

Juhani Kotilainen

# PÄÄSTÖKAUPAN VAIKUTUS POHJOIS- MAISEEN SÄHKÖMARKKINAAN

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Yliopistonlehtori Henrik Tolvanen  
4/2022

# TIIVISTELMÄ

Juhani Kotilainen: Päästökaupan vaikutus Pohjoismaiseen sähkömarkkinaan  
The effects of EU ETS on Nordic electricity markets  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, ympäristö- ja energiatekniikka  
Huhtikuu 2022

---

Euroopan Unioni on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään vähintään 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä ja tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2050 mennessä. Ilmastotavoitteiden saavuttaminen ja käytännön päästövähennystoimien organisointi on valtava haaste, minkä vuoksi jäsenvaltioissa on käytössä lukuisia erilaisia poliittisia ohjauskeinoja. EU:n ilmastopoliittikan perustana toimii vuonna 2005 alkanut päästökauppajärjestelmä, jossa päästöille asetetaan ennalta kokonaismäärä, joka vähenee vuosittain. Päästökauppaan kuuluvat toimijat voivat joko ostaa päästölupia tai vähentää omia päästöjään. Päästökaupan tarkoitus on, että halutut päästövähennystoimenpiteet saavutettaisiin mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan, mitä vaikutuksia EU:n päästökaupalla on Pohjoismaiseen sähkömarkkinaan. Työn alussa esitellään päästökauppajärjestelmän toiminta, siihen kuuluvat toimijat sekä päästöoikeuden hintaan vaikuttavat tekijät. Tämän jälkeen siirrytään tarkastelemaan Pohjoismaista sähkömarkkinaa, sen tuotantorakennetta ja sähkön hintaan vaikuttavia tekijöitä ja reunaehtoja. Työ etenee tutkimaan, miten päästökauppa vaikuttaa eri tuotantomuotojen väliseen kilpailutilanteeseen sähkömarkkinoilla, sekä miten päästökauppa on vaikuttanut sähköntuotantorakenteeseen Pohjoismaissa. Lisäksi työssä tehdään yksityiskohtainen tilannekatsaus viime vuosien tapahtumiin päästö- sekä sähkömarkkinoilla.

Tutkimuksessa selvisi, että päästökaupalla on selkeä vaikutus Pohjoismaiseen sähkömarkkinaan, vaikka valtaosa tuotantorakenteesta on päästötöntä. Sähkön hinta muodostuu tuntikohtaisesti kalleimman käytetyn tuotantomuodon mukaan, joten päästöoikeuden hinta nostaa sähkön hintatasoa kokonaisuudessaan. Fossiilisen tuotannon tuotantokustannukset nousevat samassa suhteessa kuin sähkön hinta, kun taas päästöttömät tuotantomuodot saavat korkeamman tuoton ilman lisäkustannuksia. Tällä on ja on ollut selkeitä vaikutuksia tuotantorakenteeseen ja investointeihin, sillä päästökaupan ansiosta uusiutuvan energian sekä ydinvoiman kilpailutilanne on parantunut merkittävästi. On kuitenkin tärkeä muistaa, että päästökaupan lisäksi tuotantorakenteen kehitykseen vaikuttavat lukuisat muut ohjauskeinot sekä teknologinen kehitys.

Päästökaupan ongelmana oli erittäin matala hintataso läpi 2010-luvun, kunnes vuodesta 2018 eteenpäin päästömarkkinoiden hintataso on noussut moninkertaiseksi. Viime vuosien aikana sähkö- ja päästömarkkinat ovat olleet erittäin epävakaita, ja hintavaihtelut ovat olleet suuria. Tutkimus osoittaa, kuinka sähkön ja päästöoikeuden hintoihin vaikuttavat lukuisat markkinaehtoiset, poliittiset ja säätilaan vaikuttavat tekijät. Lopuksi työssä tarkastellaan EU:n energiapolitiikan ja päästökaupan tulevaisuutta Euroopan muuttuneessa turvallisuusympäristössä. Työn luonteen vuoksi etenkin ajankohtaisissa ja tulevaisuutta spekuloiduissa osioissa lähteenä on käytetty kansainvälisten uutistoimistojen artikkeleita.

Avainsanat: päästökauppa, sähkömarkkinat, energiapolitiikka, ilmastopoliitiikka

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. EUROOPAN UNION PÄÄSTÖKAUPPAJÄRJESTELMÄ .....	3
2.1 Päästökaupan toiminta.....	3
2.2 Päästöoikeuksien jako ja kaupankäynti .....	4
2.3 Päästöoikeuden hintaan vaikuttavat tekijät.....	5
3. SÄHKÖMARKKINAT POHJOISMAISSA.....	8
3.1 Sähköntuotantorakenne .....	8
3.2 Sähkönsiirtoyhteydet.....	10
3.3 Hinnanmuodostus sähkömarkkinoilla .....	11
3.4 Sähkön hintaan vaikuttavat tekijät .....	13
4. PÄÄSTÖKAUPAN VAIKUTUS POHJOISMAISILLA SÄHKÖMARKKINOILLA ....	15
4.1 Saastuttaja maksaa – vaikutukset kilpailutilanteeseen .....	15
4.2 Tuulivoima kasvattaa osuuttaan sähköntuotannossa .....	16
4.3 Epävakaat ajat sähkö- ja päästömarkkinoilla.....	18
5. ENERGIAPOLITIIKKA UUDESSA TURVALLISUUSYMPÄRISTÖSSÄ.....	21
5.1 Sodan alku järjestyttää päästömarkkinoita .....	21
5.2 Irti riippuvuudesta venäläiseen energiaan .....	22
5.3 Päästökaupan kehitystarpeet ja tulevaisuudennäkymät .....	24
6. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	26
LÄHDELUETTELO .....	28

# 1. JOHDANTO

Ilmastonmuutos on yksi suurimmista ihmiskuntaan sekä koko maapalloon kohdistuvista uhista. Tutkijat ovat pitkään varoittaneet, että ilmaston lämpeneminen tulisi rajoittaa 1,5 °C asteeseen, jotta muutoksiin voitaisi sopeutua ja pahimmilta seurauksilta vältyttäisiin. Tällä hetkellä tavoitteeseen ei olla pääsemässä, sillä vuoden 2021 lopulla ilmaston keskilämpötila oli noussut 1,18 °C esiteollisesta ajasta, ja 1,5 °C astetta tullaan tällä kehityskululla saavuttamaan jo 2030-luvun puolivälissä. [1] Päästöjen rajoittaminen on hankalaa, sillä ilmastonmuutos vaikuttaa globaalisti, joten yksittäisen toimijan päästöjen vaikutus kokonaisuuteen vaikuttaa mitättömältä. Päästöjen rajoittamisesta aiheutuva kustannus puolestaan tulee maksettavaksi yksittäiselle toimijalle. Tämän haasteen vuoksi Euroopan Unionissa on otettu käyttöön päästökauppajärjestelmä, jossa päästöille asetetaan hinta ja kokonaismäärä, joka vähenee vuosittain [2]. Ajatus on, että poliitikot päättävät päästövähennysten määrän, ja markkinat ohjaavat päästövähennykset toteutumaan mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Tämä kandidaatintyö tarkastelee Euroopan Unionin päästökauppajärjestelmää, ja sen vaikutuksia Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Pohjoismaiden ja Baltian valtioiden sähköverkot ovat yhdistetty toisiinsa muodostaen yhtenäisen alueellisen sähköenergiajärjestelmän. Sähköä kaupataan yhteisellä markkinapaikalla, joka mahdollistaa tehokkaan kaupankäynnin eri alueiden välillä. Yhteisten sähkömarkkinoiden hyötynä on matalat kokonaiskustannukset, korkea huoltovarmuusaste sekä hyvät mahdollisuudet sääriippuvaisen uusiutuvan energian lisäämiseen. Pohjoismainen sähkömarkkina onkin yksi maailman kustannustehokkaimmista ja puhtaimmista alueellisista sähkömarkkinoista. [3]

Tämän työn tutkimuskysymykset ovat

1. Miten Euroopan Unionin päästökauppa toimii ja mitkä tekijät ovat viime aikoina vaikuttaneet päästöoikeuden hintaan?
2. Miten Pohjoismainen sähkömarkkina toimii ja miten päästökauppa vaikuttaa sähkön hinnan muodostumiseen?
3. Mikä on päästökaupan rooli sähköntuotantokapasiteetin kehitykseen Pohjoismaissa?

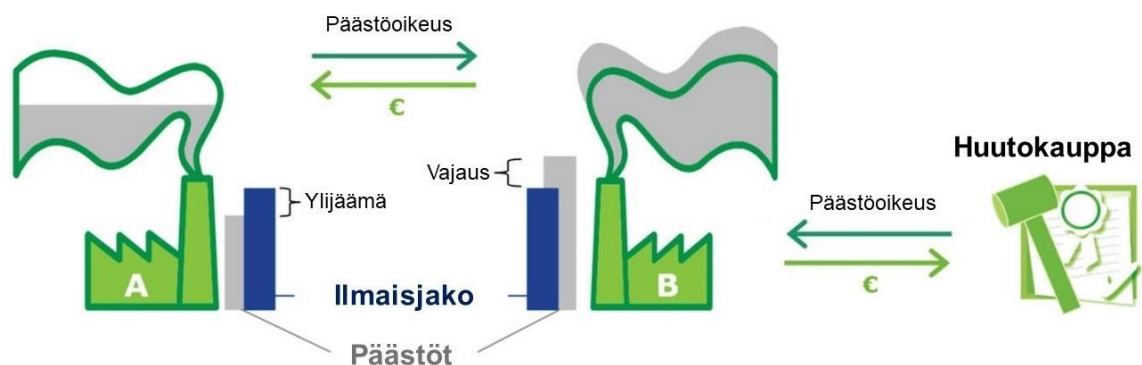
Työn alussa esitellään EU:n päästökauppajärjestelmän toiminta, ja mitkä tekijät vaikuttavat päästöoikeuden hintaan. Tämän jälkeen siirrytään tarkastelemaan Pohjoismaista sähkömarkkinaa, sen tuotantorakennetta sekä sähkön hinnan muodostumista. Työ etenee tutkimaan, miten päästökauppa vaikuttaa kilpailutilanteeseen sähkömarkkinoilla, sekä mitä vaikutuksia päästökaupalla on ollut sähköntuotantorakenteen kehitykseen. Tämän lisäksi tehdään tilannekatsaus päästöoikeuden ja sähkön hintojen viimevuosien nousuun. Lopuksi pohditaan, mitä vaikutuksia Venäjän hyökkäyksellä Ukrainaan on päästökaupan ja Pohjoismaisen sähkömarkkinan tulevaisuuteen. Aiheen ajankohtaisuuden vuoksi työ sisältää paljon spekulatiivista pohdintaa, ja lähteisiin on valikoitunut tieteellisiä julkaisuja sekä kansainvälisten uutistoimistojen artikkeleita.

## 2. EUROOPAN UNION PÄÄSTÖKAUPPAJÄRJESTELMÄ

EU:n ilmastopolitiikalla pyritään ohjaamaan alueen jäsenmaita toimimaan ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja siihen sopeutumiseksi. EU:n ilmastopolitiikka perustuu YK:n ilmastopöytäkirjaan sekä Pariisin ilmastopöytäkirjaan. Tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta sekä saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä. Ilmastopolitiikan toimeenpanon ytimessä ovat päästökauppa sekä päästökaupan ulkopuolisille taakanjakosektoreille asetetut kansalliset päästövähennystavoitteet. [4] Tässä osiossa selvitetään EU päästökauppaneukon toiminta, päästöoikeuksien kaupankäynti sekä päästöoikeuden hintaan vaikuttavat tekijät.

### 2.1 Päästökaupan toiminta

Päästökauppaneukon tavoitteena on saavuttaa halutut päästövähennykset mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla. Päästöjen rajoittamisen kustannukset ovat erisuuruisia eri kohteissa, mikä luo pohjan kaupankäynnille yleisen päästöverotuksen sijaan. Kuva 1 havainnollistaa, kuinka päästökaupassa yritykset, joilla ei ole riittävästi päästöoikeuksia, voivat joko vähentää omia päästöjään tai ostaa päästöoikeuksia muilta yrityksiltä, joilla on ylimääräisiä päästöoikeuksia tai joiden päästövähennystoimet ovat kustannustehokkaampia. [5] Päästöoikeuksien kaupankäynnissä sekä ostaja että myyjä saavat taloudellista hyötyä verrattuna tilanteeseen, jossa kaikille toimijoille asetettaisiin samansuuruiset päästövähennysvelvoitteet. Päästökaupan avulla yritykset voivat lisäksi hyötyä ylimääräisistä päästövähennyksistä taloudellisesti, kunhan päästöoikeuksista on niukkuutta ja hinta on korkeampi kuin toteutettavien päästövähennystoimenpiteiden.



Kuva 1: Päästökaupan toimintaperiaate, muokattu lähteestä [6].

