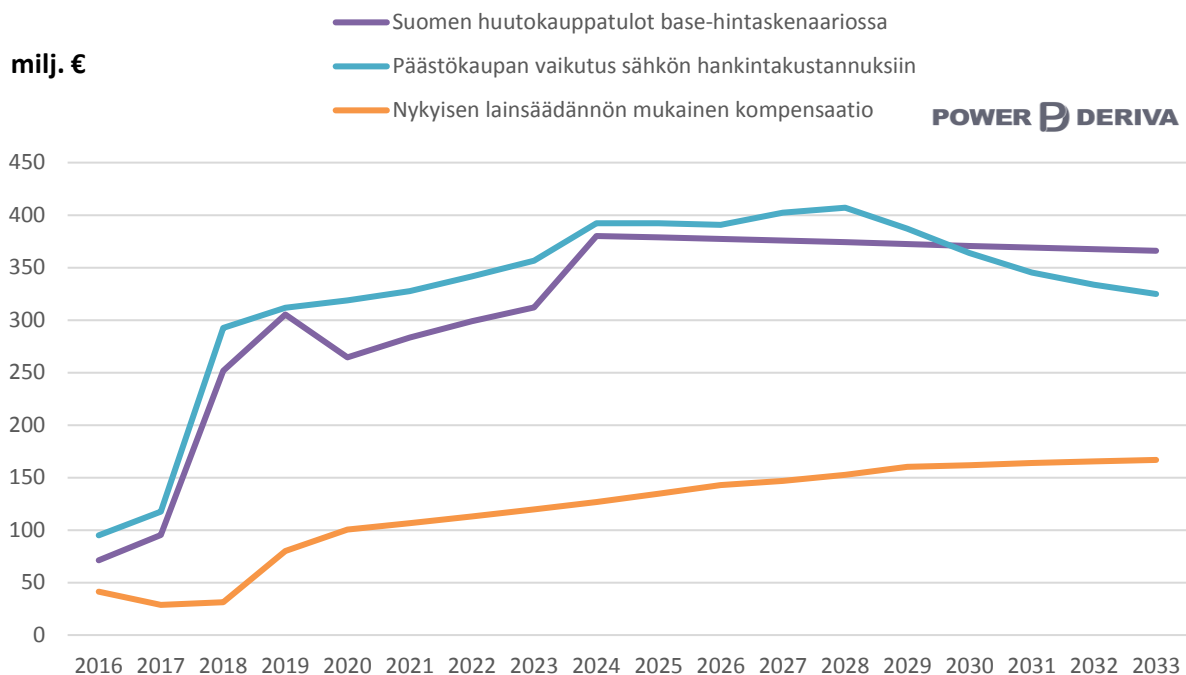
7 PÄÄSTÖKAUPAN VAIKUTUS JA KOMPENSAATION TARVE

Päästökauppa nostaa sähkön hintaa ja aiheuttaa sitä kautta kustannuksia sähkönkäyttäjälle. Päästöoikeuden hinnan aiheuttama muuttuva tuotantokustannuslisä voidaan helposti viedä sähkön spot-tarjouksiin. Tästä seuraa tuotantojärjestelmän optimoituminen vähäpäästöisempään suuntaan mutta samalla kustannusvaikutus siirtyy sähkön käyttäjälle. Päästöoikeuden hinnan noustessa vähäpäästöisemmän tuotannon kilpailukyky kasvaa ja samalla ajomäärä lisääntyy, jolloin koko järjestelmän kokonaispäästöt pienenevät. Samalla kustannusvaikutus sähkön käyttäjälle kasvaa.

Luvussa 3 tarkasteltiin Suomen valtion päästöoikeuksien huutokauppaamisesta saamia tuloja vuosina 2013-2033. Luvussa 6 taas tarkasteltiin, kuinka päästöoikeuden hinta vaikuttaa sähkön hintaan. Tutkitaan seuraavaksi, kuinka nämä summat vertautuvat Suomessa energiantensiiviselle teollisuudelle maksettavaan kompensatiotukeen, jolla pyritään korvaamaan päästökaupan teollisuudelle aiheuttamaa sähkönhankinnan lisäkustannusta.

