

ENERGIAN HINNAN JA COVID-19-PANDEMIAN VAIKUTUS PÄÄSTÖOIKEUKSIEN HINTAAN

**Jyväskylän yliopisto
Kauppakorkeakoulu**

Pro gradu -tutkielma

2023

**Tekijä: Antti Alaruusi
Oppiaine: Taloustiede
Ohjaaja: Juhani Raatikainen**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

TIIVISTELMÄ

Tekijä Antti Alaruusi	
Työn nimi <i>Energian hinnan ja covid-19-pandemian vaikutus päästöoikeuksien hintaan</i>	
Oppiaine Taloustiede	Työn laji Pro gradu -tutkielma
Aika (pvm.) 14.6.2023	Sivumäärä 29
Tiivistelmä – Abstract <i>Työssä tutkitaan Energian hinnan ja covid-19-pandemian vaikutuksia päästöoikeuksien hintaan. Tarkoituksena selvittää miten "Black swan"-tapahtumat vaikuttavat päästökauppaan. Tutkimus sijoittuu aikavälille 12.7.2019 – 14.7.2022 ja koostuu 785 aikasarjahavainnosta. Tutkimus suoritetaan käyttämällä PNS- ja markow-switching-regressioita. Keskeisenä tuloksena huomataan aikaisempaa kirjallisuutta mukailevat vaikutukset sekä energian hinnalla että Covid-19-pandemiolla. Uutena tuloksena huomataan lisäksi Ukrainan sodan aiheuttama merkittävä vaikutus päästöoikeuksien hintaan.</i>	
Asiasanat Covid-19, pandemia, päästöoikeus, energian hinta, markow-switching	
Säilytyspaikka Jyväskylän yliopiston kirjasto	

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	EU PÄÄSTÖMARKKINAT	6
	2.1 Toiminta ja tarkoitus	6
	2.2 Järjestelmän historia	6
3	TEORIAKATSAUS.....	10
	3.1 Aikaisempi kirjallisuus	10
	3.2 Koronaepidemian vaikutus päästökauppaan	14
4	AINEISTO JA MENETELMÄT	17
	4.1 Aineisto	17
	4.2 Menetelmät	21
5	TULOKSET.....	24
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	27
7	LÄHTEET	28

1 JOHDANTO

Euroopan unionin päästöoikeusjärjestelmällä tavoitellaan Euroopan unionin hiilineutraaliutta vuoteen 2050 mennessä. Päästöoikeuksilla on käyty kauppaa EU:ssa kohta 20 vuotta ja osatavoitteena onkin onnistua vähentämään kasvihuonepäästöjä 55% vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasoon verrattuna. EU:n päästömarkkinat perustettiin hidastamaan ilmastonmuutoksen kiistattomia vaikutuksia maapallolle ja on osa Euroopan vihreän kehityksen ohjelmaa.

Covid-19-pandemia loi markkinoille ennennäkemättömän shokin. Tuo- tanto ja kulutus väheni, kun ihmisten liikkuvuutta ruvettiin rajoittamaan ja tehtaita suljettiin. Nämä rajoitukset näkyivät heti Euroopan unionin päästötavoitteissa ja päästömarkkinoilla. Juuri kun pandemia oli hellittämässä, iski Eurooppaan seuraava shokki. Ukrainassa syttyi sota, kun Venäjä hyökkäsi sinne. Sodalla näyttäisikin olevan voimakkaita ja välittömiä vaikutuksia päästöoikeuksien hintaan.

Tutkimme työssä erityisesti energian hinnan ja Covid-19-pandemian vaikutuksia Euroopan unionin päästöoikeuksien hintaan. Tutkimukseen otetaan lisäksi Ukrainan sotaan liittyviä muuttujia, jotta tästä mahdollisesti johtuvat vaikutukset eivät vääristä saatuja tuloksia. Ukrainan sotaan liittyvillä muuttujilla mitaamme ainoastaan sodan aiheuttamia välittömiä vaikutuksia.

Tutkimus etenee seuraavassa järjestyksessä. luku 1 on johdanto. Toisessa luvussa perehdytään tarkemmin Euroopan unionin päästömarkkinoihin. Kolmannessa luvussa tarkastellaan aikaisempaan kirjallisuutta ja koronaepidemian vaikutusta päästökauppaan. Neljännessä luvussa esitellään tutkimuksessa käytettävä aineisto, sekä menetelmät joilla analyysi suoritetaan. Viidennessä luvussa tarkastellaan saatuja tuloksia ja verrataan niitä aikaisempaan kirjallisuuteen. Lopuksi luvussa 6 tehdään johtopäätökset.

2 EU PÄÄSTÖMARKKINAT

2.1 Toiminta ja tarkoitus

Euroopan unionin päästömarkkinat (EU Emission Trading System, EU ETS) toimii avainasemassa vähentämässä ilmastolle haitallisia kasvihuonepäästöjä kustannustehokkaasti. EU ETS on Euroopan komission mukaan maailman ensimmäinen ja isoin merkittävä markkina hiilidioksidille.

Päästömarkkinoiden tavoitteena onkin Euroopan unionin hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä (*2050 Long-Term Strategy*, 2020). Tämä tavoite mielessä 14 heinäkuuta 2021 Euroopan komissio hyväksyi Euroopan vihreän kehityksen ohjelman EGD (European green deal), jonka tavoitteena on muokata EU:n ilmasto, energia, kuljetus ja verotus politiikkaa niin, että kasvihuonepäästöjä onnistutaan vähentämään vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä vuoteen 1990 verrattuna (*A European Green Deal*). Yksi merkittävimmistä päästön tuottajista Euroopan unionissa on energian tuotanto, joka vastaa yli 75 % kaikista kasvihuonepäästöistä (*A European Green Deal*). Siksi onkin tärkeää pyrkiä hiilineutraaliin energian tuotantoon ja myös siksi Euroopan unionin päästökauppa on erityisen tärkeää. Näin helpoimmin hiilineutraaleiksi vaihtamaan kykenevät yritykset pyrkivät tavoitteeseen nopeasti ja mahdollistavat toisille yrityksille, joilla on hitaampi sopeutumisprosessi, enemmän aikaa valmistautua muutoksiin.

Päästökauppa toimii cap and trade -menetelmällä, jossa Euroopan unioni on määrännyt katon (cap) ilmakehään päästettävälle hiilidioksidipäästöille (*How Cap and Trade Works*, 2022). Jokainen päästöoikeus oikeuttaa sen omistavaa tahoa päästämään ilmastoon yhden hiilidioksiditonnin päästöjä (EU, 2018). Päästöoikeuksien määrää vähennetään vuosi vuodelta ja lopulta tavoitteena on olla täysin hiilineutraaleja. Kaupankäynti (trade) tapahtuu yritysten välisellä huutokaupalla. Osa päästöoikeuksista kuitenkin allokoidaan yrityksille ilmaiseksi, jotta vältyttäisiin yritysten siirtymiseltä vähemmän säädeltyihin maihin (EU, 2018).

2.2 Järjestelmän historia

Perehdytään seuraavaksi Euroopan unionin päästömarkkinoiden historiaan ja kehitysvaiheisiin. Päästömarkkinat ovatkin muuttuneet merkittävästi lyhyen historiansa aikana.

Vuonna 1997 Kioton protokollassa päätettiin ensimmäistä kertaa maailmassa laillisesti sitovista päästörajoituksista (*EU Emissions Trading System (EU ETS)*). Nämä tavoitteet päästöjen rajoittamiseksi koskivat alussa 37 teollistunutta

valtiota ja sai aikaan tarpeen uusille politiikkainstrumenteille (*EU Emissions Trading System (EU ETS)*).

Seuraava askel kohti EU:n päästömarkkinoita tapahtui maaliskuussa 2000, kun Euroopan komissio esitteli vihreän kirjan. Vihreässä kirjassa käydään läpi ensimmäisiä ideoita päästökaupalle ja kuinka yritykset voisivat käydä keskenään kauppaa niille allokoituilla päästöoikeuksilla (*EUR-Lex - 52000DC0087 - EN - EUR-Lex*).

Päätös EU:n päästömarkkinoiden perustamisesta tehtiin EU-direktiivillä 2003/87/EC, lokakuussa 2003 (Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 Establishing a Scheme for Greenhouse Gas Emission Allowance Trading within the Community and Amending Council Directive 96/61/EC (Text with EEA Relevance), 2003). Päästömarkkinat implementoitiinkin virallisesti käyttöön vuonna 2005, kuin direktiivissä päätettiin.