EU:n päästökauppa on ensimmäinen ja suurin luokkaansa, ja se käsittää noin 10 000 laitosta, jotka vastaavat noin 40:tä % EU:n kasvihuonekaasupäästöistä. Siihen kuuluu sähkön ja lämmöntuotanto (yli 20 MW laitokset), energiaintensiivinen teollisuus, kuten öljynjalostus, metsä- ja metalliteollisuus, sekä kaupallinen lentoliikenne EU:n rajojen sisällä. [2] Tämä tarkoittaa, että tieliikenne, meriliikenne, rakennusten erillislämmitys sekä jätehuolto jäävät päästökaupan ulkopuolelle muodostaen taakanjakosektorin, jolle asetetaan kansalliset päästövähennystavoitteet [4]. Tämä johtuu siitä, että teollisuuden ja voimalaitosten kaltaisia päästölähteitä on helpompi valvoa kuin esimerkiksi tieliikennettä. Päästövähennystavoitteiden kiristymisestä johtuen vuonna 2021 EU:n 55-valmiuspaketin yhteydessä ehdotettiin meriliikenteen, tieliikenteen ja erillislämmityksen sisällyttämistä päästökauppaan [7].

Päästökauppajärjestelmä on organisoitu päästökauppakausien avulla, jotta järjestelmän toimintaan voitaisiin tehdä helpommin muutoksia saatujen kokemusten perusteella. Tämän seurauksena päästökaupan toiminta on muuttunut huomattavasti alkuajoista. Ensimmäinen päästökauppakausi toimi pilottikautena järjestelmän testaamiseksi, ja se alkoi vuonna 2005. Tällä hetkellä vuonna 2022 ollaan neljännellä päästökauppakaudella. [6, p. 4]

## 2.2 Päästöoikeuksien jako ja kaupankäynti

Päästöoikeuksien jakaminen toimii joko ilmaisjaon tai huutokaupan kautta. Ensimmäisellä ja toisella päästökauppakaudella suurin osa päästöoikeuksien jaosta tapahtui ilmaisjaon kautta, mutta kolmannella päästökauppakaudella huutokauppauksesta tuli vakiomenetelmä päästöoikeuksien jakoon. Kolmannella päästökauppakaudella päästöoikeuksista noin 57 % jaettiin huutokaupan kautta. Sähköntuotannossa kolmannesta päästökauppakaudesta lähtien kaikki päästöoikeudet on huutokaupattu. Päästöoikeuksien ilmaisjakoa tapahtuu pääosin raskaan teollisuuden sektoreilla, joissa on riskiä hiilivuodosta eli saastuttavan toiminnan siirtymistä EU:n ulkopuolelle. Pienkuluttajien sähkön- tuotannossa tästä ei ole riskiä, sillä sähköä tulee tuottaa kohtuullisen lähellä kulutusta. Teollisuuden sähkökäytössä riski hiilivuodosta on olemassa, mikäli sähköhinnat nousevat liikaa päästökaupan vuoksi. [6, pp. 24-26]

EU päästökauppa toimii ns. Cap and trade -periaatteella, jossa päästökauppaan kuuluville toimijoille asetetaan ennalta päästöoikeuksien kokonaismäärä, joka pienenee vuosittain. Tämä kokonaismäärä laskee vuosittain vähennyskertoimella, joka on vuodesta 2021 alkaen ollut 2,2 %. Vuoden lopuksi toimijalla tulee olla päästöjen määrää vastaava määrä päästöoikeuksia. Jos päästöoikeus puuttuu, toimijan tulee hankkia se ja maksaa

lisäksi sakko. Jos puolestaan päästöoikeuksia on liikaa, niitä voi myydä tai säästää tulevia päästöjä varten. [8]

Päästöoikeudet jaetaan valtioille perustuen niiden kasvihuonekaasupäästöjen osuuksiin ensimmäisellä päästökauppaudella, ja valtioiden on itse huolehdittava päästöoikeuksien jakamisesta yrityksille. Päästöoikeuksien yleisenä huutokaupapaikkana toimii European Energy Exchange (EEX), jossa päästöoikeuksia huutokaupataan 3 kertaa viikossa. Päästöoikeuden hinta huutokaupassa on siis päästöoikeuden senhetkinen markkinahinta. [9] [6]

### 2.3 Päästöoikeuden hintaan vaikuttavat tekijät

Tehokkailla markkinoilla hyödykkeen hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan. Päästömarkkina on kuitenkin erikoistapaus, jossa tarjonta on ennalta määritelty poliittisilla toimenpiteillä. Tämä tarkoittaa, että tarjonta ei sisällä hintajoustoa, eli mahdollisuutta kasvattaa tai pienentää tarjontaa reagoitina hinnanmuutoksiin. Kysyntä puolestaan toimii markkinaehtoisesti, ja siihen vaikuttaa päästöjen määrä sekä päästövähennysten hinta. Kysyntä voi vaihdella paljon ja siihen sisältyy lukuisia epävarmuuksia.

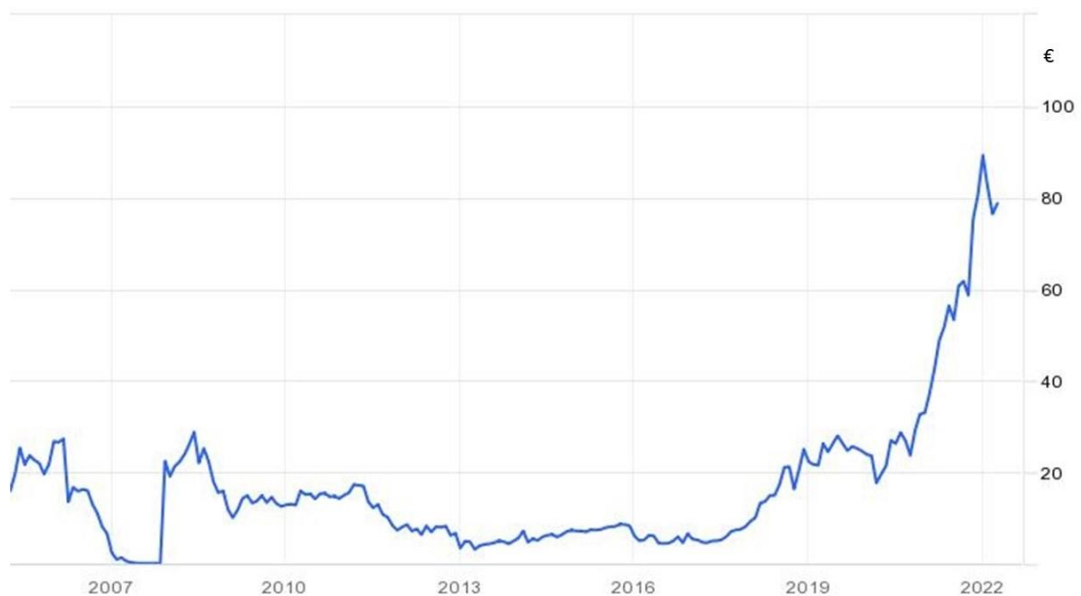
Yksi tärkeimmistä päästöoikeuksien hintaa määrittävistä tekijöistä on päästöjen määrä suhteessa päästöoikeuksien määrään. Pitkällä tähtäimellä päästöjen määrään vaikuttaa talouskasvu, energiatehokkuus ja talouden päästöintensivisyys. Mikäli päästöt ovat korkeat, päästöoikeuksista tulee ajan myötä niukkuutta ja niiden hinta nousee. Toisaalta, vaikka päästöt olisivat korkeat, jos päästöoikeuksia on tarjolla paljon, niiden hinta ei nouse. Sen vuoksi päästöjen määrää tulee verrata päästöoikeuksien määrään. Lyhyellä tähtäimellä päästöihin vaikuttaa mm. sää, mikä vaikuttaa uusiutuvan energian tuotantoon sekä lämmitystarpeeseen ja sitä kautta energian kysyntään. Kylmä sää ja kasvava lämmöntarve kasvattaa päästöoikeuksien kysyntää, kun taas tuulinen ja aurinkoinen sää kasvattavat uusiutuvan energian tuotantoa vähentäen päästöoikeuksien kysyntää. [10]

Toinen päästöjen kysyntää määrittävä tekijä on tarjolla olevat päästövähennystoimenpiteet ja niiden hinta, eli ns. päästöjen vähentämisen rajakustannus. Teoriassa päästöoikeuden hinnan tulisi vastata halvimman samansuuruisen päästövähennystoimen hintaa. Jos päästöoikeuden hinta on korkeampi kuin halvin päästövähennystoimenpide, voidaan päästöoikeuden hinnan olettaa laskevan. Mikäli päästöoikeuden hinta laskee alle halvimman päästövähennystoimen, päästökauppa menettää ohjaavan vaikutuksensa. Päästövähennystoimet toteutetaan järjestyksessä halvimmasta kalleimpaan, joten päästökaupan kehittyessä päästövähennyksien voidaan olettaa muuttuvan koko ajan hanka-



lammiksi ja kalliimmiksi. Päästövähennyksiä tehdään lyhyellä tähtämellä mm. investoimalla energiatehokkuuden parantamiseksi ja optimoimalla prosesseja, ja pitkällä tähtämellä vaihtamalla energianlähteitä fossiilisista polttoaineista kohti uusiutuvia energianlähteitä. [10]

Päästöoikeuksien tarjonta on pääosin ennalta määritetty, mutta vuonna 2019 päästökauppaan lisättiin markkinavakauseranto (Market Stability Reserve). Finanssikriisin jälkeen päästöt laskivat hetkellisesti odotettua nopeammin, mikä johti päästöoikeuksien pitkäkestoiseen ylitarjontaan. Markkinavakauseranto luotiin korjaamaan tämä, ja sen avulla voidaan tarvittaessa säädellä markkinoilla olevien päästöoikeuksien määrää. Mikäli kierrossa olevia päästöoikeuksia on liikaa, niitä lisätään varantoon, ja puolestaan jos päästöoikeuksia on liian vähän, niitä vapautetaan huutokaupattavaksi. Tämän mekanismin tarkoituksena on ylläpitää vakaata päästöoikeuden hintaa, joka on riittävän korkea kannustaakseen päästövähennystoimenpiteisiin. [11]



Kuva 2: Päästöoikeuden hintakehitys 2005–2022 [12]

Kuva 2 näyttää päästöoikeuden hintakehityksen päästökaupan alusta nykyhetkeen asti. Ensimmäisellä päästökaupakaudella päästöoikeuden hinta oli noin 20 €, kunnes kävi selväksi, että päästöoikeuksia oli laitettu kiertoon aivan liikaa niiden tarpeeseen nähden. Samoihin aikoihin alkoi finanssikriisi, mikä laski päästöoikeuksien kysyntää merkittävästi [11]. Näiden kahden tekijän yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinta oli lähes 0 € vuosien 2007 ja 2008 vaihteessa. Finanssikriisin aiheuttaman taantumun pitkittyessä Euroopassa päästöoikeuksien kysyntä jatkui oletettua pienempänä, minkä vuoksi päästöoikeuden hinta asettui vain n.5–15 € tasoon. Kolmannen päästökaupakauden lopulla vuonna

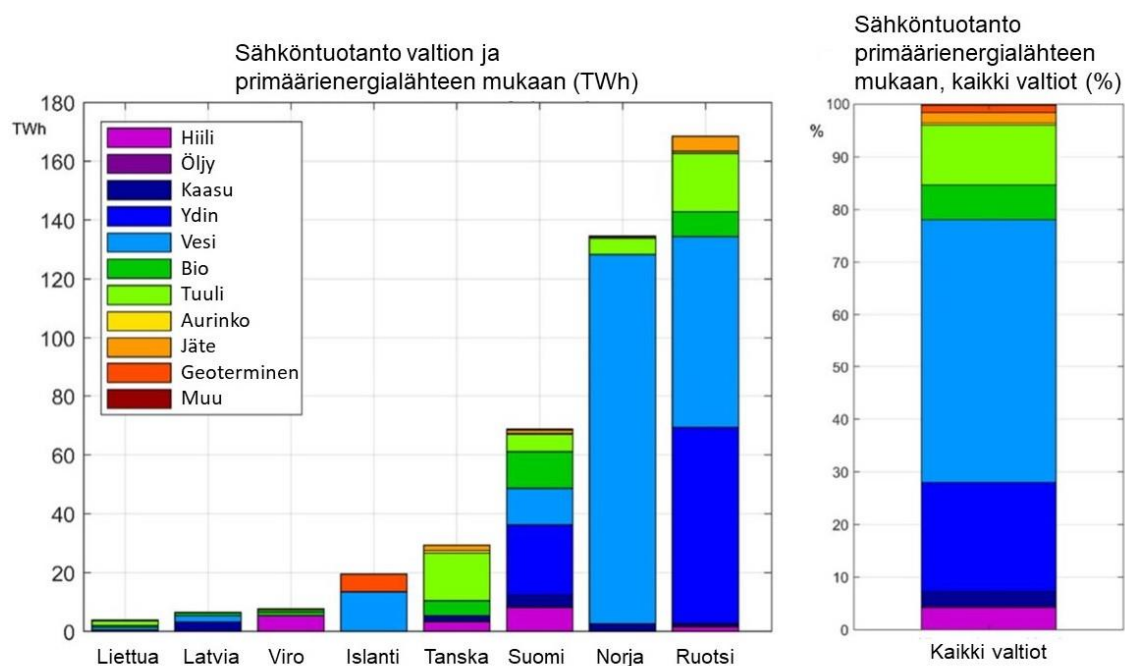
2018 päästöoikeuden hinta lähti nousuun, kun päästövähennystavoitteita kiristettiin neljännelle päästökauppakaudelle. Hinnannousu johtui siitä, että päästöoikeuksia päätettiin alkaa vähentämään nopeammalla tahdilla, ja markkinavakausvaranto lisättiin päästökauppaan [2]. Vuoden 2021 aikana päästöoikeuden hinta nousi ennennäkemättömän korkealle, ja tämän radikaalin hintamuutoksen syitä käsitellään tarkemmin myöhemmin.