Tarkastelussa on käytetty base-skenaarion päästöoikeuden hintaa, joka nousee vuoden 2019 20 €/tCO₂ tasosta 33,5 €/tCO₂:iin vuoteen 2033 mennessä. Tarkastelussa on verrattu Suomen tällä hintaskenaariolla saamia huutokauppatuloja, päästöoikeuden aiheuttamaa nousua energiantensiivisen teollisuuden sähkönhankintakustannuksiin sekä nykyisin voimassa olevan lain päästökaupasta johtuvien epäsuorien kustannusten kompensoimisesta määrittelemää tukitasoa. Laki on voimassa vuoteen 2020 saakka, ja tässä on tutkittu tuen vaikutuksia siinä tapauksessa, että lakia jatketaan siitä eteenpäin samoilla ehdoilla kuin vuonna 2020. Tukitaso perustuu tuki-intensiteettiin, sähkölle määritettyyn hiilidioksidin päästökertoimeen sekä edellisen EU:n päästöoikeuksien termiinihintoihin edellisen vuoden aikana. Tuki-intensiteetti oli vuosina 2016-2018 arvoltaan 0,4, ja vuodesta 2019 eteenpäin sen on oletettu olevan 0,375. Päästökertoimen arvo on 0,67 tCO₂/MWh. Lisäksi tuessa on huomioitu sähkönkulutuksen tehokkuuden vertailuarvo 0,8.

Energiaintensiivisen teollisuuden vuosittaiseksi sähkönhankinnaksi on tässä asetettu 25 TWh, joka on lähes sama taso kuin PTT:n vuonna 2015 julkaisemassa tutkimuksessaan arvioima vuosien 2007-2011 keskimääräinen kompensatioon oikeutetun teollisuuden sähkönkulutus 25,32 TWh. Perusskenaariossamme arvioimme Suomen sähkön hinnaksi vuonna 2019 46,05 €/MWh, joten 25 TWh sähköenergiankulutuksella tämän sähköenergian hinnaksi tulisi noin 1,15 mrd. €. Seuraavassa kuvassa on esitetty huutokauppatulojen, päästökaupasta energiantensiiviselle teollisuudelle aiheutuvien sähkön hankintakustannusten ja kompensatiotason odotettu kehitys.



Kuva 26. Suomen päästöoikeushuutokauppatulojen, päästökaupasta energiantensiiviselle teollisuudelle aiheutuvien sähkön hankintakustannusten ja päästökauppakompensaation maksimitason odotettu kehitys.

Kuvasta havaitaan, että energiantensiiviselle teollisuudelle päästöoikeuden hinnasta koituva sähkönhankintakustannuksen nousu on samaa suuruusluokkaa valtion päästöoikeushuutokauppatulojen kanssa. Päästökauppa nostaa energiantensiivisen teollisuuden sähkönhankintakustannusta vuosittain 300-400 milj. € vuosina 2019-2033. Nykyisellä lainsäädännöllä kustannusten nousua korvaavan kompensaation maksimitaso nousisi samana ajanjaksona noin 80 milj. € tasosta 160 milj. € tasolle.

Kompensaatiomalli käytännössä

Yhtenäinen päästökauppajärjestelmä tuo suomalaiselle sähkönkäyttäjälle suoran kustannusvaikutuksen. Energiateollisuuden mukaan teollisuuden sähköenergian käyttö vuonna 2018 oli noin 41 TWh, mikä taulukon 5 mukaan base-skenaariolla tarkoittaisi 511 miljoonan euron lisäkustannusta sähkön hinnassa vuonna 2019 kulutuksen toteutuessa samalle tasolle. Tästä noin 300 miljoonaa euroa lankeaisi energiaintensiiviselle teollisuudelle. Yhtenäinen sähkö- ja päästökauppajärjestelmä tarkoittaa kuitenkin samalla, että kustannusvaikutus on sitä suurempi mitä enemmän maan tuotantorakenne nojaa fossiilisiin polttoaineisiin. Suomi on tässä suhteessa paremmassa tilanteessa moniin kilpailijamaihin verrattuna. Samalla kuitenkin alueiden keskinäisestä markkinakytkennästä seuraa myös, että kaikki tarjousalueet vaikuttavat markkinamekanismilla toinen toisiinsa. Tästä syystä vaikutukselta on liki mahdotonta kokonaan välttyä, vaikka itse tarjousalue olisi kokonaan fossiilisesta polttoaineesta vapaa.