Päästömarkkinoiden toiminnan kannalta on myös tärkeää huomioida markkinoita vakauttava reservi (MSR, market stability reserve). MSR:n tarkoituksena on uudelleen allokoida ylijääneitä päästöoikeuksia ja näin pyrkiä minimoimaan ulkoisten shokkien vaikutus (*Market Stability Reserve*). Euroopan unioni perusti MSR:n vuonna 2015 ja muokkasi sitä huomattavasti vuonna 2018 (Gerlagh ym., 2020). MSR toimii siten, että joka vuosi päästöoikeuksia voi tallettaa tulevaisuuden varalle maksimissaan 833 miljoonaa hiilidioksiditonnia (Gerlagh ym., 2020). Tämän rajan ylittyessä siirretään loput päästöoikeudet markkinareserviin (MSR) huutokauppaamisen sijaan ja seuraavan vuoden huutokaupattavien päästöoikeuksien määrää vähennetään (Gerlagh ym., 2020). Reserviin siirrettävien päästöoikeuksien määrä voi Euroopan komission (2021) mukaan olla kuitenkin suurimmillaan 24 % kaikista kierrossa olevista päästöoikeuksista. Euroopan komissio (2021) päätti vuonna 2019 tuplata sallitun määrän, joka oli aikaisemmin 12 %. Jos puolestaan joudutaan tilanteeseen, jossa päästöoikeuksia säilötään alle 400 miljoonaa, vapautetaan markkinareservistä 100 miljoonaa päästöoikeutta seuraavan vuoden huutokauppaan (Gerlagh ym., 2020).

Gerlagh ym. (2020) toteavat, että vuonna 2018 tehdyt muutokset markkinareserviin mahdollistivat päästöoikeuksien poistamisen. Päästöoikeuksia voidaan poistaa tilanteessa, jossa reservissä olevien päästöoikeuksien määrä ylittää edellisenä vuonna huutokaupattujen päästöoikeuksien määrän (Gerlagh ym., 2020). Tällaisessa tilanteessa ylijäävät päästöoikeudet poistetaan pysyvästi ja EU:ssa sallittujen päästöjen kokonaismäärä vähenee (Gerlagh ym., 2020). Gerlagh ym. (2020) huomauttavatkin, että päästöoikeuksien tarjonnasta on näin ollen tullut endogeenista.

EU:n päästökauppa on jaettu tähän mennessä neljään eri vaiheeseen. Käydään seuraavaksi läpi nämä eri vaiheet, kuinka ne vaikuttavat EU:n päästöpolitiikkaan ja kuinka ne eroavat toisistaan.

Vaihe 1 oli kolmen vuoden kokeilujakso vuosina 2005 - 2007, jonka aikana valmistauduttiin vaiheeseen 2, jolloin päästömarkkinoiden pitäisi toimia moitteettomasti (*Development of EU ETS (2005-2020)*). EU ETS vaiheen 1 piirteitä oli, että se kattoi ainoastaan hiilidioksidipäästöt voimaloista ja energiaintensiivisiltä

teollisuuden aloilta. Tämän lisäksi melkein kaikki päästöoikeudet jaettiin yrityksille ilmaiseksi ja rangaistus päästörajoitusten noudattamatta jättämisestä oli 40€/1000kg (*Development of EU ETS (2005-2020)*).

Vaiheessa 1 ongelmia tuotti luotettavan päästötietojen puuttuminen, joka johti liiallisten päästöoikeuksien jakamiseen. Päästöoikeuksien tarjonta ylittikin kysynnän merkittävästi ensimmäisen vaiheen aikana, joka johti vaikeuksiin hinnoittelussa. Hinnoitteluun vaikutti myös se, että päästöoikeuksia ei voinut siirtää vaiheiden välillä, jonka seurauksena ylimääräisiksi jääneiden päästöoikeuksien hinta romahti nolllaan vuonna 2007, ennen toisen vaiheen alkamista vuonna 2008 (*Development of EU ETS (2005-2020)*).

Vaihe yksi onnistui ongelmista huolimatta vakiinnuttamaan hinnan hiilelle, vapaan kaupan päästöoikeuksilla EU:n alueella, sekä vaadittavan infrastruktuurin tarkasteltavien yritysten päästöjen mittaamiseen ja raportointiin (*Development of EU ETS (2005-2020)*). Voidaankin todeta, että vaikka ensimmäinen vaihe olikin varsinaisesti vain lyhyt kokeilujakso, oli se luomassa kestäväää pohjaa EU:n päästökaupan tulevaisuudelle.

Vaihe 2 oli vuodesta 2008 alkanut Kioton protokollan mukaista sitoutumista kasvihuonekaasujen vähentämiseen vaatinut vaihe, jolloin kaikilla EU ETS mukana olevilla valtioilla oli konkreettisia tavoitteita päästöjen vähentämiseksi (*Development of EU ETS (2005-2020)*). Olennaisia piirteitä toiselle vaiheelle oli Euroopan komission mukaan, 6,5 % matalampi määrä päästöoikeuksia vaiheeseen 1 verrattuna, sakon korottaminen 40 € -> 100 €/ 1000 kg, lentosektorin lisääminen päästörajoitusten piiriin ja liittorekisterin luominen.

Liittorekisteri (Union registry) takaa keskitetysti kaikkien annettujen päästöoikeuksien tarkan kirjanpidon (*Union Registry*, ei pvm.). Päästökauppaan osallistuvilla mailla ei näin ollen tarvinnut enää olla omaa kirjanpitoa päästöoikeuksista. Tämän voidaan nähdä helpottavan päästöjen vähenemisen tarkkailua koko EU:n tasolla.

Vaiheesta 1 saadun päästötietojen avulla päästöoikeuksien määrää pystyttiin arvioimaan tarkemmin vaiheessa 2 ja niiden määrää rajoittamaan. Vuonna 2008 alkanut talouskriisi johti kuitenkin huomattavasti odotettua suurempaan päästöjen vähenemiseen, josta seurasi toistamiseen päästöoikeuksien ylitarjontaa (*Development of EU ETS (2005-2020)*).

Vuonna 2013, siirryttäessä päästömarkkinoiden kolmanteen vaiheeseen, uudistettiin markkinoilla merkittäväillä tavoilla. Päästöoikeuksien huutokauppaamisesta tuli uusi normaali oikeuksien jakamiseen, entisen vapaan allokaation tilalle, tarkkailuun lisättiin uusia teollisuuden aloja ja uusia kasvihuonekaasuja, sekä koko EU:n laajuinen yhteinen katto päästöille (*Development of EU ETS (2005-2020)*, ei pvm.). Kolmannessa vaiheessa myös laitettiin 300 miljoonaa päästöoikeutta talteen uusiutuvan energian kehitystyötä varten (*Development of EU ETS (2005-2020)*). Kolmas vaihe tuli päätökseen vuonna 2020.

Päästökaupan neljäs vaihe alkoi vuonna 2021 ja sen on suunniteltu kestävään vuoteen 2030 asti (*Revision for Phase 4 (2021-2030)*). Seuraavan yhdeksän vuoden tavoitteena on Euroopan komission mukaan vähentää päästöjä 43 % vuoden 2005 tasoon verrattuna, jolloin Euroopan päästökauppa aloitettiin. Jotta tavoitteisiin

päästään, päätettiin päästöoikeuksia vähentää vuosittain 2,2 %, joka on 0,46 prosenttiyksikköä aikaista enemmän (*Revision for Phase 4 (2021-2030)*).

3 TEORIAKATSAUS

3.1 Aikaisempi kirjallisuus

Perehdytään seuraavaksi aikaisempiin päästökauppaa tutkiviin tutkimuksiin. Tämän luvun tavoitteena on antaa riittävä kuva aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista, jotka ovat selvittäneet päästökauppaan vaikuttavia tekijöitä.

Yksi päästöoikeuksien hintaan vaikuttava tekijä on energian hinta. Tätä aspektia on tutkinut esimerkiksi (Aatola ym., 2013; Boersen & Scholtens, 2014; Hammoudeh ym., 2014; Soliman & Nasir, 2019). Boersen & Scholtens, (2014) tarkastelevat päästöjohdannaisten - ja sähkön hinnan suhdetta, kun taas Soliman & Nasir, (2019) keskittyvät raakaöljyn ja kaasun spot-hintojen vaikutukseen energijohdannaisten hintaan. Hammoudeh ym., (2014) tutkivat raakaöljyn, maakaasun, hiilen ja sähkön hintojen muutosten vaikutusta päästöjohdannaisten hintaan. Fan, Jia, Wang & Xu, (Fan ym., 2017) tutkivat puolestaan miten politiikkamuutokset EU:n päästömarkkinoilla ovat vaikuttaneet päästöoikeuksien hintaan. Myös Aatola, Ollikainen & Toppinen (2013) tutkivat tekijöitä, jotka määrittävät päästöoikeuksien hintaa.

Boersen & Scholtens, (2014) ja Aatola ym., (2013) keskittyvät tutkimuksissaan päästökaupan ensimmäiseen viiteen vuoteen (2005–2010). Käytettäessä vaiheen 1 dataa on huomioitava, että päästöoikeuksia allokoitiin liikaa. Tämän takia vaiheesta 1 saatu data on merkittävästi volatiilisempaa kuin myöhemmistä vaiheista kerätty data. Fan & ym. (2017) käyttävät tutkimuksessaan tapahtumia alkaen vuodesta 2005 ja päättyen vuoteen 2014 ja saavat näin tutkimukseen mukaan 3 eri päästökaupan vaihetta. Soliman ja Nasir (2019) ovat puolestaan rajanneet päästökaupan ensimmäisen vaiheen kokonaan otannastaan pois ja aloittavat tarkastelun vuodesta 2007, jolloin päästökaupan 2 vaihe sai alkunsa, ja lopettavat sen vuoteen 2017.