### 3. SÄHKÖMARKKINAT POHJOISMAISSA

Pohjoismainen sähkömarkkina on yksi maailman parhaiten toimivista alueellisesti yhdyntyneistä sähkömarkkinoista. Valtioiden välillä on lukuisia siirtoyhteyksiä ja yhteinen markkinapaikka mahdollistaa tehokkaan kaupankäynnin eri markkina-alueiden välillä. Alueellinen yhteistyö kasvattaa sähkön huoltovarmuutta, laskee järjestelmän kokonaiskustannuksia sekä helpottaa uusiutuvan energian kapasiteetin lisäämistä. [3] Tässä osiossa selvitetään pohjoismaisen sähköenergiajärjestelmän toiminta teknisellä tasolla, sekä sähkön hinnan muodostuminen ja siihen vaikuttavat tekijät.

#### 3.1 Sähköntuotantorakenne

Pohjoismaissa on käytössä monta erilaista sähköntuotantoteknologiaa, ja eri maiden portfoliot vaihtelevat toisistaan hyvin paljon. Kuva 3 näyttää eri maiden sähköntuotantorakenteen, sekä eri tuotantomuotojen suhteelliset osuudet alueen kokonaistuotannosta.



Kuva 3: Sähköntuotanto Pohjoismaissa ja Baltiassa vuonna 2019, muokattu lähteestä [13]

Kuten kuvasta 3 nähdään, sähköntuotannosta n. 90 % on päästötöntä, mikä on kansainvälisessä tarkastelussa erittäin suuri osuus. Merkittävin yksittäinen resurssi on vesivoima, joka kattaa vuodesta riippuen n. 50 % sähkönkulutuksesta. Näin suuri määrä vesivoimaa on kansainvälisesti vertailtuna hyvin poikkeuksellinen, minkä vuoksi vesivoima

ja sen saatavuus onkin yksi merkittävimmistä Pohjoismaisen sähköjärjestelmän tilaa kuvaavista muuttujista [14]. Suurin osa Pohjoismaiden vesivoimavarannoista sijaitsevat Norjassa, jossa lähes kaikki sähkö tuotetaan vesivoimalla. Mittavia vesivoimavarantoja sijaitsee myös Pohjois-Ruotsissa.

Toiseksi suurin tuotantomuoto Pohjoismaissa on ydinvoima, jonka osuus on n. 20 % alueen sähköntuotannosta. Pohjoismaissa ydinvoimaa sijaitsee ainoastaan Ruotsissa ja Suomessa, ja etenkin Ruotsissa ydinvoima on ollut hyvin kiistelty sähköntuotantomuoto. Ruotsissa ydinvoiman käytön lopettamisesta on kerran tehty päätös, joka kuitenkin pian kumottiin. Seurauksena neljä ydinreaktoria suljettiin ennen aikaisesti, mutta ydinvoiman käytön on tarkoitus jatkua ainakin 2040-luvulle saakka. Suomessa puolestaan Olkiluoto 3 on pitkän odotuksen jälkeen valmistunut vuoden 2022 alkupuolella. [15]

Viime vuosina sääriippuvainen sähköntuotanto on kasvattanut merkittävästi osuuttaan maailmalla, eikä Pohjoismaat ole siinä poikkeus. Tuulivoiman osuus on kasvanut moninkertaisesti, ja se on nykyään n.10–15 % alueen tuotannosta riippuen sääolosuhteista. Tanskassa kehitys on ollut vahvinta, ja siellä tuulivoiman osuus on n.50 % kaikesta sähköntuotannosta. Tuulivoimalla on katettu sähkönkäytön kasvua sekä paikattu käytöstä poistettua fossiilista kapasiteettia, ja lähitulevaisuudessa tuulivoima on eniten kasvava sähköntuotantomuoto Pohjoismaissa. [3, pp. 27-30]

Bioenergiaa käytetään Pohjoismaissa pääosin yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa (CHP) sekä metsäteollisuuden omakäytössä. Bioenergialla tuotetun sähkön osuus on suurin Suomessa, johtuen metsäteollisuudesta ja omien vesivoimavarantojen puutteesta. [16] Bioenergialla tarkoitetaan pääosin puun energiakäyttöä, mikä luokitellaan kestäväksi, jos kyseessä on jonkin sivuvirran tai muuten hukkaan menevän puun käyttö. Kapasiteetin kasvattaminen on kiistelty aihe, sillä kestäviä sivuvirtoja ei riitä loputtomiin, ja seurauksena voisi olla metsien hiilinielun väheneminen.

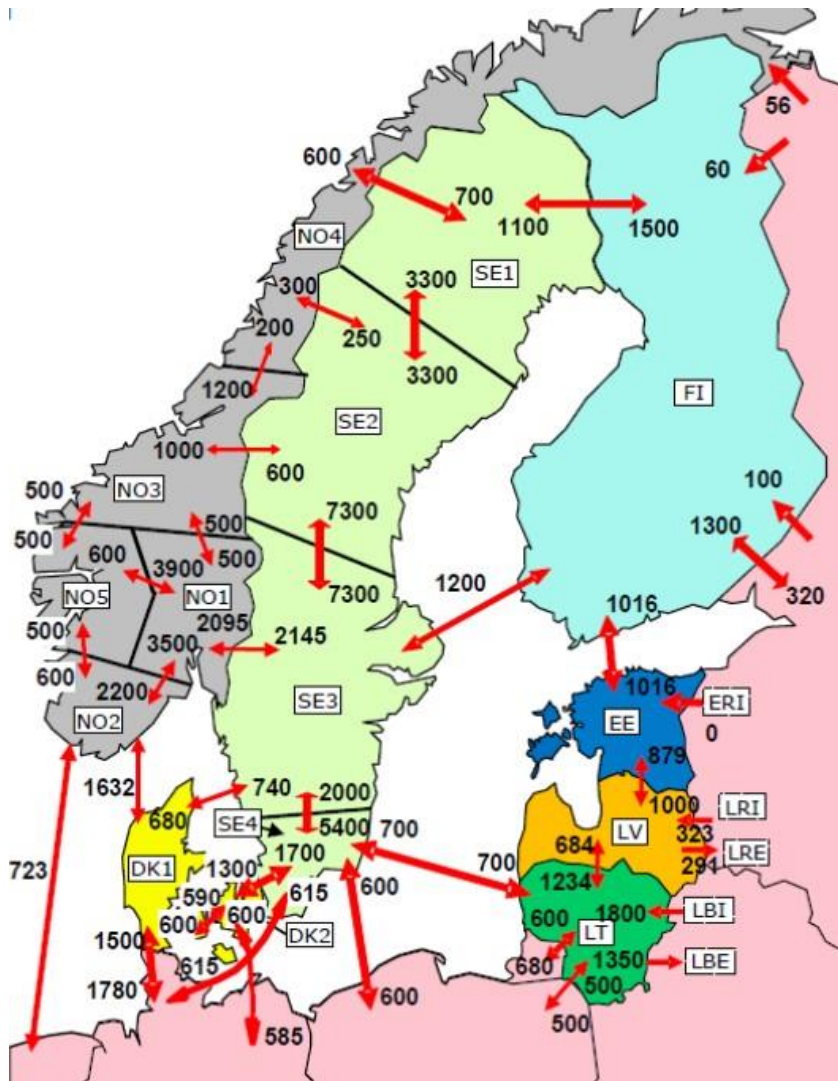
Fossiilisia polttoaineita on vielä käytössä alueen sähköntuotannossa, mutta niiden osuus on vähentynyt viime vuosien aikana erittäin merkittävästi. Hiilivoimasta on pyritty luopumaan nopeimmin, mistä osoituksena on alueen valtioiden tekemät periaatepäätökset hiilivoiman käytön lopettamisesta 2020-luvun aikana. [17] Palavalla kivellä on merkittävä osuus Virossa, ja hiilivoimakapasiteettiä löytyy vielä Tanskasta ja Suomesta, joissa hiiltä on käytetty CHP-laitoksissa. Hiilen käyttö suurkaupunkien lämmityksessä, ja sen korvaamisen hankaluus on pääsyy siihen, että hiilellä tehdään edelleen sähköä esimerkiksi Helsingissä.

### 3.2 Sähkönsiirtoyhteydet

Pohjoismaisen sähkömarkkinan yhdentymisen edellytyksenä on ollut vahvan alueellisen sähköverkon rakentaminen. Sähköntuotanto, etenkin vesivoima, sijaitsee paikoin kaukana asutuskeskuksista ja sähkön kulutuksesta, minkä vuoksi sähköä täytyy välillä siirtää hyvinkin pitkiä matkoja. Tämän vuoksi Pohjoismaisten valtioiden sähköverkot on yhdistetty lukuisilla valtioidenvälisillä siirtolinjoilla. Lisäksi sääriippuvaisen tuotannon osuuden lisääntyessä siirtoyhteyksiä tulee olla riittävästi, jotta sähköä voidaan siirtää alueiden ja valtioiden välillä riippuen siitä, missä tuotanto ja kulutus hetkellisesti sijaitsevat. Siirtoyhteyksien toimivuus ja riittävyys onkin yksi suurimmista haasteista siirryttäessä uusiutuvaan energiaan perustuvaan sähköntuotantoon. [18]

Kuva 4 esittää Pohjoismaisen sähköjärjestelmän siirtokapasiteetit valtioiden ja alueiden välillä. Kulutuksen ja tuotannon sijaintien erosta johtuen sähköä siirtyy Norjan ja Ruotsin pohjoisosista kohti eteläosia ja Suomea. Suomeen tulee Norjan ja Ruotsin lisäksi sähköä Venäjältä, mikä on aiheuttanut huolta Venäjän hyökättyä Ukrainaan. Olkiluoto 3:n valmistuttua tuontisähkön osuutta pyritään vähentämään ja oletettavasti nimenomaan Venäjän tuontia [19]. Siirtolinjat eivät rajoitu ainoastaan Pohjoismaisen sähkömarkkinaan, vaan sähköä siirtyy huomattavasti myös Puolaan, Saksaan ja Iso-Britanniaan. Pohjoismaisen sähköjärjestelmän siirtoyhteydet muuhun Eurooppaan kasvavat nopeaa tahtia, ja lukuisia uusia siirtoyhteyksiä on suunnittelu- sekä rakennusvaiheessa [20].

Yhteistyö Pohjoismaiden ja Euroopan kantaverkkoyhtiöiden välillä on välttämätöntä, jotta sähköjärjestelmä toimisi tehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Toistaiseksi sähkön siirtäminen paikasta toiseen on kannattavampi ratkaisu ylijäämälle kuin varastointi, joten tuulivoiman ja muun sääriippuvaisen tuotannon määrän kasvaessa myös siirtokapasiteettien tulee kasvaa. Sähkönsiirtojärjestelmän tulee tulevaisuudessa toimia markkinataloudellisesti tehokkaalla tavalla, mahdollistaa vaihtelevan uusiutuvan energian kapasiteetin lisäystä, pitää järjestelmän kulutus ja tuotanto tasapainossa sekä Pohjoismaissa, että muualla Euroopassa, ja turvata huoltovarmuus ja sähkön riittävyys. [20] Tämä tarkoittaa, että sähkönsiirrolla on tulevaisuuden sähköjärjestelmässä entistä moniulotteisempi ja tärkeämpi rooli kuin aiemmin, ja siihen täytyy kiinnittää huomiota ja resursseja vastaavalla tavalla kuin sähköntuotantokapasiteettiin. Siirtoyhteyksien suunnittelussa hankaluutta tuottaa kasvava epävarmuus sähköjärjestelmän tulevaisuuden kehityskulusta ja tarpeista.



Kuva 4: Valtioiden ja alueiden väliset sähkönsiirtolinjat ja niiden maksimikapasiteetit [21]

### 3.3 Hinnanmuodostus sähkömarkkinoilla

Sähkön hinta suomalaisille kotitalouksille muodostuu sähköenergiasta, sähkönsiirrosta, sekä veroista. Sähköenergian osuus sähkön kokonaishinnasta on noin kolmasosa, ja ainoastaan sen voi kilpailuttaa. Sähkönsiirto toimii paikallisena monopolina, eikä asiakas voi vaikuttaa sen suuruuteen. Sähkönsiirron hinnoittelua valvotaan, ja sen suuruuteen vaikuttaa ensisijaisesti sähköverkon kustannukset. Sähkövero on jaettu kahteen veroluokkaan, korkeampaan pienasiakkaiden veroluokkaan ja matalampaan teollisuuden ve-

roluokkaan. [22] [23] Sähkömarkkinoilla käydään kauppaa nimenomaan sähköenergiasta, ja seuraavissa kappaleissa käsitellyt asiat vaikuttavat sähköenergian osuuteen sähkön kokonaishinnasta.