Kilpailuetua saadaan sellaisiin maihin nähden, joissa päästöoikeuden hinta nostaa maan sähkön pörssihintaa enemmän kuin sähkön pörssihinta nousee Suomessa. Vastaavasti niihin maihin nähden, joissa päästökauppa nostaa pörssisähkön hintaa vähemmän kuin Suomessa, kohdistuu päästökaupasta kilpailukykyhaitta. Mahdollisen sähkön hinnan noususta johtuvan kompensaation tulisi sen vuoksi olla aina pienempi tai korkeintaan yhtä suuri kuin päästöoikeuden pörssisähkön hintaa nostava vaikutus. Jotta kompensaatiomalli toimisi mahdollisimman tehokkaasti tuli huomioida muuttunut tilanne teollisuuden kannalta mahdollisimman nopeasti. EU:n valtioneuvoston päätös tulisi päivittää alueellisten kertomien osalta tarvittaessa useammin vastaamaan muuttunutta markkinaympäristöä ja todellisuutta.

EU:n valtioneuvoston päätös mahdollistaa päästökaupan aiheuttamien epäsuorien kustannusten hyvittämisen hiilivuotoriskin alaiselle teollisuudelle. Hiilidioksidipäästöjen vaikutus sähkön hintaan on määritelty kullekin EU-maalle, ja lainsäädännön mahdollistama maksimikompensaatiotasoa on korkein niissä maissa, joissa myös päästökerroin on korkein. Tämän myötä odotetusta tulevaisuudessa tapahtuvasta päästöoikeuden hinnan noususta aiheutuvasta sähkön hinnan noususta myös teollisuus saa eniten kompensaatiota niissä maissa, joissa ominaispäästöt ovat suurimmat. Tästä syystä Suomen kompensaatiolle on perusteet.

8 YHTEENVETO

Päästöoikeuden hinta nousi 2018 aikana n. 5-7 €/tCO₂ tasolta yli 20-25 €/tCO₂ tasolle johtuen suurimmaksi osin Euroopan politikkojen halusta vähentää kivi- ja ruskohiilen käyttöä Euroopan sähköntuotannossa ja samalla parantaa vähempipäästöisten kaasuvoimalaitosten kannattavuutta. Euroopan sähkön hinnat nousivat tästä johtuen n. 25-30 €/MWh tasoilta 40-45 €/MWh tasolle normaaliin sähkön suhteutettuna.

Sähkömarkkinoilla on tällä hetkellä menossa merkittävä murros tuuli- ja aurinkovoiman omakustanteisen hinnan laskettua 50-70 % viimeisen 7-10 vuoden aikana. Maatuulivoimaprojektien tarve investointituille on joissain tapauksissa pudonnut jo nollaan. Myös aurinkovoiman kustannukset ovat laskeneet ja kuluttajan maksaman sähkön hinnan jatkaessa pienessä nousussa on pienaurinkovoima saanut Euroopassa erittäin paljon suositota osakseen. Uskomme uusiutuvan sähköntuotannon jatkavan kasvussa seuraavan 10 vuoden aikana ja vähentävän päästöoikeuksien tarvetta sähköntuotantosektorilla.

Tarkastelussamme havaittiin, että nykyisellä noin 20 €/tCO₂ päästöoikeuden hintatasolla 1 €/tCO₂ muutos päästöoikeuden hinnassa aiheuttaa tällä hetkellä noin 0,6 €/MWh muutoksen Suomen aluehintaan. Päästöoikeuden hinnan noustessa korkeammaksi päästöjä tuottavien voimalaitosten ajojärjestys muuttuu. Paljon päästöjä tuottavien kivi- ja ruskohiilivoimalaitosten sähköntuotantokustannukset nousevat voimakkaammin kuin vähemmän päästöjä tuottavien maakaasuvoimalaitosten, mistä syystä korkeilla päästöoikeuden hinnoilla 1 €/tCO₂ muutos päästöoikeuden hinnassa ei aiheuta yhtä suurta muutosta sähkön hintaan. Arvioimme, että noin 60 €/tCO₂ päästöoikeuden hinnalla vaikutus olisi noin 0,3 €/MWh.