Aatola ym., (2013) tutkivat lopputuottajina toimivia yrityksiä ja vastaavat kysymykseen, kuinka paljon päästöoikeuksien hinnat vaikuttavat tuotteiden ja tuotannon hintoihin. He myös olettavat, että yritykset pyrkivät hajauttamaan päästöoikeuksien hintoihin liittyvän volatiilisisuuden tuomaa riskiä sijoittamalla energiatermiineihin, jolloin päästöjen hinnat on lyöty lukkoon etukäteen. Aatola ym., (2013) kritisoivat tutkimuksessaan myös spot-markkinoiden käyttöä tutkimusaineistona, sillä näin saadut tulokset eivät ole olleet robusteja. He epäilevät tämän johtuvan spot-markkinoiden pienestä roolista päästökaupassa. Kuitenkin esimerkiksi Soliman & Nasir, (2019) käyttävät tutkimuksessaan spot-hintoja ja onnistuvat saamaan robusteja tuloksia. Tämä voi mahdollisesti johtua tutkimuksen laajemmasta otannasta, jollaista ei vielä Aatolan ym., (2013) aikaan ollut saatavilla.

Covid-19 pandemian vaikutusta päästöoikeuksien hintaan on tutkinut sekä Dong ym., (2022) että Dou ym., (2022). Dong ym., (2022) keskittyy tarkastelemaan päästöoikeus futuurien hintaan liittyvää volatiilisuuutta Covid-19-pandemian

näkökulmasta, kun taas Dou ym., (2022) tarkastelee pandemiasta johtuvien politiikkamuutosten vaikutusta päästöoikeuksien hintaan. Epätasainen talouskasvu viime vuosikymmenien aikana on johtanut talouspoliittisen epävarmuuden (Economic policy uncertainty [EPU]) kasvuun (Dou ym., 2022). Tämä käytännössä tarkoittaa, että investointeja ja kulutusta siirretään tulevaisuuteen, sillä poliittisista muutoksista ei voida olla täysin varmoja. Covid-19-pandemia siis luo epävarmuutta markkinoille, jolloin yritykset eivät investoi päästöoikeuksiin, sillä eivät tiedä mitä politiikkamuutoksia EU:n tasolta saattaa tulla. Dong ym., (2022) puolestaan tutkivat kuinka koronasta johtuvat sulut, liikkumisrajoitukset, sekä EU:n elpymispaketti ovat vaikuttaneet päästöoikeuksien markkinoihin. He huomauttavat, että pandemian puhjetessa Italiassa päästöoikeuksien hinta tippui 10 € tonnilta (25 €/t -> 15 €/t). Euroopan unionin elpymispaketti sai kuitenkin päästöoikeuksien hinnan kohoamaan 27€/t tasolle (Dong ym., 2022). Suuren volatiivisuuden takia Dong ym., (2022) ovatkin valinneet tutkinnan kohteeksi Covid-19-pandemian vaikutukset.

Aatola ym., (2013) käyttävät päiväkohtaista aikasarja-aineistoa koko viiden vuoden tarkastelujaksolta ja se koostuu useiden eri hyödykkeiden hinnoista, kuten sähkö, teräs, paperi ja mineraalituotteet. Syötteinä Aatola ym., (2013) käyttävät kaasun ja hiilet hintoja. He käyttävät spot-markkinoiden sijasta termiinejä ja perustelevat päästöstään termiinimarkkinoiden suuremmalla likviditeetillä, jonka takia ne kuvaavat markkinoita määrittäviä tekijöitä paremmin. Kerättyä dataa Aatola ym., (2013) tutkivat käyttäen kolmea eri ekonometrista mallia, PNS, IV ja VAR, Näin he välttävät mahdolliset sähkön hinnan endogeenisuuteen liittyvät ongelmat.

Hammoudeh ym., (2014) hyödyntävät myös päiväkohtaista aikasarja-aineistoa, mutta toisin kuin Aatola ym., (2013) he käyttävät muuttujien spot-hintoja. Päästöoikeuksien hinnat kerätään EU:n energiamarkkinoilta saadusta datasta ja hinnat muutetaan euroista dollareiksi WM/Reuters dollari/euro kurssilla (Hammoudeh ym., 2014). Raakaöljyn hinta seuraa West Texas crude oil benchmarkia, maakaasu Henry Hub maakaasu spot-hintaa, Hiilen hinta puolestaan Coal intercontinental exchange (ICE) hintaa ja Sähkön hinta South path 15 sähkön hinnan huippuja. Datan analysointiin Hammoudeh ym., (2014) käyttävät Bayesian Structural VAR (BSVAR) mallia. Näin he pystyvät ottamaan huomioon muuttujien mahdolliset riippuvuudet toisistaan.

Boersen & Scholtens, (2014) käyttävät tutkimuksessaan EUA-futuureja ja määrittävät niiden hintaa polttoaineen, sähkön ja sään avulla. He käyttävät Threshold-Garch mallia. Boersen & Scholtens, (2014) toteavat, että päästöjen määrään vaikuttaa energian hinta, sää, sekä talouskasvu. Koska tekijät vaikuttavat päästöjen määrään vaikuttavat ne myös päästöoikeuksien kysyntään ja tätä kautta myös päästöoikeuksien hintaan. Boersen & Scholtens, (2014) käyttämien futuurien maturiteetti ajoittuu EU:n päästökaupan toiseen vaiheeseen, vuosille 2008–2012, otanta on kuitenkin kerätty vuosien 2005–2010 aikana.

Soliman & Nasir, (2019) käyttävät vuosina 2007–2017 kerättyä spot dataa niin raakaöljyn, maakaasun kuin EU:n päästökaupan hinnoista ja pyrkivät osoittamaan kuinka päästöoikeuksien ja energian hinnat vaikuttavat toisiinsa.

Soliman & Nasir, (2019) käyttävät tutkimuksessa ajassa muuttuvaa Copula -mallia, jolla he kykenevät tarkastelemaan molempien häntien riippuvuuksia tehokkaasti. Solimanin & Nasirin, (2019) näkökulma eroaa muista tutkimuksista, sillä he pyrkivät selittämään päästöhintojen ja energiahintojen riippuvuutta toisistaan, eivätkä vain selittämään päästöoikeuksien hintoja energian hinnalla. Myös spot-hintojen tarkastelu poikkeaa toisten tutkimusten (Aatola ym., 2013; Boersen & Scholtens, 2014) valitsemasta lähestymistavasta tarkastella energiafutuuriin hintoja.

Fan ym., (2017) ottavat muista poikkeavan lähestymistavan tutkimukseen ja tarkastelevat politiikkamuutosten vaikutusta päästöoikeuksien hintaan. "Tapahtumatutkimus arvioi tapahtumien sisältämän informaatio ja laskee hyödykkeen (päästöoikeuden hinta EU:n päästömarkkinoilla) epänormaalin tuoton tapahtuma ajan ympärillä, määrittääkseen tapahtuman vaikutuksen suuruuden." (Fan ym., 2017). Fan ym., (2017) keräävät alustavasti 70 tapahtumaa, joista lopulliseen tarkasteluun pääsee vain 50. Tämä johtuu 17 tapauksessa tapahtuminen päällekkäisyydestä, joka voisi johtaa tulosten vääristymiseen. 2 tapausta poistetaan puolestaan lyhyen otannan takia ja 1, koska elokuussa 2007 päästöoikeuksien hinnat tippuivat hetkellisesti nolliin. (Fan ym., 2017). Tämän lisäksi Fan ym., (2017) ovat jakaneet tapahtumat kuuteen eri kategoriaan, ilmaisu, Cap tapahtumat, CER/ERU tapahtumat, vapaa allokatio tapahtumat, huutokauppa tapahtumat ja MRV tapahtumat. He myös testaavat määrittämiensä tapahtumien vaikutusta päästöoikeuksien spot- ja futuurihintoihin, kun taas toisissa tutkimuksissa on valittu tutkinnan kohteeksi joko spot- tai futuurihinnat. Fan ym., (2017) lähestymistavasta poiketen Dou ym., (2022) mittaavat politiikkamuutosten vaikutusta kvantiili Granger causality testillä, sekä kvantiili regressio metodilla. Näin he pystyvät tarkastelemaan EPU:n vaikutusta erilaisissa markkinatilanteissa. Datana Dou ym., (2022) käyttävät päiväkohtaista ECX EUA-hiilifutuurituottoa, sekä EPU indeksiä ajalta 22.1.2013 - 2.7.2021. Tämän lisäksi he jakavat datan kahteen osaan, toinen ennen Covid-19-pandemiaa (22.1.2013 - 31.12.2019) ja toinen sen ajalta (31.12.2019 - 2.7.2021). Näin he pystyvät vertaamaan pandemian vaikutuksia normaaliin tilanteeseen. Dou ym., (2022) tarkastelevat ongelmaa lisäksi lyhyellä-, keskipitkällä-, ja pitkällä aikahorisontilla.