Sähkö eroaa muista energiamuodoista, sillä sitä on hankala varastoida, minkä vuoksi sähköä tulee kuluttaa joka hetki saman verran kuin sitä tuotetaan. Sähkön kysyntä ja tuotanto vaihtelevat mm. vuodenajan, vuorokaudenajan ja säätilan mukaan, mikä hankaloittaa tasapainon ylläpitoa. Sähkömarkkinat on luotu sillä ajatuksella, että niiden ensisijainen tavoite on löytää jatkuva tasapaino kysynnän ja tarjonnan välille mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla. [24] Sähkönmyynti oli aiemmin monopolistista toimintaa, jossa tietyllä alueella toimi vain yksi sähköntuottaja. Sähkömarkkinat kuitenkin vapautuivat kilpailulle pohjoismaissa 1990-aikana, mikä antoi kuluttajille vapauden päättää mistä ostaa sähkönsä. Sähkömarkkinoiden vapauttaminen loi pohjan yhteiselle pohjoismaiselle sähkömarkkinalle ja sähköpörssille. [25]

Sähkön ominaisuuksista johtuen sähköstä käydään kauppaa monella eri tavalla ja aikahorisontilla. Pitkällä tähtäimellä sähköstä käydään kauppaa johdannaistuotteilla Nasdaq OMX -pörssissä, missä aikahorisonttina on kuukaudet ja vuodet. Johdannaismarkkinoiden tarkoituksen on hallita sähkönmyyjien riskejä, ja niiden avulla pyritään lukitsemaan suurin osa sähkönmyynnistä tietylle hintatasolle, mutta johdannaistuotteet eivät kuitenkaan sisällä fyysistä sähköntoimitusta. Varsinaiset sähkökaupat tehdään sähköpörssissä, jossa aikahorisonttina on kyseisen ja seuraavan päivän tunnit. Järjestelmän jatkuvaa tasapainoa puolestaan ylläpidetään reservi- säätö-, ja tasesähkömarkkinoilla, joiden tarkoitus on tehdä hienosäätöä ja ylläpitää sähköjärjestelmän tasapainoa. [26] [27]

Pohjoismaissa sähköpörssinä toimii Nord Poolin markkinapaikka. Nord Pool tarjoaa seuraavan päivän tuntien **spot-markkinan** (Elspot), sekä päivänsisäisen tuntikohtaisen intraday-markkinan (Elbas). Koko järjestelmän perusta on spot-markkina, jonka kautta suurin osa kaupattavasta sähköstä kulkee. Spot-markkinalla tehdyt kaupat ovat kuitenkin arvioita seuraavan päivän tuotanto- ja kulutusmääristä, ja intraday-markkinan tarkoitus on mahdollistaa Spot-markkinalla tehtyjen virheiden korjaaminen. Spot-markkinalla kaupankäynti toteutetaan suljettuna huutokauppana, jossa toimijat tekevät osto- tai myyntitarjouksia jokaista seuraavan päivän tuntia kohden. Tuntitarjouksen tulee sisältää haluttu määrä sähköä (MWh) sekä hinta. Tulleista tarjouksista muodostetaan tuntikohtaiset kysyntä- ja tarjontakäyrät, joiden leikkauskohta on kyseisen tunnin **systemihinta** koko pohjoismaisella markkina-alueella. Tätä kutsutaan marginaalihinnoitteluksi, ja se tarkoittaa, että kaikki ostavat ja myyvät sähköä samalla hinnalla, riippumatta oman tarjouksen hintatasosta. [24]

Systeemihinta on referenssihintana, jossa yhteen käyrään on summattu koko alueen kysyntä ja toiseen käyrään koko alueen tarjonta. Hinnanmuodostus ei täten ota kantaa kysynnän ja tarjonnan sijaintiin, vaikka todellisuudessa siirtokapasiteetit vaikuttavat kysyntä- ja tarjontakäyriin merkittävästi. Jos tietyllä alueella on tarjolla paljon halpaa sähköä, sitä pyritään siirtämään viereisille alueille, missä kysyntä ja hinta on korkealla. Usein siirtokapasiteetti ei kuitenkaan riitä siirtämään kaikkea mahdollista sähköä alueiden välillä. Tästä johtuen Pohjoismaiden sähkömarkkina on jaettu tuotannon, kulutuksen ja siirtoyhteyksien perusteella alueisiin, joille lasketaan oma **aluehinta**. [28]

### 3.4 Sähkön hintaan vaikuttavat tekijät

Sähkötuotantomuodolla on merkittävä rooli sähkön hinnan muodostumisessa. Eri tuotantomuodoilla on erilaiset kustannusrakenteet, mikä vaikuttaa niiden rooliin sähköenergiajärjestelmässä. Perinteisesti tuotantomuodot on jaettu pohjakuormaan, eli jatkuvasti toimivaan tuotantoon ja huippukuormaan, eli kulutushuippuja kattavaan tuotantoon [29]. Kuva 5 havainnollistaa sähkön kysyntää ja tarjontaa, sekä tuotantokustannuksia tietyn tunnin aikana. Pohjakuorma pyritään kattamaan tuotannolla, jolla on suuri investointikustannus mutta pienet muuttuvat kustannukset, kuten vesivoima ja ydinvoima. Huippukuorma puolestaan katetaan tuotannolla, jolla on pieni investointikustannus mutta suuret muuttuvat kustannukset, kuten kaasuturbiinit.



Kuva 5: Sähkön kysyntä, tarjonta, sekä tuotantokustannukset, muokattu lähteestä [30]

Vesialtaiden täyttöaste on merkittävä sähkön hintaan vaikuttava tekijä Pohjoismaisella sähkömarkkinalla. Vesivoima on sääriippuvaista tuotantoa, jota on kuitenkin mahdollista säätää, eli vesivoiman tuottajat voivat itse päättää milloin he tuottavat sähköä ja milloin eivät. Vesialtaiden täyttöasteen ollessa korkea, vesivoiman tuottajien kannattaa tuottaa



sähköä hinnalla millä hyvänsä, sillä kapasiteettia riittää tulevaisuudessakin. Tämä johtaa siihen, että kalliimpia tuotantomuotoja käytetään vähemmän ja sähkön hinta pysyy matalana. Kun taas vesialtaiden täyttöaste on matala, vesivoiman tuottajien kannattaa valita tarkemmin, milloin he tuottavat sähköä saadakseen parhaimman katteen tuotannolleen. Seurauksena kalliimpia tuotantomuotoja joudutaan käyttämään useammin, mikä nostaa sähkön hintaa markkinoilla. [31, p. 3]

Lyhyellä aikajänteellä säätila vaikuttaa sähkön hintaan merkittävästi sekä tuotannon että kulutuksen puolella. Kulutuksen puolella lämpötila vaikuttaa sähkönkäyttöön siten, että kylmä lämpötila nostaa lämmitystarvetta ja kulutusta. Tästä johtuen sähkön kysyntä ja hinnat ovat matalia kesällä ja korkeita talvella. Monilla sähkömarkkinoilla tämä korrelaatio on päinvastainen, sillä kuuma lämpötila nostaa ilmastoinnin ja jäähdytyksen tarvetta, mutta sen vaikutus Pohjoismaissa ei ole yhtä suuri kuin muualla maailmassa.

Tuotantopuolella tuulivoima on sääriippuvaista tuotantoa, jota ei ole mahdollista säätää. Tämä tarkoittaa, että tuulivoiman tuotanto ei reagoi millään tavalla sähkön hintoihin tai kysynnän muutoksiin, vaan ainoastaan tuuliolosuhteisiin. Tuuliolosuhteet muuttuvat kaikilla aikaresoluutioilla vuodenajoista sekunteihin, mikä hankaloittaa tuotantoennusteiden tekemistä. Tuulivoiman osuuden merkittävä kasvu on johtanut tilanteisiin, joissa sähköstä on niin paljon ylitarjontaa, että sen hinta on laskenut negatiiviseksi spot-markkinalla. Toisaalta kylminä ja tyyninä päivinä sähkön hinta voi nousta hyvinkin korkeaksi, kun tuulivoimaa ei tule verkkoon lainkaan. Sähkön hinta on luonteeltaan hyvin vaihteleva, ja tuulivoiman nopeat tuotantovaihtelut lisäävät hintavaihteluita entisestään. Mikäli tuulivoimaa jatkossa lisätään tasaisesti eri sijainneissa, yksittäisen alueen tuuliolosuhteet eivät enää vaikuta yhtä merkittävästi tuulivoimatuotantoon kokonaisuudessa. [32, pp. 1-2]

Polttoaineiden ja päästöoikeuden hinnat vaikuttavat Pohjoismaisella sähkömarkkinalla, vaikka niitä käyttävien tuotantomuotojen osuus alueella on pieni. Sähkön hinta muodostuu kalleimman käytetyn tuotantomuodon mukaan, joten jos käytössä on edes yksi kaasuturbiini, kaikki saavat korkeamman hinnan. Siirtokapasiteetin rajallisuudesta johtuen on yleistä, että Norjassa ja Ruotsissa aluehinta jää matalaksi, mutta Suomessa ja Virossa joudutaan käyttämään kalliita tuotantomuotoja. Korkeat polttoaine- ja päästöoikeushinnat kasvattavat tuotantomuotojen hintaeroa, ja sitä kautta mahdollisia aluehintaeroja. Pohjoismainen sähkömarkkina on lisäksi yhteydessä muuhun Eurooppaan lukuisilla siirtoyhteyksillä, joten Keski-Euroopan hintataso heijastuu myös hintatasoon Pohjoismaissa [33]

## 4. PÄÄSTÖKAUPAN VAIKUTUS POHJOISMAISILLA SÄHKÖMARKKINOILLA

Tässä osiossa selvitetään, miten päästökauppa vaikuttaa Pohjoismaisiin sähkömarkkinoihin. Ensin selvitetään, miten päästökauppa vaikuttaa fossiilisen sähköntuottajien tuotantokustannuksiin. Tämän jälkeen tutkitaan, mitä seurauksia muuttuneella kilpailutilanteella on ollut sähköntuotantorakenteeseen Pohjoismaissa. Lopuksi tehdään tilannekatsaus viimevuosien tapahtumiin sähkö- ja päästömarkkinoilla, ja tutkitaan miten ne vaikuttavat toisiinsa.

### 4.1 Saastuttaja maksaa – vaikutukset kilpailutilanteeseen

Sähkön hintataso määräytyy kalleimman toteutuneen tarjouksen mukaan, ja tarjousten hintataso puolestaan riippuu suoraan tuotantokustannuksista. Päästökauppa ja päästöoikeuksien hankkiminen nostaa fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan sähköntuotannon tuotantokustannuksia riippuen siitä, kuinka saastuttava tuotantomuoto on kyseessä. Päästöjen määrä on aina laitospäätöistä, joten yleispätevää keskiarvoa tietyn tuotantomuodon ominaispäästöille on hankala arvioida. Päästöjen määrään vaikuttaa mm. laitoksen kokonaisuhyötysuhde, tuotetaanko sähkön lisäksi lämpöä ja miten savukaasut puhdistetaan. Lisäksi päästöjä syntyy elinkaaren kaikissa vaiheissa, joten tilanne on eri, kun tarkastellaan uutta ja vanhaa fossiilista tuotantoa.

Karkealla tasolla voidaan sanoa, että maakaasulla tuotetun sähkön ominaispäästöt ovat n. 50 % hiilivoiman päästöistä [34]. Maakaasun ominaispäästöt ovat n. 0,4–0,5 tonnia CO<sub>2</sub>/MWh ja hiilivoiman n. 0,8–1 tonnia CO<sub>2</sub>/MWh [35] [36] [37]. Kyseiset arvot ovat keskiarvoja monesta erilaisesta sähkön erillistuotantoon sekä yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon tarkoitetusta laitoksesta Euroopassa sekä Yhdysvalloissa. Arvoissa on myös otettu eri tavoilla huomioon elinkaaripäästöt, mikä osaltaan selittää vaihteluvälin. Energiantuottajan kannalta ainoastaan suorista päästöistä täytyy maksaa päästöoikeudet. Päästöoikeuden aiheuttaman nousun tuotantokustannuksiin voi laskea kertomalla päästöoikeuden hinnan ominaispäästöillä yhtälön 1 mukaan. Yhtälössä päästöoikeuden aiheuttama nousu tuotantokustannuksiin on yksikössä €/MWh, ominaispäästöt yksikössä tonCO<sub>2</sub>/MWh, ja päästöoikeuden hinta yksikössä €/tonCO<sub>2</sub>.