Tarkastelimme sähköjärjestelmän kehitystä seuraavien 15 vuoden aikana ja havaitsimme, että uusiutuvan energiantuotannon ja ydinvoimatuotannon kasvun ansiosta päästöoikeuden vaikutus sähkön hintaan pienenee, koska ne korvaavat päästöoikeuksia ostavia voimalaitoksia. Arvioimme perusskenaariossamme päästöoikeuden hinnan nousevan vuoteen 2033 mennessä noin 34 €/tCO₂ tasolle, jolloin 1 €/tCO₂ muutos päästöoikeuden hinnassa aiheuttaa noin 0,4 €/MWh muutoksen Suomen aluehintaan. Korkeimmassa päästöoikeuden hintaskenaariossamme päästöoikeuden hinta olisi vuonna 2033 93 €/tCO₂ ja tuolloin 1 €/tCO₂ muutos päästöoikeuden hinnassa aiheuttaisi noin 0,2 €/MWh muutoksen Suomen aluehintaan.

Laskimme myös teollisuudelle kohdistuvan päästökaupasta aiheutuvan sähkön käytön lisäkustannuksen, joka oli perustapauksessa 511 miljoonaa euroa vuonna 2019. Päästöoikeuden hinnan oletettiin tuolloin olevan 20 €/tCO₂. Energiaintensiivinen teollisuus on nykyisellä lainsäädännöllä oikeutettu saamaan kompensaatiotukea hyvitykseksi päästökaupan aiheuttamasta sähkönhankintakustannusten noususta. Tuen maksimitaso jää nykylainsäädännöllä kuitenkin pienemmäksi kuin päästökaupan energiaintensiiviselle teollisuudelle aiheuttama kustannus. Arvioimme päästökaupan aiheuttavan tälle

teollisuudelle tänä vuonna noin 300 miljoonan euron nousun sähkön hankintakustannuksiin, kun taas kompensatiotuki voisi nykylainsäädännön mukaan korvata korkeintaan noin 80 miljoonaa euroa. Arvioimme myös Suomen päästöoikeuksien huutokaupasta saamien tulojen olevan noin 300 miljoonaa euroa kuvan 26 mukaisesti.

Tämä dokumentti kuvaa Power-Deriva Oy:n (jäljempänä PD) tämän hetkistä näkemystä sähkömarkkinoiden tulevasta kehityksestä. Dokumentista saatava informaatio on tuotettu tiedonantotarkoituksessa useiden eri lähteiden perusteella. Siitä saatavaa informaatiota ei voida missään tilanteessa pitää osto- tai myyntikehotuksena, eikä pelkästään siitä saatavan informaation perusteella tule tehdä sijoituspäätöksiä. PD on pyrkinyt mahdollisimman huolellisesti varmistamaan, että dokumentissa esitettävä aineisto on totuudenmukaista ja oikein. PD ei kuitenkaan takaa tietojen oikeellisuutta eikä vastaa esitetyn aineiston virheellisyydestä, puutteellisuudesta tai soveltumattomuudesta. Tässä dokumentissa esitetyn informaation omistusoikeus, tekijänoikeus ja muut soveltuvat immateriaalioikeudet kuuluvat PD:lle tai erikseen ilmoitetulle muulle taholle. Dokumentissa esitettävän sisällön tai osan julkaiseminen tai kaupallinen hyödyntäminen ilman oikeuksien omistajan erillistä lupaa on kielletty. PD sopii ostajan kanssa aina erikseen dokumentin levittämisestä kolmansille osapuolille. PD päivittää tämän raportin jokaisena kaupankäyntipäivänä. Huomioitava on, että raportilla esitettyjen tietojen perustana oleva informaatio voi muuttua oleellisesti nopeastikin. PD ei sitoudu ilmoittamaan tietojen mahdollisista muutoksista. PD:n toimintaa valvoo Finanssivalvonta.

Raportin tekijät: Ville Venäläinen, Jouni Mäenpää, Antti Martikainen