Dong ym., (2022) tutkivat Covid-19 pandemian vaikutusta Bai-Perron structural breakpoint testin avulla. Tällä metodilla he pystyvät tarkastelemaan päästöoikeuksien hinnan rakenteellisia muutoksia, lisäksi dummy muuttujia lisäämällä he pystyvät analysoimaan hintaa määrittäviä tekijöitä. Dong ym., (2022) löysivät covid-19 pandemialla ja EU:n elpymispaketilla olevan negatiivinen korrelaatio päästöoikeuksien hinnan kanssa. Muiden (Aatola ym., 2013; Boersen & Scholtens, 2014; Dou ym., 2022) tapaan myös Dong ym., (2022) valitsevat riippuvaksi muuttujakseen EU:n päästöoikeus futuurien hinnan. Hintaa selittäviksi dummy muuttujiksi he valitsivat Covid-19 pandemian ja EU:n elpymispaketin. Ennen 13.3.2020 Covid-19 dummy sai arvon 0 ja sen jälkeen dummy sai arvon 1, elpymispaketti sai puolestaan arvon 0 päivämäärään 18.6.2020 asti, jonka jälkeen arvo oli 1 (Dong ym., 2022). Näin he pystyivät havainnoimaan pandemian ja elpymispaketin vaikutuksia päästöoikeuksien hintaan. Lisäksi Dong ym., (2022)

valitsevat malliin kontrollimuuttujia, joilla pystyvät erottamaan tuloksista pandemiaan tai elpymispakettiin liittymättömät muutokset. Kontrollimuuttujia ovat talouskehityksen taso, energian hinta, päästömarkkinoilla vallitseva ympäristö, sekä Clean development mechanism (CDM).

Aatola ym., (2013) havaitsivat tutkimuksessaan, että Saksalaisen sähkön, kaasun ja hiilen hinnalla on selvä ja vakaa suhde päästöoikeuksien hintaan. Noin 40 % päästöoikeuksien hinnasta määräytyy näiden kolmen tekijän perusteella. Aatola ym., (2013) tarkentavat lisäksi suurimman yksittäisen tekijän olevan Saksassa tuotetun sähkön hinta. ”Muiden lopputuotteiden hinta vaikuttaa myös päästöoikeuden hintaan tilastollisesti merkittävällä tasolla, mutta ei yhtä voimakkaasti” (Aatola ym., 2013). Myös Boersen & Scholtens (2014) saavat samankaltaisia tuloksia Aatola ym., (2013) kanssa. Boersen & Scholtens (2014) havaitsivat että polttoaineella, kaasulla, sähköllä, sekä hiilen ja kaasun välillä vaihtamisella on merkittävä vaikutus päästötutuurien hintaan. Heidän saamansa tulokset myös näyttävät, että öljyn kerroinvaikutus on keskimäärin kuusinkertainen kaasuun verrattuna. Tämän lisäksi he huomaavat, että hiilellä on negatiivinen vaikutus, vaikkakaan se ei ole tilastollisesti merkitsevä (Boersen & Scholtens, 2014). Kaasun ja hiilen vaihtosuhteella on Boersenin & Scholtensin (2014) tutkimuksen mukaan negatiivinen vaikutus päästöoikeuksien hintaan. ”Negatiivinen etumerkki osoittaa että kaasun ja hiilen hinnan eron kutistuessa päästöoikeuksien hinnat nousevat ja sama toisin päin” (Boersen & Scholtens, 2014). Tämän lisäksi Boersen & Scholtens (2014) havaitsivat positiivisen yhteyden lämmitystä vaativien päivien määrällä ja päästöoikeuksien hinnalla. Tulos ei ole kuitenkaan tilastollisesti merkityksellinen. Boersen & Scholtens (2014) mukaan myös Saksassa tuotetulla sähköllä olevan negatiivinen vaikutus päästöoikeuksien hintaan. Tämä on ristiriidassa Aatola ym., (2013) tuloksien kanssa, joiden mukaan saksalaisella sähköllä on positiivinen vaikutus päästöoikeuksien hintaan. Tämä voidaan huomata Aatolan ym., (2013) taulukoista 3 ja 4, joissa sähkön kertoimien voidaan huomata olevan positiivisia jokaisessa mallissa (malli 1: 0,884; malli 2: 0,902; malli 3: 0,814; malli 4: 1,550; malli 5: 0,923; malli 6: 1,360; malli 7: 2,174). Boersen & Scholtens (2014) huomauttavat kuitenkin, että Euroopan eri sähkömarkkinoilla on huomattavasti eri suuruisia vaikutuksia päästöoikeuksien hintoihin. Esimerkiksi Nordpool ja APX-UK vaikuttavat päästöoikeuksien hintaan merkittävästi (Boersen & Scholtens, 2014).

Soliman & Nasir (2019) päätyivät tulokseen, että raakaöljyllä ja maakaasulla on merkittävä korrelaatio päästöoikeuksien hinnan kanssa. Tämän lisäksi he huomasivat, että energia ja päästöoikeuksien hinnat liikkuvat todennäköisesti yhdessä enemmän alas- kuin ylöspäin. ”Vaikka päästöoikeuksien hinnat ovat laskussa, energiaintensiivisillä aloilla tuotetaan silti vähemmän CO2 päästöjä ilmakehään. Tämä johtuu uusiutuvien energialähteiden lisääntymisestä, joka voi puolestaan selittää energia hintojen laskua” (Soliman & Nasir, 2019). Hammoudeh ym., (2014) huomaavat että positiivinen shokki maakaasun ja sähkön hintaan vaikuttaa laskevasti päästöoikeuksien hintaan. Positiivinen shokki raakaöljyn hinnassa puolestaan nostaa päästöoikeuksien hintaa välittömästi

lyhyellä tähtämellä. 3-8kk kuluttua shokista päästöoikeuksien hinta kuitenkin kääntyy laskuun (Hammoudeh ym., 2014).

Fan ym., (2017) saavat tapahtumia yhdessä tarkasteltuna tulokseksi, että millään ei ole merkittävää vaikutusta päästöoikeuksien hintaan. Heidän tuloksensa näyttävät, että myöskään millään yksittäisellä tapahtumatyyppillä ei ole merkittävää vaikutusta päästöoikeuksien hintaan. Verrattaessa tapahtumien positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia Fan ym., (2017) kuitenkin huomaavat negatiivisten vaikutusten olevan huomattavasti voimakkaampia. Tarkasteltaessa tapahtumia yksittäin huomataan, että 24 tapahtumalla on merkittävä vaikutus päästöoikeuksien hintaan (tutkittavana oli 50 erillistä tapahtumaa) (Fan ym., 2017). Tuloksiin pohjautuen Fan ym., (2017) toteavat, että politiikka muutoksilla, jotka vaikuttavat suoraan päästöoikeuksien kysyntään ja tarjontaan on merkittävä vaikutus markkinoilla. Puolestaan rutiinin omaisilla ilmoituksilla on heidän mukaansa vai pieni vaikutus markkinoihin. Nämä tulokset vahvistavat Fanin ym., (2017) mukaan EU:n päästökaupan politiikkamuutosten toimivuuden ja että näin pystyttäisiin ohjailemaan päästömarkkinoille osallistuvia tahoja toivottuihin suuntiin.

Doun ym., (2022) saamat tulokset ovat vakaita ja stabiileja. Tämän perusteella he huomaavat, että EPU vaikuttaa negatiivisesti päästöoikeuksien hintaan, tämä vaikutus on ilmeisin "Black swan"-tapahtumien aikaan. Lisäksi he huomaavat Covid-19-pandemian vaikutusten päästöoikeuksien hintaan olevan merkittävimmillään lyhyen- ja keskipitkän aikavälin tilanteissa.

Dong ym., (2022) huomaavat kaksi merkittävää käännekohtaa päästöoikeuksien hinnassa. Ensimmäinen, 13.3.2020 jolloin covid-19 pandemia iski Eurooppaan ja monet valtiot aloittivat sulut ja liikkumiskiellot. Tämä vaikutti päästöoikeuksien hintaan negatiivisesti (Dong ym., 2022). Toinen käännekohta oli 18.6.2020, jolloin Euroopan komissio ehdotti 750 miljardin euron suuruista elpymispakettia. Elpymispaketin tarkoituksena oli kiihdyttää jäsenmaiden siirtymistä vihreään energiaan ja hiilineutraaliuteen (Dong ym., 2022). Elpymispaketin seurauksena päästöoikeuksien hinnat ovat stabiloituneet ja lähteneet rauhalliseen nousuun (Dong ym., 2022).