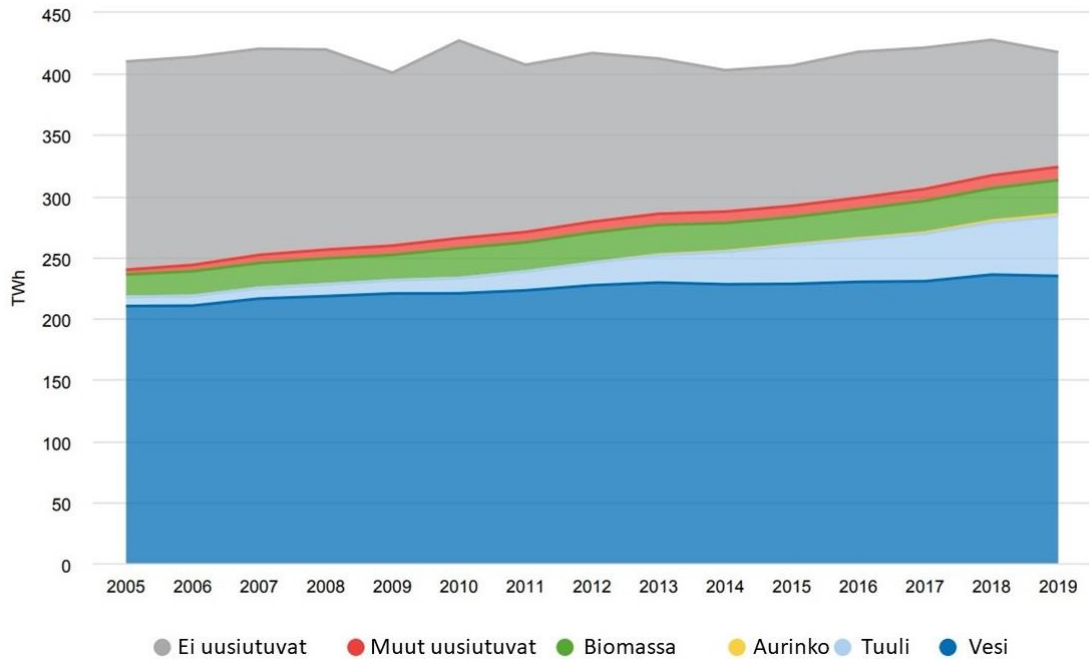
$$\begin{aligned} & \text{Päästöoikeuden aiheuttama nousu tuotantokustannuksiin} \\ & = \text{Ominaispäästöt} \cdot \text{Päästöoikeuden hinta} \end{aligned} \quad (1)$$

Päästöoikeuden hinta siirtyy sähkön markkinahintaahintaan puolestaan sen mukaan, mitkä ovat marginaalisen, eli hintatason asettavan tuotantomuodon päästöt. [38] Tämä tarkoittaa, että kun sähkön hintataso määräytyy esimerkiksi vesivoiman tai ydinvoiman mukaan, päästöoikeuden hinnalla ei ole vaikutusta sähkön hintatasoon. Kun taas hintatason asettaa hiilivoima, sähkön hinta nousee lähes saman verran, kuin mitä yhden päästöoikeuden hinta on. Maakaasun tasolla sähkön hinta nousee noin puolet yhden päästöoikeuden hinnasta.

Päästökaupasta johtuen tuotantokustannukset nousevat sen mukaan, kuinka suuria omat päästöt ovat, mutta sähköstä saatava hinta nousee sen mukaan, mikä tuotantomuoto asettaa hinnan. Seurauksena etenkin hiilivoiman kannattavuus suhteessa muihin tuotantomuotoihin heikkenee, ja päästöttömän sähköntuotannon kannattavuus paranee. [38] Päästökaupan tavoitteena onkin mahdollistaa siirtymä fossiilisesta energiasta kohti päästötöntä energiantuotantoa, mikä toteutuu kahdella tavalla. Pitkällä tähtäimellä investoinnit uuteen kapasiteettiin tehdään lähes poikkeuksetta uusiutuvaan energiaan, sillä fossiilisen energiantuotannon kannattavuus on heikompaa kuin uusiutuvan energiantuotannon. Toiseksi, mikäli fossiilisen energiantuotannon kustannukset nousevat päästökaupan vuoksi enemmän, kuin mitä energianhinnat nousevat, myös vanhoja laitoksia voidaan joutua sulkemaan ennen niiden käyttöiän päättymistä.

## **4.2 Tuulivoima kasvattaa osuuttaan sähköntuotannossa**

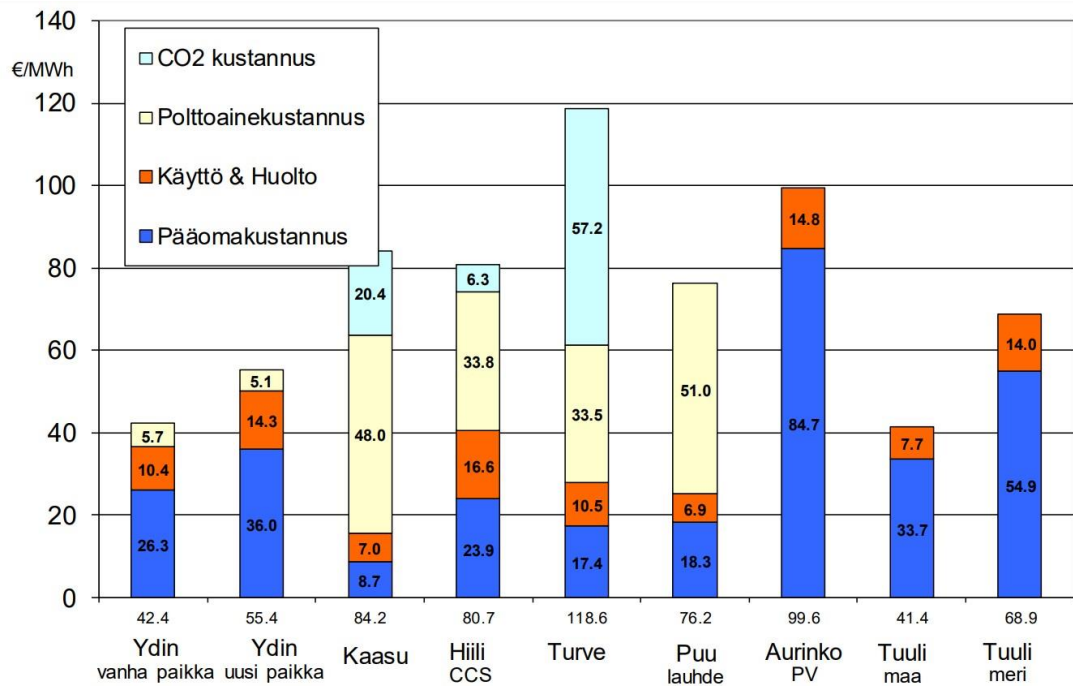
Kuten kuvasta 6 näkee, sähköntuotanto ja -kulutus on pysynyt melko samansuuruisena Pohjoismaissa vuodesta 2005 eteenpäin, hieman yli 400 TWh. Sähköntuotannosta reilusti yli 90 % on fossiilivapaata tuotantoa, kun uusiutuvien lisäksi huomioidaan Suomen ja Ruotsin ydinvoimakapasiteetit. Pohjoismaissa on erittäin korkea osuus uusiutuvaa sähköä, vuonna 2019 globaali keskiarvo oli 28 %, EU:n keskiarvo oli 34 %, ja Pohjoismaissa se oli 78 %. Pohjoismaiden tärkein sähköntuotantomuoto on vesivoima, mutta nykyistä energiamurrosta vauhdittaa etenkin tuulivoiman nopea kasvu. [3, pp. 27-36]



Kuva 6: Sähköntuotanto Pohjoismaissa 2005–2019, muokattu lähteestä [3, p. 29]

Uusiutuvan sähkön osuus kokonaisuudessaan on kasvanut 85 TWh, eli 35 % vuodesta 2005 alkaen, mistä suurin osa selittyy tuulivoiman kasvulla. Tuulivoiman osuus sähköntuotannosta kasvoi 40 TWh, eli 400 %. Loput kasvusta tuli vesivoimasta, biomassasta ja aurinkovoimasta, jonka osuus sähköntuotannosta kasvaa erittäin nopeasti vaikka onkin edelleen erittäin pieni. Samalla fossiilisen tuotannon ja ydinvoiman osuus putosi 68 TWh eli 38 %, mikä johtuu pääosin Tanskan ja Suomen hiilen sekä kaasun käytön vähentämisestä. [3, pp. 27-36]

Tuulivoiman voimakas kasvu selittyy monella tekijällä. Pohjoismaissa päästökauppa ei ole ainoa uusiutuvan energian käyttöön kannustava poliittinen ohjauskeino, vaan käytössä on lukuisia erilaisia tukimekanismeja eri valtioissa [39, pp. 5-6]. Yksi esimerkki tuulivoiman tuista on syöttötariffi, eli takuuhinta tuotetulle sähkölle. Suomessa ennen vuotta 2017 rakennetut tuulivoimalat saavat vähintään 83,5 €/MWh tuotetusta sähköstä [40]. Tuulivoima kehittyi 2010-luvun aikana kalliista, tukia tarvitsevasta tuotantomuodosta halvimmaksi markkinaehtoiseksi sähköksi. Kuten kuvasta 7 näkee, nykyisellä päästöoikeuden hintatasolla tuulivoima on erittäin kilpailukykyinen tuotantomuoto. Tästä syystä suurin osa uusista investoinneista sähköntuotantoon Pohjoismaissa kohdistuu tuulivoimaan. Syöttötariffi ja päästökauppa ovat vain pintaraapaisu erilaisiin poliittisiin ohjauskeinoihin, mikä tarkoittaa, että yksittäisen tukimekanismin vaikutuksia on hankala yleistää. Tuulivoiman menestys on yhdistelmä erilaisia tukimekanismeja, jotka samanaikaisesti vahvistivat tuulivoiman asemaa ja heikensivät fossiilisen tuotannon kilpailukykyä.



Kuva 7: Eri voimalaistyyppien sähköntuotantokustannukset päästöoikeuden hinnalla 60 €/t [41]

### 4.3 Epävakaat ajat sähkö- ja päästömarkkinoilla

Viime vuosien aikana energia- ja päästömarkkinat ovat olleet erittäin epävakaat, kun lukuisat yllättävät tapahtumat ovat vuorotellen laskeneet ja nostaneet hintatasoja ennätyslukemiin. Koronapandemian vuoksi vuonna 2020 sähkön kysyntä Euroopassa kääntyi laskuun, ja Pohjoismaissa sähkön hinnat olivat historiallisen alhaalla. Vaikka olisi helppo ajatella, että syynä oli koronapandemian aiheuttama kysynnän lasku, todellisuudessa hintatasoon vaikutti eniten säätila. 2020 oli märkä, tuulinen ja lämmin vuosi. Märkä sää johti vesialtaiden täyttymiseen, tuulisuus johti huomattavaan tuulivoiman tuotannon kasvuun ja lämmin sää vähensi lämmityksen tarvetta. Vesivoimaa oli tarjolla parhaimmillaan 35 TWh enemmän kuin keskivertovuotena, mikä vastaa n. 9 % koko alueen sähkönkulutuksesta. [42]

Vuoden 2021 aikana sähkön hinta alkoi nousta Pohjoismaissa nopeasti. Merkittävin syy hintojen nousuun oli tavanomaista kuivempi kevät ja kesä, mikä johti heikompaan vesialtaiden täyttöasteeseen ja pienempään vesivoimakapasiteettiin. Norjan ja Ruotsin eteläosissa sademäärät olivat mittaushistorian heikoimmat, mikä teki tilanteesta erityisen tukan. Vesialtaiden täyttöaste oli heikoimmillaan 24 TWh vähemmän kuin tavallisesti. Pohjoisosissa puolestaan sademäärät olivat normaaleja, mutta siirtokapasiteetin rajallisuuden seurauksena syntyi valtavia aluehintaeroja Norjan sekä Ruotsin pohjoisosien ja

muiden hinta-alueiden välille. Myös Suomen hintataso oli korkea, vastaavasti kuin Norjan ja Ruotsin eteläosissa. Lisäksi tuuliolosuhteet olivat tavanomaista huonommat, mikä entisestään heikensi tilannetta. [43] [44] Vesivoiman ja tuulivoiman heikko tuotanto johti siihen, että sähkön hintataso määrittyi yhä useammin kalliimpien tuotantomuotojen mukaan. Tätä kehitystä voimisti se, että Norjan ja Ruotsin eteläosista siirtyi yhä enenevässä määrin sähköä kohti Eurooppaa, jossa sähkön hinnat olivat samanaikaisesti nousussa.

Euroopan sähkömarkkinoilla hintataso määräytyy tyypillisesti maakaasun tasolle, ja maakaasusta alkoi tulla pulaa vuoden 2021 aikana, mikä nosti sähkön hintatasoa merkittävästi. Tavallista kylmempi kevät ja taloudellinen elpyminen koronapandemian hellittäessä kiihdytti maakaasun käyttöä, mikä johti varastojen tyhjentymiseen kesään mennessä. Venäjä ei pystynyt vastaamaan lisääntyneeseen kaasuntarpeeseen Euroopassa, mikä piti varastotason matalana. Samanaikaisesti Kiinassa pandemianjälkeinen sähköntarve oli ollut niin suuri, että käyttöön otettiin paljon nesteytettyä maakaasua (LNG) globaaleilta markkinoilta. [43] Tyypillistä korkeampi maakaasun käyttö Euroopassa yhdistettynä riittämättömään maakaasuntuontiin Venäjältä sekä heikkoon LNG:n saatavuuteen johti Euroopassa suoranaiseen maakaasupulaan syksyllä 2021.

Maakaasun hinnannousun seurauksena sähköntuottajat alkoivat lisätä hiilivoiman osuutta tuotannossa. Hiili oli huomattavasti halvempi, joskin lähes kaksi kertaa saastavampi tuotantomuoto kuin maakaasu. Siirtymä maakaasusta hiileen kiihdytti päästöoikeuksien kysyntää vuoden 2021 aikana. Toinen päästöoikeuksien hintaa nostava tekijä oli päästökauppajärjestelmään ehdotetut muutokset 55-valmiuspaketin yhteydessä. Heinäkuussa Euroopan komissio ehdotti mm. laivaliikenteen sisällyttämistä päästökauppaan, ilmaisjaossa jaettavien päästöoikeuksien vähentämistä sekä päästöoikeuksien vuosittaisen vähentämisen kiihdyttämistä. Lisäksi vuoden 2021 aikana päästöoikeuksien huutokauppauksia ja ilmaisjakoja lykättiin, mikä heikensi päästöoikeuksien tarjontaa markkinoilla. [45] Näiden syiden seurauksena päästöoikeuden hinta nousi vuoden 2021 aikana noin 30 € hinnasta lähes 90 € hintaan [12]. Heikon vesivoimatilanteen seurauksena päästöoikeuden hintakehitys vaikutti yhä laajemmin hintatasoon myös Pohjoismaissa. Muun Euroopan lisäksi Pohjoismaissa sähkön hintataso määräytyi nyt fossiilisten tuotantomuotojen mukaan, jotka olivat entistäkin kalliimpia.

Ennen kuin Euroopan komission 55-valmiuspaketin ehdotuksista tulee lakeja, edessä on jopa kaksi vuotta kestävä neuvottelut Euroopan parlamentin ja jäsenvaltioiden kanssa [45]. Kohonneet päästöoikeuksien hinnat ovat nostaneet sähkön ja muun energian hintoja merkittävästi, ja kaikkein haavoittuvimmassa asemassa ovat vähätuloiset kotitaloudet valtioissa kuten Puola, jossa fossiililla polttoaineilla edelleen katetaan suuri osa

sähköntuotannosta. Samalla kun Euroopassa edelleen paikataan koronapandemian taloudellisia vaikutuksia, päästökaupan kehittämisen neuvotteluista voidaan odottaa tulevan haastavat. Kaiken edellä mainitun lisäksi koko Euroopan energiapolitiikan ja energijärjestelmän kehityksen tulevaisuus meni kertaheitolla sekaisin, kun Venäjä aloitti hyökkäyksen Ukrainaa vastaan.

## 5. ENERGIAPOLITIikka UUDESSA TURVALLISUUSYMPÄRISTÖSSÄ

Tässä osuudessa selvitetään, mitä vaikutuksia Venäjän aloittamalla sodalla Ukrainaa vastaan on päästökauppaan sekä Pohjoismaiseen sähkömarkkinaan. Ensiksi tehdään markkinakatsaus päästökauppaan sodan alkamisen jälkeen, sekä pohditaan, miten tilanne etenee. Seuraavaksi tutkitaan, miten irtautuminen venäläisestä energiasta onnistuu pitämällä samalla kiinni päästötavoitteista. Lopuksi tukitaan, miten päästökauppaa täytyy kehittää tulevaisuudessa, jotta kunnianhimoisiin päästövähennystavoitteisiin päästäisiin.

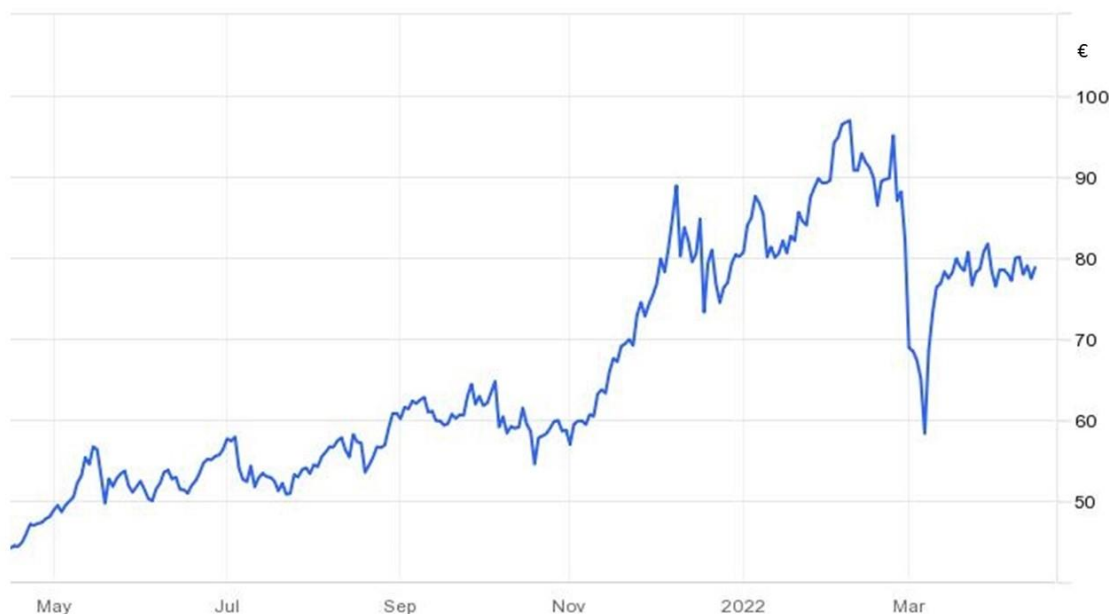
### 5.1 Sodan alku järjyttää päästömarkkinoita

Päästömarkkinoiden reaktio Venäjän aloittamaan sotaan oli hintatason jyrkkä pudotus. Ensisilmäyksellä tämä oli yllättävää, sillä päästömarkkinan ja energiamarkkinoiden välillä pitäisi olla teoriassa suora korrelaatio, ja hintojen putoaminen oli täysin päinvastaista kaasun ja hiilen nousseisiin hintoihin. [46] Hintojen putoamista selittää markkinoiden shokki uuden tilanteen edessä, ja odotukset päästöoikeuksien kysynnän laskusta, jos sota käynnistäisi laajamittaisen laman Euroalueelle. Tämä sai etenkin spekulatiivista kauppaa käyvät sijoittajat myymään omistuksensa samalla, kun pörssit lähtivät syöksyyn Euroopassa. [47] Teollisuuslaitoksetkin joutuivat myymään päästöoikeuksia saadakseen lyhyellä tähtämellä riittävästi varoja selvittääkseen nousseista energianhinnoista. Markkinoiden alkureaktio myös osoitti, että EU:n pelättiin laittavan ilmastopolitiikan taka-alalle sodan välittömän uhan edessä. [48]

Päästöoikeuden hinnan jyrkkä pudotus ei kuitenkaan liittynyt päästömarkkinan perustaan, eli pitkän tähtäimen ilmastopolitiikkaan. Kuten kuvasta 8 näkee, ennen Venäjän hyökkäystä päästöoikeuden hinta oli n.95 €/t, ja hyökkäyksen alettua hinta oli matalimmillaan 58 €/t. Pian tämän jälkeen hintataso kuitenkin asettui lähes 80 €/t hintaan. Hintatason pudotus johtui todennäköisesti spekulatiosta, mutta palautuminen johtui nimenomaan päästökaupan käytännön toiminnasta. Maakaasupulan vuoksi Euroopassa on viime talvena käytetty hiilivoimaa tavallista enemmän, ja hiilivoiman käytön lisäämisestä lyhyellä tähtämellä on keskusteltu. Toimijoiden tulee luovuttaa päästöoikeudet, eivätkä päästöoikeuden hintaan vaikuttavat perustekijät viittaa hintatason laskemiseen lähitulevaisuudessa [49]. Lisäksi EU:ssa vihreä siirtymä nähdään keskeisenä osana venäläi-



sestä energiasta irtautumiseen [50]. Merkittävin tekijä päästöoikeuden hinnan putoamiselle saattoi olla shokki sekä spekulatiivisten sijoittajien poistuminen markkinalta. Tästä syystä hintataso tuskin palautuu pian yhtä korkeisiin lukemiin kuin ennen hyökkäystä.



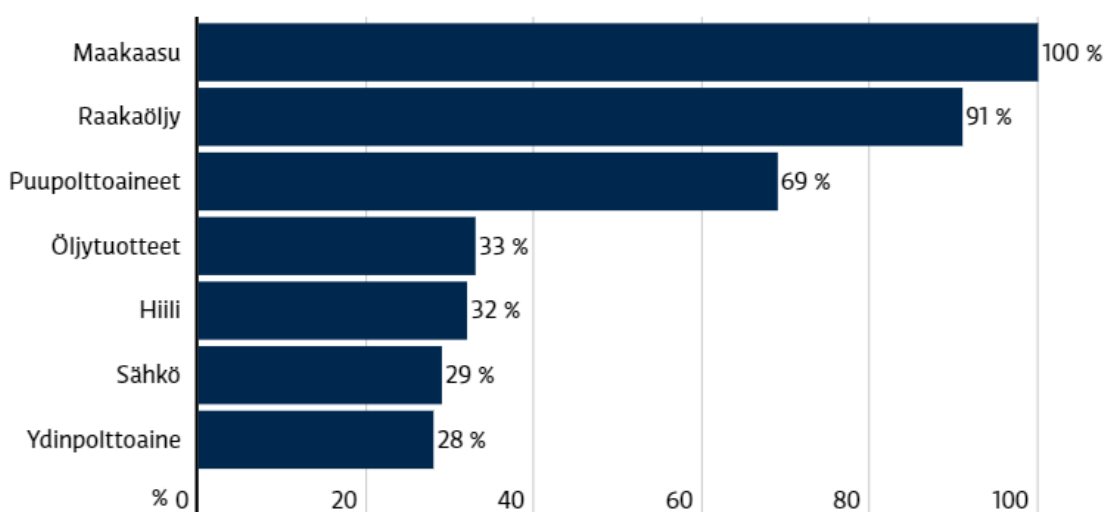
Kuva 8: Päästöoikeuden hintakehitys 2021–2022 [12]

Pitkällä tähtäimellä päästömarkkinan toimijat ovat enemmän huolissaan korkeista hinnoista, kuin matalista hinnoista. Italiassa teollisuuden toimijat ovat vaatineet päästökaupan väliaikaista keskeytystä nousseiden energiahintojen vuoksi. Tämä tuskin tulee saamaan vastakaikua, sillä päästökauppa on merkittävä tulonlähde jäsenvaltioiden hallituksille, ja suuri osa tuloista menee päästövähennyshankkeisiin. [49] EU:ssa on myös käyty keskustelua siitä, voisiko päästökaupan tuloilla auttaa vähävaraisia kotitalouksia selviämään korkeista energianhinnoista [51]. On sanomattakin selvää, että pöydällä on paljon uusia ongelmia, jotka vievät resursseja ja aikaa pois ilmastopolitiikan tekemisestä. Päästövähennystavoitteita ei unohdeta, mutta asioiden toimeenpano saattaa viivästyä merkittävästi akuuttien ongelmien selvittämiseksi. Merkittävin pinnalle noussut ongelma on riippuvuus venäläisestä energiasta, ja siitä irtautuminen.

## 5.2 Irti riippuvuudesta venäläiseen energiaan

Kokonaisvaltaisesti Pohjoismaat eivät ole kovin riippuvaisia venäläisestä energiasta, sillä Ruotsissa ja Norjassa on merkittäviä omia energiavaroja, mutta Suomi kuitenkin on pitkään ylläpitänyt energiakauppaa Venäjän kanssa. Tilastojen valossa Suomen voidaan sanoa olevan erittäin riippuvainen venäläisestä energiasta [52]. Kuten kuvasta 9

näkee, Venäjän osuus energiantuonnista on korkea monella osa-alueella, joista merkittävin on öljy. Suomen liikennejärjestelmä toimii venäläisen öljyn varassa, ja muut osa-alueet summattuna yhteen Suomen kokonaisriippuvuus venäläisestä energiasta on korkea. Sähköjärjestelmän osalta Suomessa on tavoiteltu omavaraisuutta uusilla ydinvoimaloilla, mutta hankkeet ovat kokeneet monia vaikeuksia. Olkiluoto 3 on vihdoin alkanut tuottaa sähköä yli vuosikymmenen tavoiteaikaa myöhemmin [53], ja Fennovoiman tulevaisuus on erittäin epävarma. On ironista, että Suomi tavoittelee omavaraisuutta ja irtautumista venäläisestä energiasta hankkimalla ydinreaktorin venäläiseltä toimittajalta ja antamalla kaupan päälle osaomistajuuden [54]. Tässä valossa Fennovoima ei ratkaise Suomen omavaraisuushaasteita, eikä koko hanke tule todennäköisesti etenemään.