3.2 Koronaepidemian vaikutus päästökauppaan

Tarkastellaan tässä luvussa, kuinka koko maailman laajuinen, vuonna 2019 alkanut koronaepidemia on vaikuttanut EU:n päästökauppaan ja päästöoikeuksien hintoihin. Luodaan katsaus myös markkinareservin toimivuuteen ja verrataan vuoden 2008 talouskriisiä, jolloin markkinareservi ei ollut käytössä, nykyyhetkeen. Onko koronaepidemia edistänyt EU:n asettamia tavoitteita hiilineutraaliudesta vuoteen 2050 mennessä, vai päinvastoin hidastanut tavoitteisiin pääsemistä?

Bruninx & Ovaere (2020) arvioivat Euroopan sulun (lockdown) ensimmäisen kolmen viikon vaikutuksia Euroopan päästökauppaan. He arvioivat, että päästöt ovat noin 38 miljoonaa tonnia kuukaudessa alhaisemmat, kuin

normaalisti. Päästöoikeuksien poistamisen takia Koronan aiheuttama shokki saattaa vaikuttaa sekä päästöoikeuksien hintaan että niiden kokonaismäärään (Bruninx & Ovaere, 2020). Bruninx & Ovaere (2020) käyttävät tutkimuksessa Bruninxin ym. (2019) esittelemää pitkän aikavälin tasapainomallia. Mallin avulla Bruninx & Ovaere (2020) osoittavat, että negatiivisen kysyntäshokin aikana markkinareservi toimii juuri niin kuin sen kuuluukin. "Negatiivisella kysyntäshokilla on hyvin rajoittunut vaikutus päästöoikeuksien hintaan ja näkyy suurelta osin pienempänä määränä päästöoikeuksia" (Bruninx & Ovaere, 2020). Arvioidakseen negatiivisen päästöoikeuksien kysyntäshokin kokoa Bruninx & Ovaere (2020) tarkastelevat sähköntuotannon, lentosektorin sekä teollisen tuotannon kuukausikohtaista päästöjen määrää.

Bruninx & Ovaere (2020) tutkivat koronan vaikutusta sähköntuotannon päästöihin käyttämällä viiden vuoden ajalta kerättyä tuntikohtaista dataa ja ajavat siitä regressioanalyysin. Regressioanalyysin avulla he pystyvät tunnistamaan tuntikohtaiset koronasta johtuvat muutokset päästöjä tuottavassa sähköntuotannossa.

		Kaasu	Ruskohiili	Antrasiitti	Öljy
Belgia	(Mh/h)	-770***	/	/	0
Tšekki	(Mh/h)	-69***	38***	-581***	12***
Ranska	(Mh/h)	-1114***	/	58	16
Saksa	(Mh/h)	-2861***	-1873***	-2860***	-91***
Iso-Britannia	(Mh/h)	-1037***	/	-1881***	0
Alankomaat	(Mh/h)	-41	/	568***	/
Portugali	(Mh/h)	-1	/	85***	/
Espanja	(Mh/h)	-3433***	317***	1449***	3
Yhteensä	(Mh/h)	-9427	-3152	-1519	-59
Päästö intensiteetti	(tCO ₂ /MWh)	0,374	0,97	1,04	0,624
Muutos päästöissä	(tCO ₂ /h)	-3526	-3057	-1580	-37

p<0,05 (*), p<0,01 (**), p<0,001 (***)

Taulukko 1 Covid-19 vaikutus sähköntuotantoon tuntitasolla (Bruninx & Ovaere, 2020)

Taulukossa 1 esitellään Bruninxin & Ovaeren (2020) tarkastelemat maat ja sähkön tuotannossa käytetyt päästöt aiheuttavat materiaalit. Taulukosta näemme, että koronalla on ollut merkittävä vaikutus päästöjen vähenemiseen sähköntuotannossa.

Lentosektorilla päästöt ovat vähentyneet 90 % koronaa edeltävään aikaan verrattuna vuonna 2018. Tämä tarkoittaa kuukausitasolla noin 5 megatonnia vähemmän lentosektorin hiilidioksidipäästöjä (Bruninx & Ovaere, 2020). Mitä pidempään samanlainen sulkua jatkuisi sitä suuremmat päästöjen vähennykset olisivat odotettavissa.

Teollisen tuotannon sektorilta päästötdataa ei ollut saatavilla vielä maaliskuussa 2020, joten Bruninx & Ovaere (2020) kykenevät ainoastaan arvioimaan koronan vaikutuksia kyseiseen sektoriin. Heidän arvionsa mukaan tuotanto olisi laskenut 50% koronaa edeltävään aikaan verrattuna (Bruninx & Ovaere, 2020).

Bruninx & Ovaere (2020) tulevat siihen tulokseen, että markkinareservi sekä päästöoikeuksien poistojärjestelmä toimivat erittäin tehokkaasti tasoittaessa päästöoikeuksien hintaa negatiivisen kysyntäshokin aikana. Päästöoikeuksien hinta laski vuonna 2020 alle 0,1€/tCO₂ (Bruninx & Ovaere, 2020). Tämän lisäksi Bruninx & Ovaere (2020) huomasivat, että kysyntäshokeilla on suurempi vaikutus päästöjen kokonaismäärään, kuin hintaan. Voidaankin huomata, että lyhyen aikavälin negatiiviset kysyntäshokit välittyvät markkinareservin ansiosta pienemmäksi määräksi päästöjä tulevaisuudessa (Bruninx & Ovaere, 2020). Pitkällä aikavälillä vaikutus ei kuitenkaan ole niin suuri, koska markkinareservi lakkaa toimimasta ennen kuin kysyntäshokki on kokonaan poistunut (Bruninx & Ovaere, 2020).

Bruninx & Ovaere (2020) mukaan tarkastellun kaltainen kysyntäshokki ei siis selitä todettua päästöoikeuksien hinnan alenemista, sillä markkinareservi on kykenevä suurelta osin tasoittamaan tällaisen shokin vaikutukset. Hinnan alenemisen saattaakin selittää yritysten muuttunut näkemys päästöoikeuksien kaupan kannattavuudesta. Ylisuuri luotto markkinareservin korjausliikkeeseen saattaa myös johtaa päästöoikeuksien hintojen laskuun (Bruninx & Ovaere, 2020).

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Aineisto

Tutkimuksen empiirisessä osiossa käytettävä aineisto on kerätty Refinitiv Dastream ohjelmasta aikavälillä 12.7.2019 – 14.7.2022 ja otoskoko on 785 aikasarjahavaintoa. Tarkastellaan tässä luvussa tutkimukseen valittuja muuttujia ja niiden perussuureita. Selitettävä muuttuja tutkimuksessa on päästöoikeuksien hinnan logaritminen muutos ($100 \cdot \ln(P_{t/t-1})$) Euroopan unionin päästömarkkinoilla. Selittäviksi muuttujiksi valittiin Aatola ym. (Aatola ym., 2013) seuraten sähkön hinta (sekä Saksan että Norpool -systeemihinta), raakaöljyn, hiilen, mineraalien ja teräksen hinta (kaikki logaritmisina tuottoina). Lisäksi selittäviin sisällytettiin rahoitusmarkkinoiden tilaa kuvaavia muuttujia: riskittömän korkotasoa mittaava Saksan valtion 3 kuukauden korko, lyhyen horisontin pankkiriskiä kuvaa TED Spread (Euribor 3 kuukautta miinus Saksan valtion 3 kuukauden korko), taloudellisen aktiviteetin muutoksia ennakoiva tuottokäyrän jyrkkyys (TERM, Saksan valtion 10 vuoden korko miinus Saksan valtion 3 kuukauden korko), osakemarkkinoiden epävarmuutta mittaava VSTOXX (STOXX 50 optioiden implisiittinen volatiilisuus) ja yrityslainojen ja valtion lainojen korkoero (Euroalueen BBB riskiluokkaan kuuluvien yritysten 10 vuoden lainojen korko miinus vastaavan maturiteettisten Saksan valtion lainojen korko). Rahoitusmarkkinamuuttujien valinta seurailee Koch (2014) ja Tan, Sirichand, Vivian & Wang (2020), ja osin Jiménez-Rodríguez (2019) artikkeleita.

Tämän lisäksi tutkimukseen on valittu 6 Covid-19-muuttujaa ja kaksi Ukrainan sotaan liittyvää dummy-muuttujaa. Covid-19-muuttujat kuvaavat taudin vaiheita kartoittamalla sairastuneiden, kuolleiden ja rokotettujen määrää. Näitä muuttujia tarkastelemalla saadaan riittävä tilastollinen käsitys pandemian etenemisestä ja pystytään huomaamaan, jos Covid-19-pandemialla on ollut vaikutus päästöoikeuksien hintaan. WHO julisti Covid-19-epidemian pandemiaksi 11.3.2020 (*Koronavirus (SARS-CoV-2, COVID-19)*, 2023), joten datamme tarkasteluväli ei sijoitu kokonaan pandemian ajalle. Tämä on tärkeää, jotta voidaan huomata pandemian mahdollisesti aikaansaama vaikutus päästöoikeuksien hintaan.