Kuva 9: Venäjän osuus energian tuonnista Suomeen 2019 [52]

Suomen riippuvuus venäläisestä energiasta on ratkaistavissa osa-alueittain, mutta kokonaisvaltainen ratkaisu on hankala saavuttaa kivuttomasti. Sähköenergiajärjestelmän osalta Olkiluodon uuden yksikön käynnistyminen puolittaa Suomen tuontisähkön tarpeen, ja tarvittava tuontisähkö voidaan tuoda Ruotsista ja Norjasta. [19] Tämä on toki tilanne nykyisellä sähkönkulutuksella, mutta miten käy, jos sähkönkulutus kasvaa. Lähes kaikki öljy tulee Suomeen Venäjältä, ja kytköksestä halutaan irti. Muissakin maissa pyritään irti venäläisestä öljystä, joten muiden öljylaatujen hinnat ovat nousseet hyvin korkealle [55]. Ratkaisuna voisi olla liikenteen sähköistyminen, mikä vähentäisi öljyntarvetta, mutta siirtäisi haasteen takaisin sähköenergiajärjestelmälle. Vastaavia haasteita on esimerkiksi lämmityssektorilla, jossa puuhaketta tuodaan Venäjältä. Ratkaisuksi pohditaan turpeen käyttöä, mutta se nähdään ainoastaan erittäin lyhyen tähtäimen kriisiratkaisuna [19]. Irtautuminen venäläisestä energiasta ei ole helppo ongelma ratkaistavaksi, etenkin kun ilmastotavoitteista tulisi samalla pitää kiinni.

Venäjän hyökkäys toi energiaturvallisuuden uudella tavalla esille myös koko Euroopan energiapolitiikassa. Fossiilisista polttoaineista riippuvaisten maiden, kuten Puolan, politiikat ovat vaatineet, että ilmastotavoitteita kevennettäisiin uuden haasteen edessä. Kovasta painostuksesta huolimatta EU ei näytä merkkejä päästövähennysten keventämisestä. Sen sijaan EU:n energiastrategian uusimmassa versiossa on suora linkki vihreän siirtymän ja energiaturvallisuuden välillä. Lyhyellä tähtämellä venäläistä energiaa korvataan nesteytetyllä maakaasulla, mutta pääpaino kaikissa toimissa on uusiutuvan energian lisäys ja energiatehokkuus- sekä energiansäästötoimenpiteet. [56] Maakaasusektori on pitkään kertonut maakaasun merkittävyydestä siirtymäajan polttoaineena, mutta kaikki asiat huomioiden, maakaasu on nykytilanteessa hankala vaihtoehto. Hiilen käyttöä voidaan hetkellisesti lisätä, mutta pelkästään päästöoikeuksista aiheutuva kustannus tekee hiilivoimasta kalliimpaa kuin uusiutuva energia, ettei se ratkaise mitään ongelmaa. EU:n päättäjien sanoma on selkeä, ilmastotavoitteista ei tulla tinkimään. Tästä syystä resursseja on turha tuhjata mihinkään muuhun, kuin vihreää siirtymää edistävään puhtaaseen energiantuotantoon.

### **5.3 Päästökaupan kehitystarpeet ja tulevaisuudennäkymät**

Euroopan Unionin nykyiset päästövähennystoimet ovat suunniteltu siten, että päästöjä vähennetään 40 % välillä 1990–2030. Vuonna 2021 Euroopan komissio julkaisi 55-valmiuspaketin (Fit for 55), jossa päästövähennystavoitteeksi asetettiin 55 %. Lisäksi tavoitteeksi asetettiin saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä. Nykyisellään päästökauppasektorin päästövähennystavoite on 43 % välillä 2005–2030, mutta 55-valmiuspaketin yhteydessä tavoitteeksi asetettiin 61 %. [2] [57] 55-valmiuspaketti on komission julkaisema ehdotus, josta tullaan käymään neuvotteluita ennen kuin käytännön toimet lukitaan. Huomattavia toimenpiteitä tulee kuitenkin tehdä ja pian, jotta uusiin päästövähennystavoitteisiin päästäisiin.

Päästökaupan toimivuutta on pyritty parantamaan erilaisilla toimenpiteillä jo edellisillä päästökauppakausilla, ja nykyiselle päästökauppakaudelle (2021–2030) on jo tehty lukuisia muutoksia. Näistä esimerkkejä ovat lineaarisen päästövähennyskertoimen kiristäminen sekä markkinavakausvarannon sisällyttäminen järjestelmään. Päästökauppasektorin päästövähennystavoitteen nostaminen 43 prosentista 61 prosenttiin luo tarpeen tehdä lisää muutoksia päästökaupan toimintaan. Lisäksi päästökauppa ei ole ainoa Euroopan Union ja jäsenvaltioiden käyttämä poliittinen ohjauskeino ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. 55-valmiuspaketin yhteydessä ehdotettujen EU:n energiatehokkuus ja uusiutuvan energian tavoitteiden toteutuminen luo riskin siitä, että päästökauppaan jää rakenteellinen ylijäämä päästöoikeuksia ja ohjaava vaikutus menetetään. [58, pp. 9-10]

Sitran tekemässä päästökaupan kehittämisraportissa ehdotetaan kolmea toimea, joilla päästökaupan toimintaa pitäisi uudistaa. Ensimmäisenä päästökaupan päästökattoa tulisi pienentää, eli päästövähennyskerrointa tulisi kasvattaa, jotta vuosittain kierrosta poistuisi enemmän päästöoikeuksia. Toisena markkinavakausvarantoa tulisi kehittää, jotta päästöoikeuksia olisi helpompi mitätöidä päästökaupan ulkopuolella tapahtuvien päästövähennysten seurauksena. Kolmantena päästöoikeudelle tulisi asettaa pohjahinta, jota pienemmäksi päästöoikeuden hinta ei voisi laskea. Sitra arvioi toimenpiteiden vaikuttavuutta sekä poliittista toteutettavuutta, ja toteaa, että markkinavakausvarannon kehittäminen on keskeisin toimenpide päästökaupan toiminnan varmistamiseksi. [58, pp. 9-13]

55-valmiuspaketin yhteydessä ehdotetut muutokset vaikuttavat Pohjoismaisiin sähkömarkkinoihin monella tavalla. Merkittävien trendeistä on vähäpäästöisen sähköntuotannon entistä voimakkaampi lisääminen kahdesta syystä. Ensiksi päästökauppasektorin tiukemmat päästövähennystavoitteet ohjaavat myös raskasta teollisuutta, kuten terästeollisuus, sähköistämään prosessejaan, mikä lisää painetta sähköntuotannon kasvattamiseen. Toiseksi päästökaupan ulkopuolelle jäävien taakanjakosektoreiden, kuten liikenteen, päästövähennystavoitteet kiristyvät. Nykyisellä teknologialla liikenteen päästövähennykset voidaan saavuttaa joko vähentämällä energiankulutusta, tai sähköistämällä liikennejärjestelmä. Pohjoismaissa sähkökulutuksesta reilusti on yli 90 % päästötöntä, mutta kokonaisenergiankulutuksesta vain 60 % on päästötöntä [59]. Valtaosa uusiutuvista energianlähteistä tuottaa lopputuotteena sähköä, joten todennäköisin tie päästövähennysten toteutukseen on kaiken mahdollisen energiankulutuksen sähköistäminen ja sähköntuotannon lisäkapasiteetin kattaminen uusiutuvalla energialla, kuten tuulivoimalla ja merituulivoimalla.

Päästövähennystavoitteiden saavuttaminen on mahdollista, mutta se tulee vääjäämättä lisäämään energiantuotannon kustannuksia lyhyellä aikavälillä. Energijärjestelmä kokonaisuudessaan on kehittynyt halpojen, toimintavarmojen ja helposti säädettävien fossiilisten polttoaineiden varaan, ja siirtyä pois niistä vaatii suuria muutoksia energia-alalla kokonaisuudessaan. Toisaalta mitä pitempään energiamurrosta viivytetään, sitä enemmän yhteiskunta juurtuu nykyisiin toimintamalleihin ja muutos hankaloituu ja kallistuu. Lisäksi ilmastonmuutos ei odota, ja siksi irtautuminen fossiilienergiasta tulisi tapahtua niin nopeasti kuin mahdollista.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli arvioida Euroopan Unionin päästökaupan vaikutuksia Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Työn teoriaosuudessa tutustuttiin päästökaupan sekä Pohjoismaisen sähkömarkkinan toimintaan, jotta lukija ymmärtäisi paremmin päästökaupan vaikutusten arviointia. Luvussa 2 selostettiin päästökaupan toimintaperiaate, päästöoikeuksien jako ja kaupankäynti, sekä hintaan vaikuttavat tekijät. Keskeisin havainto oli, että päästökaupan toiminta ja päästöoikeuden hinnanmuodostus riippuu eniten poliittisista päätöksistä, ja on siksi altis monenlaisille muutoksille. Esimerkiksi pitkäaikainen päästöoikeuden matala hintataso korjautui nimenomaan päästökaupan toimintaan tehdyllä muutoksella, jonka seurauksena markkinoilta voidaan poistaa ylimääräisiä päästöoikeuksia hintatason vakauttamiseksi. Toinen havainto oli, että teollisuuteen on pitkään jaettu ilmaisia päästöoikeuksia hiilivuodon estämiseksi, kun taas energiasektorilla kaikki päästöoikeudet on huutokaupattu vuodesta 2013 lähtien. Päästöoikeuksien jako on kehittynyt enemmän kohti huutokauppausta, sillä silloin toimijat joutuvat aidosti maksamaan päästöistään.

Luvussa 3 käsiteltiin Pohjoismaiseen sähkömarkkinaan kuuluvien valtioiden tuotantokenteita ja markkinan erityispiirteitä, sähkön hinnanmuodostus sekä hintaan vaikuttavat tekijät. Pohjoismaissa sähköntuotannosta poikkeuksellisen suuri osuus, yli 90 % on hiilidioksidivapaata tuotantoa. Merkittävin tuotantomuoto Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla on vesivoima, ja vesivoiman saatavuus onkin tärkein sähköenergiajärjestelmän tilaa kuvaavista muuttujista. Muiden valtioiden sähkömarkkinoiden hintataso heijastelee kivihiihlen ja maakaasun markkinoiden hintatasoa, kun taas Pohjoismaissa hintatasoa määrittää pitkälti vesivoiman saatavuus. Sähkön runsaasta saatavuudesta huolimatta valtioiden ja alueiden välille syntyy hintaeroja, sillä sähkönsiirtokapasiteetti ei ole riittävä taasaamaan kysynnän ja tarjonnan alueellista epätasapainoa.

Luvussa 4 siirryttiin käsittelemään päästökaupan vaikutuksia Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Tarkastelun kohteena oli tuotantomuotojen kilpailutilanteen muutokset sekä vaikutukset sähkön hintatasoon. Lisäksi tehtiin tilannekatsaus viime vuosien tapahtumiin päästö- ja sähkömarkkinoilla. Päästökauppa vaikuttaa tuotantokustannuksiin siten, että sähkön hintataso nousee samassa suhteessa fossiilisen sähkön tuottajien kustannusten kanssa, kun taas päästöttömän energian tuottajat saavat korkeamman hinnan ilman lisäkustannuksia. Pohjoismaisen sähkömarkkinan aluehintaeroista johtuen on yleistä, että esimerkiksi Suomessa sähkön hintataso muodostuu kalliimpien tuotantomuotojen mu-

kaan, kun taas Norjassa sähkön hintataso jää halvan vesivoiman tasolle. Tähän tilanteeseen on vastattu tuulivoiman kapasiteetin suurella lisäämisellä, sillä uusiutuvan energian kilpailutilanne on kohentunut merkittävästi samalla kun fossiilisen sähköntuotannon tilanne on heikentynyt.

Luvussa 4 tehdyssä tilannekatsauksessa pyrittiin selvittämään syyt päästöoikeuden ja sähkön hintojen viime vuosien räjähdysmäiseen nousuun. Päästöoikeuden hinnan kohoamisen syynä pidetään maakaasun heikkoa saatavuutta Euroopassa, minkä vuoksi energiantuottajat siirtyivät käyttämään hiilivoimaa, ja päästöoikeuksien kysyntä kasvoi nopeasti. Tämä ei tavallisesti olisi vaikuttanut radikaalisti hintatasoon Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla, mutta samanaikaisesti Norjassa ja Ruotsissa koettiin mittaushistorian pienimmät sademäärät, mikä vähensi vesivoiman tuotantoa dramaattisesti. Tämä pakotti myös Pohjoismaiset sähköntuottajat ottamaan fossiiliset tuotantomuodot käyttöön, ja korkea päästöoikeuden hinta nosti siten hintatasoa.

Luvussa 5 tarkasteltiin energiapolitiikan ja päästökaupan tulevaisuutta Euroopan muuttuneessa turvallisuustilanteessa. Päästömarkkinoiden ensireaktio Venäjän aloittamaan sotaan oli shokki ja jyrkkä hintatason pudotus. EU:n pelättiin laittavan ilmastopolitiikka taka-alalle, mutta komissio kuitenkin vastasi pitämällä kiinni ilmastotavoitteista, ja aikeilla vauhdittaa vihreää siirtymää irtautuakseen venäläisestä fossiilisesta energiasta. Sodan seurauksena venäläisen maakaasun ja öljyn tulevaisuus näyttää heikolta Euroopassa, ja yksi syy lisää edistää aitoa vihreää siirtymää kohti puhdasta energiajärjestelmää. Tulevaisuudessa päästöttömän sähköntuotannon tarve kasvaa, kun päästökauppasektorin ja taakanjakosektoreiden tiukentuvat päästövähennystavoitteet lisäävät painetta yhteiskunnan sähköistymiseen.