Ukrainan sotaan liittyvät kaksi dummy-muuttujaa ovat tärkeä lisä tutkimukseen. Sodan alun helmikuussa 2022 aiheuttamaa markkinoiden shokkireaktiota ei voida jättää huomiotta. Sodan huomiotta jättäminen johtaisi mahdollisesti tilastolliseen vääristymään, joten se on hyvä lisätä tutkimukseen.

Muuttuja	Selitys
Carbon	EUA päästöoikeuksien hinta
ElectricityGER	Saksalaisen sähkön hinta
ElectricityNordP	Nord pool sähkön hinta
Brent	Brent raakaöljyn hinta
Coal	Hiilen hinta

IronSteel	Teräksen hinta
MetalsMinerals	Mineraalien hinta
STOXX	STOXX Europe 50 indeksi
NEW	Uusien Covid-19 tapausten määrä
NEWPC	Uusien Covid-19 tapausten määrä, muutos %
DEATHS	Covid-19 kuolemien määrä
DEATHSPC	Covid-19 kuolemien määrä, muutos %
CASES	Covid-19 Tartuntojen määrä
VACCINATED	Covid-19 rokotettujen määrä %
EURIBOR	3kk Euribor korko
GER3M	Saksan valtion 3kk korko
VSTOXX	STOXX 50 optioiden implisiittinen volatilitetti
Gas	Kaasun hinta
TED	Euribor 3kk - Saksan valtion 3kk korko
CORP	Euroalueen BBB riskiluokan yritysten 10 v lainojen korko - Saksan valtion 10 v lainojen korko
TERM	Saksan valtion 10 v korko - Saksan valtion 3kk korko
CovidDown	Päästöoikeuksien hinnan romahdus, dummy
CovidUp	Päästöoikeuksien hinnan nopea nousu, dummy
WarDown	Ukrainan sodan alun päästöoikeuksien hinnan romahdus, dummy
WarUp	Ukrainan sodan romahdusta seurannut pikatoipuminen, dummy

Taulukko 2 Tutkimuksessa käytetyt muuttujat

Taulukkoon 3 on kirjattu ylös joitakin muuttujien perussuureita. Taulukosta on luonnollisesti jätetty dummy-muuttujat pois.

Tarkastelemalla Covid-19-muuttujia huomaamme, että yhdessä päivässä uusia tartuntoja on tullut suurimmillaan yli 2 miljoonaa ja koronan aiheuttamia kuolemia on ollut noin 2,5 miljoonaa. Covid-19-muuttujien huipukkuus ja vinous vaikuttavat olevan melko kohtuullisia, eikä niistä nouse mikään selvästi esille. Varianssi on puolestaan Covid-19-muuttujilla suurta. Suuri varianssi tarkoittaa suurta vaihtelua muuttujassa ja onkin mielenkiintoista nähdä vaikuttaako tämä korkea varianssi millään tavalla päästöoikeuksien hintaan.

Kun taas tarkastelemme muuttujien huipukkuutta, huomaamme sen olevan todella korkea. Huipukkuus voi viitata siihen, että datassa esiintyy outlier arvoja. Suurin huipukkuus on Nord Pool sähkön hinnalla arvolla ≈ 550 . Myös hiilen ja saksalaisen sähkön hinta saavat suuria huipukkuuksia. Pienimmät huipukkuuden arvot ovat puolestaan Covid-19 ja korkomuuttujilla.

Vinoutta tarkasteltaessa esille nousee myös Nord Pool sähkön hinta, joka saa vinoudestakin huomattavasti muita muuttujia suurempia lukemia. Tämä ei kuitenkaan välttämättä ole huono asia, sillä myös Nord Pool-sähkön hinnan keskiarvo on varsin korkea. Suurin negatiivinen vinous on puolestaan saksalaisen sähkön hinnalla. Tämä on yllättävää, koska sähkön hintojen voisi kuvitella reagoivan shokkeihin Euroopassa hyvin samalla tavalla.

Rahoitusinstrumenttien varianssi on hyvin pientä, joka oli odotettavissa. Rahoitusmarkkinoilla on jo pitkään vallinnut nollakorko tilanne ja korot ovat olleet melko staattisia. Pandemiolla ei ole tähän ollut suurta vaikutusta, kuten voidaan taulukosta 3 nähdä.

	Keskiarvo	Max	Min	Keskihajonta	Varianssi	Vinous	Huipukkuus
Carbon	0,13859	16,13779	-17,9494	3,024204	9,14581	-0,60316	8,346498
ElectricityGER	6,688947	1393,333	-2340	127,5845	16277,8	-4,4497	184,4856
ElectricityNordP	12,57498	3934,053	-82,0113	153,3738	23523,54	21,92447	549,6073
Brent	0,074385	41,51577	-64,1859	4,613872	21,28781	-2,73457	64,96216
Coal	0,048874	72,55405	-68,1664	4,183035	17,49778	1,076979	205,9081
IronSteel	0,016748	9,929232	-14,0133	1,43424	2,057044	-1,45202	23,02341
MetalsMinerals	0,058055	5,356549	-3,9843	0,731808	0,535543	0,677093	11,95918
STOXX	0,006361	8,071315	-12,1934	1,275379	1,626591	-1,45471	17,94131
NEW	223196,6	2058322	0	339358,3	1,15E+11	2,792212	11,69845
NEWPC	2,775687	127,4367	0	10,1095	102,2019	7,646233	72,24512
DEATHS	930867,9	2424104	0	867934,5	7,53E+11	0,411108	1,678673
DEATHSPC	2,648814	300	0	17,28967	298,9328	13,42985	212,3304
CASES	54771863	2,3E+08	0	69878807	4,88E+15	1,34229	3,557259
VACCINATED	24,01749	72,67	0	30,94965	957,8806	0,670132	1,575593
EURIBOR	-0,46148	0,002	-0,605	0,101082	0,010218	1,253039	4,630466
GER3M	-0,63529	-0,197	-1,01	0,095513	0,009123	-0,65292	6,895045
VSTOXX	0,119334	48,56626	-20,4195	8,11852	65,91037	1,054448	6,06246
Gas	0,333709	38,13676	-34,9895	6,277584	39,40806	0,749099	11,679
TED	0,173813	0,479	0,004	0,088211	0,007781	0,791886	3,410471
CORP	1,303931	2,428	0,921	0,362899	0,131696	1,412369	4,112345
TERM	0,426227	2,299	-0,194	0,475766	0,226353	1,863099	5,936276

Taulukko 3 Muuttujien perussuureita

Kuvaajaan 1 on piirretty päästöoikeuksien (EUA), raakaöljyn (Brent) ja hiilen (Coal) hinnan vaihtelut tutkimuksen tarkastelujakson ajalta. Kuvaajasta voidaan huomata pieni romahdus kaikkien muuttujien osalta helmikuussa 2020, jolloin Covid-19 julistettiin pandemiaksi. Tätä pientä romahdusta seurasi korjausliike ja merkittävä romahdus, joka alkoi huhtikuussa 2020.

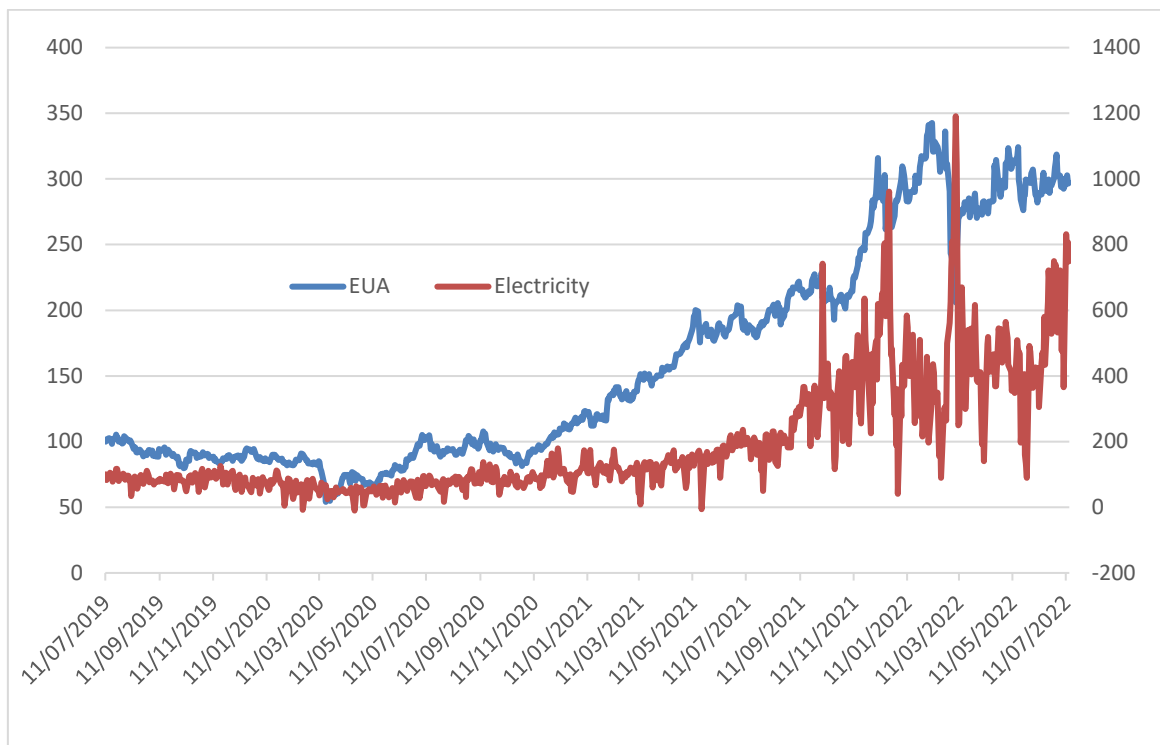
Shokista selviytyttyä alkoi päästöoikeuksia hinta kohota talvella 2020 selvästi hiilen ja öljyn hintoja nopeammin. Kasvu kuitenkin loppui helmikuussa 2022, jolloin päästöoikeuksien hinta romahti merkittävästi. Samanlaista romahdusta ei ole nähtävillä hiilen tai öljyn hinnassa. Päinvastoin öljyn hinta koki jopa pienen hypyn ylöspäin. Tämä on loogista, sillä päästöoikeuksien halventuessa on yritysten kannattavampaa lisätä fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Suurin piikki ylöspäin tuli hiilelle kesäkuussa 2022, jolloin hiilen hinta yli kaksinkertaistui. Hinta kuitenkin palautui lähes lähtötasolle heti nousun jälkeen.



Kuvio 1 Päästöoikeuksien hinta suhteessa öljyn ja hiilen hintaan

Kuvaajasta 1 oli jätetty kokonaan sähkön hinta pois, koska suuri volatiilisuus ja suuremmat hinnat olisivat tehneet kuvaajasta vaikeasti tulkittavan. Siitä syystä kuvaajassa 2 on vertailussa päästöoikeuksien ja sähkön hinta erikseen. Kuvaajassa 2 vasemmalla y-akselilla on merkitty päästöoikeuksien hinta ja oikealla y-akselilla Saksan markkinoiden sähkön johdannaisten hinta.

Sähkön hinta on vaihdellut huomattavasti enemmän kuin päästöoikeuksien hinta. Sähkön hinta on käynyt hetkittäin jopa negatiivisena. Negatiivinen sähkön hinta kuitenkin ajoittuu ajallisesti kesäkuukausille, eikä juurikaan seuraa päästöoikeuksien hinnan liikehdintää. Tämä voi johtua siitä, että kesäkuukausien aikaan ei asuntoja tarvitse lämmittää yhtä paljon kuin kylmempien kuukausien aikaan ja näin ollen energialle ei ole yhtä suurta tarvetta. Sähkön hinta on ollut koko tarkastelujaksona volatiilista, mutta lokakuussa 2021 myös varianssi kasvoi merkittävästi.



Kuvio 2 Päästöoikeuksien hinta suhteessa saksalaisen sähkön hintaan

4.2 Menetelmät

Tutkimuksessa käytettäväksi menetelmäksi valittiin pienimmän neliösumman regressioanalyysi ja selittävät muuttujat on valittu Aatola ym., (2013) mukaisesti täydentäen kuitenkin Covid-19-pandemiaan ja Ukrainassa käytävään sotaan liittyvillä muuttujilla.

$$\begin{aligned}
 EUA_t = & \alpha_0 + \beta_1 ElectricityGER_t + \beta_2 ElectricityNordP_t + \beta_3 Brent_t + \beta_4 Coal_t \\
 & + \beta_5 IronSteel_t + \beta_6 MetalsMinerals_t + \beta_7 STOXX_t + \beta_8 NEW_t \\
 & + \beta_9 NEWPC_t + \beta_{10} DEATHS_t + \beta_{11} DEATHSPC_t + \beta_{12} CASES_t \\
 & + \beta_{13} VACCINATED_t + \beta_{14} EURIBOR_t + \beta_{15} GER3M_t + \beta_{16} VSTOXX_t \\
 & + \beta_{17} Gas_t + \beta_{18} TED_t + \beta_{19} CORP_t + \beta_{20} TERM_t + \beta_{21} CovidDown_t \\
 & + \beta_{22} CovidUp_t + \beta_{23} WarDown_t + \beta_{24} WarUp_t + u_t
 \end{aligned}$$

1

Kaava 1 on tutkimuksessa käytetyn PNS regressioanalyysin matemaattinen esitysformaatio kaikkine muuttujineen. Kaavassa EUA kuvaa päästöoikeuksien hinnan logaritmisesta muutoksesta ja t havaintoyksikköä (aikaa). α_0 on vakiotermin, β ovat esitettävissä olevia parametreja ja u_t on mallin virhetermi.

Dataa estimoitiiin myös Markow switching-mallilla, jossa seurattiin Gullen ym., (2011) suorittamaa aikaisempaa tutkimusta.

$$r_t = \beta_{0,s_t} + \beta'_{s_t} x_{t-1} + \epsilon_t \text{ jossa } \epsilon_t \approx N(0, \sigma_{s_t}^2)$$

2

Kaavassa (2) $S_t = 1, 2$ viittaa havaitsemattomaan taloudellista regiimiä indikoivaan Markov-prosessia seuraavaan muuttujaan.

Jotta eri tasojen kehitystä voidaan tarkastella ajassa, oletetaan niiden seuraavan ensimmäisen asteen Markov ketjua

$$\begin{aligned} p_t &= P(S_t = 1 | S_{t-1} = 1, Y_{t-1}) = p(Y_{t-1}); \\ 1 - p_t &= P(S_t = 2 | S_{t-1} = 1, Y_{t-1}) = 1 - p(Y_{t-1}); \\ q_t &= P(S_t = 2 | S_{t-1} = 2, Y_{t-1}) = q(Y_{t-1}); \\ 1 - q_t &= P(S_t = 1 | S_{t-1} = 2, Y_{t-1}) = q(Y_{t-1}), \end{aligned}$$

3

jossa Y_{t-1} on relevantin informaation sisältävien muuttujien vektori ajassa t-1 ja se vaikuttaa tason siirtymän todennäköisyyteen välillä t-1 ja t.

Arvioidaan seuraavaksi mallin parametrit käyttämällä suurimman uskottavuuden menetelmää, jolloin havaintojen tiheysfunktio saa muodon:

$$f(r_t | \Omega_{t-1}, S_t = j; \theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_j}} \exp\left(\frac{-(r_t - \beta_{0,j} - \beta'_j X_{t-1})^2}{2\sigma_j}\right),$$

4

Kun $j = 1, 2$, Ω_{t-1} on informaatiojoukko, joka sisältää kaiken relevantin informaation mukaan lukien muuttujat ja vektorit $X_{t-1}, r_{t-1}, Y_{t-1}$, koko otoksen logaritminen uskottavuusfunktio on:

$$\mathcal{L}(r_t | \Omega_{t-1}; \theta) = \sum_{t=1}^T \log(\phi(r_t | \Omega_{t-1}; \theta)),$$

5

jossa tiheys, $\phi(r_t | \Omega_{t-1}; \theta)$, määritetään laskemalla yhteen todennäköisyyden mukaan painotetut regiimien tiheydet, $f(\cdot)$. Kahta mahdollista regiimiä tarkasteltaessa kaava näyttää seuraavalta:

$$\phi(r_t | \Omega_{t-1}; \theta) = \sum_{j=1}^2 f(r_t | \Omega_{t-1}, S_t = j; \theta) P(S_t = j | \Omega_{t-1}; \theta),$$

6

tässä $P(S_t = j|\Omega_{t-1}; \theta)$ on regiimin j ehdollinen todennäköisyys ajassa t ajassa $t-1$ saatujen tietojen perusteella.

Regiimien ehdolliset todennäköisyydet saadaan puolestaan laskemalla:

$$P(S_t = i|\Omega_{t-1}; \theta) = \sum_{j=1}^2 P(S_t = i|S_{t-1} = j, \Omega_{t-1}; \theta)P(S_{t-1} = j|\Omega_{t-1}; \theta),$$

7

Jossa regiimien ehdolliset todennäköisyydet voidaan johtaa Bayesin teoreeman mukaan

$$\begin{aligned} & P(S_{t-1} = j|\Omega_{t-1}; \theta) \\ &= \frac{f(r_{t-1}|S_{t-1} = j, X_{t-1}, Y_{t-1}, \Omega_{t-2}; \theta)P(S_{t-1} = j|X_{t-1}, Y_{t-1}, \Omega_{t-2}; \theta)}{\sum_{j=1}^2 f(r_{t-1}|S_{t-1} = j, X_{t-1}, Y_{t-1}, \Omega_{t-2}; \theta)P(S_{t-1} = j|X_{t-1}, Y_{t-1}, \Omega_{t-2}; \theta)}. \end{aligned}$$

8

Seuraamalla Gullen ym., (2011) mallia, saamme johdettua eri regiimien todennäköisyyksiksi, $P(S_t = j|\Omega_{t-1}; \theta)$. Tästä saadaan kerättyä myös todennäköisyysyh-tälön parametrien estimaatit.