Johdannossa kerrottiin, kuinka ilmastonmuutoksen pysäyttäminen 1,5 °C asteeseen on elintärkeää pahimpien seurausten välttämiseksi, ja kuinka nykyisellä kehityskululla siihen ei tulla pääsemään. Tämän työn tavoitteena oli kertoa EU:n päästökaupan toiminnasta ja sen onnistumisista ja epäonnistumisista Pohjoismaisen sähkömarkkinan kautta. Energia-alan yrityksille tulisi käydä selväksi, että pitkällä tähtäimellä ilmastotoimet ja päästökauppa eivät voi tavoitteiden puitteissa joustaa, eikä tässä valossa investoinnit fossiiliseen energiaan ole kannattavia. Päätäjien puolestaan tulisi havaita, että hyvin toteutettu päästökauppajärjestelmä on erinomainen tapa lukita tietyt päästövähennystavoitteet ja antaa markkinoiden tehdä ne mahdollisimman kustannustehokkaasti. Jotta päästökaupan vaikutukset olisivat todella merkittäviä, vastaavia päästökauppajärjestelmiä tulisi ottaa käyttöön kaikkialla maailmassa.

## LÄHDELUETTELO

- [1] "How close are we to reaching a global warming of 1.5 C," Copernicus, 22 2 2021. Saatavissa: <https://climate.copernicus.eu/how-close-are-we-reaching-global-warming-15degc>. [Haettu 4 4 2022].
- [2] "Eu Emissions Trading System," European commission, Saatavissa: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_fi](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_fi). [Haettu 20 1 2022].
- [3] N. E. Research, "Renewable energy in the nordics 2021," 2021.
- [4] "Euroopan unionin ilmastopolitiikka," Ympäristöministeriö, Saatavissa: <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>. [Haettu 20 1 2022].
- [5] J. Nykänen, "Päästökauppa ja ympäristöhyödykkeiden markkinat," Helsinki, Edita, 2005, pp. 51-53.
- [6] "EU ETS Handbook," European commission, 2015. Saatavissa: [https://www.sallan.org/pdf-docs/ets\\_handbook\\_en.pdf](https://www.sallan.org/pdf-docs/ets_handbook_en.pdf). [Haettu 20 1 2022].
- [7] "EU:n ilmastopakettin tavoitteet ja käsittely Suomessa," Valtioneuvoston kanslia, Saatavissa: <https://vnk.fi/suomen-eu-politiikka/eu-ilmastopaketti/eu-ilmastopakettin-tavoitteet-ja-kasittely>. [Haettu 20 1 2022].
- [8] "Emissions cap and allowances," European commission, Saatavissa: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/emissions-cap-and-allowances\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/emissions-cap-and-allowances_en). [Haettu 20 1 2022].
- [9] "Auctioning," European commission, Saatavissa: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/auctioning\\_fi](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/auctioning_fi). [Haettu 24 1 2022].
- [10] B. Hintermann, S. Peterson ja W. Rickels, "Price and market behavior in Phase II of the EU ETS: A review of the literature," *Review of environmental economics and policy*, osa/vuosik. 10, nro 1, pp. 108-128, 2016.
- [11] "Market Stability Reserve," European commission, Saatavissa: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve_en). [Haettu 24 1 2022].
- [12] "EU carbon permits," Trading economics, Saatavissa: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>. [Haettu 15 3 2022].
- [13] K. Halsnaes, "Climate services for renewable energy in the nordic electricity market," MPDI, 2021.
- [14] "Säätövoima - säädettävää sähköntuotantoa," Energiateollisuus, Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/saatovoima>. [Haettu 31 1 2022].
- [15] "Nuclear power in the Nordic countries," nordics.info, Saatavissa: <https://nordics.info/show/artikel/nuclear-power-in-the-nordic-countries>. [Haettu 15 2 2022].
- [16] "Implementation of bioenergy in Finland - 2021 update," IEA Bioenergy, Saatavissa: [https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021\\_Finland\\_final.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_Finland_final.pdf). [Haettu 15 2 2022].
- [17] "Overview: National coal phase-out announcements in Europe," Europe Beyond Coal, Saatavissa: <https://beyond-coal.eu/wp-content/uploads/2021/03/Overview-of-national-coal-phase-out-announcements-Europe-Beyond-Coal-22-March-2021.pdf>. [Haettu 15 2 2022].

- [18] "Nordic grid development perspective 2021," Statnett, Saatavissa: <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/nordic-grid-development-perspective-2021.pdf>. [Haettu 14 2 2022].
- [19] "Energian hinta voi nousta Suomessa ällistytäviin lukemiin jos Venäjä-kytköksistä riuhtaistaan irti hetkessä - selvitimme, mitä seurauksia siteiden katkaisemisesta olisi," Yle Uutiset, 3 3 2022. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12340753>. [Haettu 7 3 2022].
- [20] "Challenges and opportunities for the Nordic power system," Fingrid, 2015.
- [21] E. comission, "Case M.8660 Fortum/Uniper," 2018.
- [22] "Sähkön hinta koostuu kolmesta osasta," Energiatollisuus, Saatavissa: [https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon\\_hinta](https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_hinta). [Haettu 16 2 2022].
- [23] "Sähkövero ja sähköveroluokka - lue mihin luokkaan kuulut," Caruna, Saatavissa: <https://www.caruna.fi/palvelut/sahkonjakelu/sahkovero>. [Haettu 16 2 2022].
- [24] "Price formation," Nord pool, Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/Price-formation/>. [Haettu 4 2 2022].
- [25] M. Kopsakangas-Savolainen, "Tutkimus sähkömarkkinoiden vapauttamisesta Suomessa," *Kansantaloudellinen aikakauskirja*, 2002.
- [26] "Reservimarkkinat," Fingrid. [Online]. [Haettu 31 1 2022].
- [27] "About us," Nord Pool, Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/About-us/>. [Haettu 31 1 2022].
- [28] "Price calculation," Nord Pool, Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/trading/Day-ahead-trading/Price-calculation/>. [Haettu 14 2 2022].
- [29] "Understanding peak load and base load electricity," Energywatch, Saatavissa: <https://energywatch-inc.com/peak-load-base-load-electricity/>. [Haettu 14 2 2022].
- [30] "What is the merit order curve in the power system?," Next kraftwerker, Saatavissa: <https://www.next-kraftwerke.be/en/knowledge-hub/merit-order-curve/>. [Haettu 23 2 2022].
- [31] R. Huisman, D. Michels ja S. Westgaard, "Hydro reservoir levels and power price dynamics. Empirical insight on the nonlinear influence of fuel and emission cost on Nord Pool day-ahead electricity prices," *Journal of energy and development*, 2014.
- [32] C. Brancucci Martinez-Anido, G. Brinkman ja B.-M. Hodge, "The impact of wind power on electricity prices," *National Renewable Energy Laboratory, United States*, 2016.
- [33] "Suomen aluehintaero ennätysellisen korkealla tasolla," Greene, Saatavissa: <https://www.greene.fi/ajankohtaista/suomen-aluehintaero-ennatysellisen-koorkealla-tasolla>. [Haettu 17 2 2022].
- [34] "Environmental Impacts of Natural Gas," Union of concerned scientists, Saatavissa: <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-natural-gas>. [Haettu 23 2 2022].
- [35] "eCO2mix - CO2 emissions per kWh pf electricity generated in France," RTE, Saatavissa: <https://www.rte-france.com/en/eco2mix/co2-emissions>. [Haettu 23 2 2022].
- [36] "How much carbon dioxide is produced per kilowatthour of U.S. electricity generation," EIA, Saatavissa: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11>. [Haettu 23 2 2022].



- [37] "Carbon Footprint of Electricity Generation," Parliamentary office of science and technology, Saatavissa: [https://www.parliament.uk/globalassets/documents/post/postpn\\_383-carbon-footprint-electricity-generation.pdf](https://www.parliament.uk/globalassets/documents/post/postpn_383-carbon-footprint-electricity-generation.pdf). [Haettu 23 2 2022].
- [38] M. Frondel, C. Schmidt ja C. Vance, "Emissions trading: Impact on electricity prices and energy-intensive industries," Intereconomics, Saatavissa: <https://www.intereconomics.eu/contents/year/2012/number/2/article/emissions-trading-impact-on-electricity-prices-and-energy-intensive-industries.html>. [Haettu 24 2 2022].
- [39] "Renewable energy policies in the nordic region," Nordic energy research, 2014.
- [40] "Syöttötariffi eli takuuhintajärjestelmä," Motiva, Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/syottotariffi\\_eli\\_takuuhintajarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/syottotariffi_eli_takuuhintajarjestelma). [Haettu 14 3 2022].
- [41] E. Vakkilainen ja A. Kivistö, "Sähkön tuotantokustannusvertailu," LUT Scientific and expertise publications, Lappeenranta, 2017.
- [42] M. H. Rennesund, "Low Nordic power prices: Don't blame Corona, blame the weather!," Thema, 5 10 2020. Saatavissa: <https://thema.no/t-cg-innsikt/low-nordic-power-prices-dont-blame-corona-blame-the-weather/>. [Haettu 15 3 2022].
- [43] K. Kuokka, "Why are power prices now much higher than last year, and does it matter?," Fortum, 21 9 2021. Saatavissa: <https://www.fortum.com/about-us/forthedoers-blog/why-power-price-now-much-higher-last-year-and-does-it-matter>. [Haettu 15 3 2022].
- [44] P. Bloomfield, "High and dry: A look at Nordic power prices and reservoir levels with Energy Quantifies," Montel Group, 2 9 2021. Saatavissa: <https://montelgroup.com/updates-and-insights/high-and-dry-nordic-power-prices-and-reservoir-levels>. [Haettu 15 3 2022].
- [45] V. Hernandez, "Why prices of EU carbon permits are at record highs," International Banker, 5 1 2022. Saatavissa: <https://internationalbanker.com/brokerage/why-prices-of-eu-carbon-permits-are-at-record-highs/>. [Haettu 15 3 2022].
- [46] D. Olick, "Ukraine invasion crashes carbon credit prices," CNBC, 10 3 2022. Saatavissa: <https://www.cnbc.com/2022/03/10/ukraine-invasion-crashes-carbon-credit-prices.html>. [Haettu 17 3 2022].
- [47] T. Ambrose, "EU carbon permit prices crash after Russian invasion of Ukraine," The Guardian, 2 3 2022. Saatavissa: <https://www.theguardian.com/environment/2022/mar/02/eu-carbon-permit-prices-crash-after-russian-invasion-of-ukraine>. [Haettu 17 3 2022].
- [48] M. T. Lin, "EU carbon market enters choppy waters as Russia-Ukraine war triggers financial turmoil," IHS Markit, 16 3 2022. Saatavissa: <https://cleanenergynews.ihsmarkit.com/research-analysis/eu-carbon-market-enters-choppy-waters-as-russiaukraine-war-tri.html>. [Haettu 17 3 2022].
- [49] M. Nicholls, "Ukraine invasion sends carbon markets on rollercoaster ride," EnergyMonitor, 17 3 2022. Saatavissa: <https://www.energymonitor.ai/policy/carbon-markets/despite-market-turmoil-caused-by-war-in-ukraine-a-collapse-in-europes-carbon-price-looks-unlikely>. [Haettu 28 3 2022].
- [50] D. Keating, "Commission readies EU energy rethink following Ukraine war," EnergyMonitor, 7 3 2022. Saatavissa: <https://www.energymonitor.ai/policy/green-deals/commission-readies-eu-energy-rethink-following-ukraine-war>. [Haettu 28 3 2022].

- [51] A. Gumbau, "Spain's rising energy poverty: A cautionary tale for Europe," EnergyMonitor, 19 1 2022. Saatavissa: <https://www.energymonitor.ai/policy/just-transition/spains-rising-energy-poverty-a-cautionary-tale-for-europe>. [Haettu 28 3 2022].
- [52] "Suomi on yksi eniten Venäjän energiasta riippuvaisista EU-maista - professorin mukaan Suomessa on epäonnistuttu omavaraisuudessa, ja sillä voi olla kohta seurauksia.," YLE, 23 2 2022. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12328857>. [Haettu 29 3 2022].
- [53] "Olkiluodon kolmas ydinreaktori tuottaa vihdoinkin sähköä Suomeen," YLE, 12 3 2022. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12356448>. [Haettu 29 3 2022].
- [54] ""Tuemme suoraan Venäjän ydinasetuotantoa" - asiantuntijat pitävät Fennovoiman hanketta vakavana virheenä," YLE, 21 2 2022. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12322336>. [Haettu 29 3 2022].
- [55] "Brent crude oil," Trading economics, Saatavissa: <https://tradingeconomics.com/commodity/brent-crude-oil>. [Haettu 29 3 2022].
- [56] D. Keating, "Commission readies EU energy rethink following Ukraine war," EnergyMonitor, 7 3 2022. Saatavissa: <https://www.energymonitor.ai/policy/green-deals/commission-readies-eu-energy-rethink-following-ukraine-war>. [Haettu 29 3 2022].
- [57] "55-valmiuspaketti," Eurooppa-neuvosto, 25 3 2022. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>. [Haettu 7 4 2022].
- [58] V. Graichen, J. Graichen ja S. Healy, "The role of the EU ETS in increasing EU climate ambition," Sitra, 2019.
- [59] "Tracking nordic clean energy progress 2020," Nordic energy research, 2020.