5 TULOKSET

Tässä luvussa esitellään kokeessa saadut tulokset ja vertaillaan niitä aikaisempaan kirjallisuuteen. Taululukossa 4 on esitetty PNS-regression tulokset ja Taululukossa 5 MS-regression tulokset. Luvun lopussa olevasta kuvaajasta nähdään MS-regression regimien todennäköisyydet, joka auttaa tulosten tulkinnassa.

Muuttuja	b	p
ElectricityNordP	0,0009***	0,0026
Brent	0,0648***	0,0022
Coal	0,0048248	0,7781
IronSteel	0,0338622	0,5809
MetalsMinerals	0,0438933	0,8150
STOXX	0,6392***	0,0001
NEWPC	0,0043619	0,7187
DEATHSPC	0,0020618	0,6864
CASES	-3,74E-10	0,9611
VACCINATED	-0,003698	0,6223
EURIBOR	0	
GER3M	-3,7442*	0,0849
VSTOXX	-0,0167	0,4229
Gas	0,1067***	0,0000
TED	-2,614736	0,3601
CORP	0,6271103	0,4208
TERM	0,1950318	0,8016
CovidDown	-3,2973*	0,0681
CovidUp	1,1218571	0,4021
WarDown	-7,4325***	0,0025
WarUp	9,8973***	0,0002
_cons	-2,588314	0,1466

Taulukko 4 PNS-regressio (R2: 27,51%; 99%: ***, 95%: **, 90%: *)

Regiimi	Muuttuja	b	p
Carbon	WarUp	14,2060***	0,0000
Carbon	WarDown	-5,2542***	0,0102
Carbon	CovidUp	1,8896417	0,1848
Carbon	CovidDown	-1,7397483	0,1634
Carbon	NEWPC	0,0014172	0,8742
State1	ElectricityNordP	0,0307***	0,0095
State1	Brent	-0,3704***	0,0025
State1	Coal	-1,2227***	0,0003
State1	MetalsMinerals	1,6607***	0,0009
State1	IronSteel	-0,2486849	0,6843

State1	Gas	0,2892***	0,0004
State1	VSTOXX	0,0668153	0,5423
State1	STOXX	4,1966***	0,0000
State1	TERM	-0,2325833	0,8687
State1	CORP	2,5024124	0,4364
State1	TED	-16,547429	0,2880
State1	_cons	-1,7183321	0,4338
State2	ElectricityNordP	0,0011907	0,5223
State2	Brent	0,0828***	0,0000
State2	Coal	0,0194493	0,3098
State2	MetalsMinerals	-0,220842	0,1351
State2	IronSteel	0,0707784	0,2381
State2	Gas	0,1049***	0,0000
State2	VSTOXX	-0,0345*	0,0645
State2	STOXX	0,2805*	0,0743
State2	TERM	0,2297967	0,3732
State2	CORP	-0,5131216	0,1771
State2	TED	1,3296734	0,2458
State2	_cons	0,5561086	0,1246
Insigma1	_cons	0,9569***	0,0000
Insigma2	_cons	0,7464***	0,0000
p11	_cons	0,389488	0,4847
p21	_cons	2,7210***	0,0000
_diparm1	sigma1	2,6037	
_diparm1	sigma2	2,1096	
_diparm1	p11	0,4038	
_diparm1	p21	0,0617	

Taulukko 5 Markov-switching (Var: 0,003811907; 99%: ***, 95%: **, 90%: *)

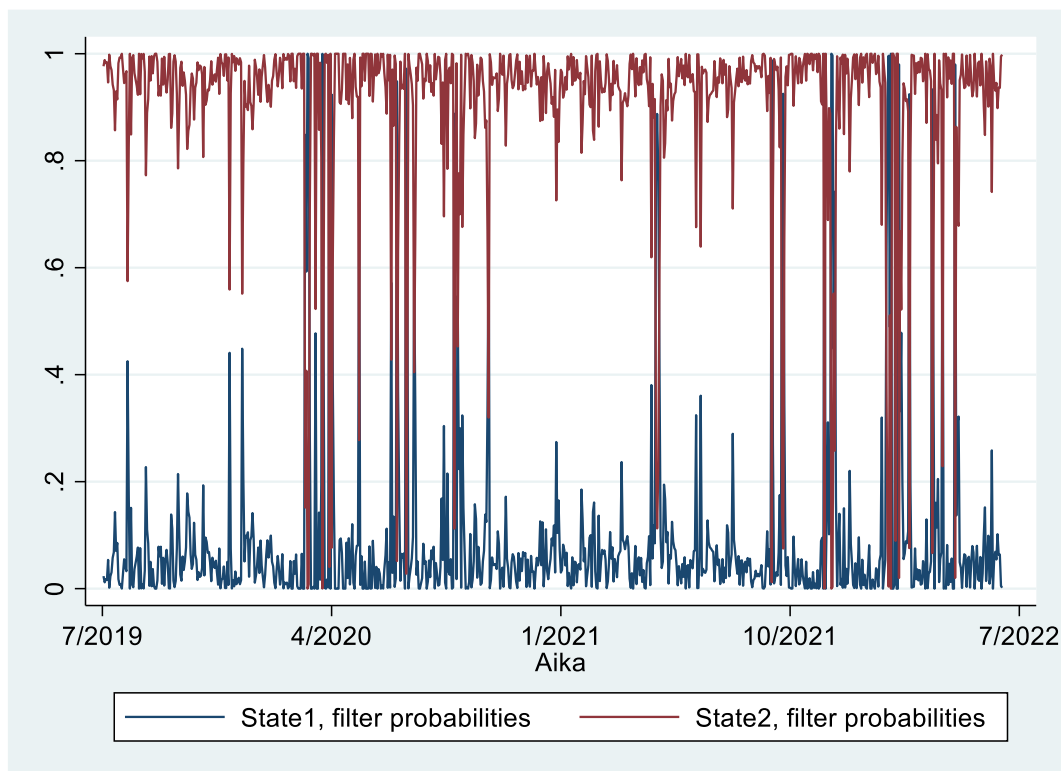
Tarkasteltaessa muuttujien parametriestimaatteja ja niiden merkitsevyyksiä huomataan, että sähköllä on päästöoikeuksien hintaan 99% tasolla merkitsevä ja positiivinen vaikutus PNS- ja MS-regression 1 regiimissä. 2 regiimin tulokset eivät ole sähkön kohdalla tilastollisesti merkitseviä. Saadut tulokset vastaavat hyvin aikaisempaa kirjallisuutta (Aatola ym., 2013; Batten ym., 2021; Hammoudeh ym., 2014). Myös öljyn (Brent) hinta on merkitsevä 99% tasolla, sekä PNS- että MS-regressioissa. PNS-regression positiivinen parametriestimaatti vastaa Batten ym. (2021) saamia tuloksia jälkimmäiseltä periodilta, mutta on ristiriidassa Hammoudeh ym. (2014) tulosten kanssa. Markov-switching malli saa puolestaan 1. regiimissä negatiivisen kertoimen ja 2. regiimissä positiivisen kertoimen. Molemmat tulokset ovat lisäksi merkitseviä 99% tasolla. Kivihiilellä (Coal) ei ole PNS-regressiossa merkitsevää vaikutusta päästöoikeuksien hintaan, joka vastaa Boersen & Scholtensin (2014) aikaisempaa tutkimusta. Tulos on kuitenkin ristiriidassa usean aikaisemman tutkimuksen kanssa (Aatola ym., 2013; Batten ym., 2021; Hammoudeh ym., 2014). MS-regressio saa puolestaan ensimmäisessä regiimissä

99% tasolla merkitsevän negatiivisen kertoimen. Kaasulla on puolestaan 99% tasolla merkitsevä positiivinen vaikutus kaikissa malleissa. Tämä vastaa Aatola ym. (2013) ja Boersen & Scholtensin (2014) saamia aikaisempia tuloksia.

Tarkasteltaessa rahoitusmarkkinamuuttujia (STOXX, TERM, CORP, TED, GER3M) huomataan että ainoastaan STOXX on tilastollisesti merkitsevä kaikissa malleissa (PNS ja state1 99%, state2 90%). Myös 3 kuukauden Saksan valtion korolla on PNS-regressiossa tilastollisesti merkitsevä (90%) negatiivinen vaikutus. Muilla rahoitusmarkkinamuuttujilla ei ole tilastollisesti merkitsevää vaikutusta päästöoikeuksien hintaan. On kuitenkin hyvä muistaa, että tämä ryhmä indikoi lähinnä kokonaistaloudellista aktiiviteettia ja siihen kohdistuvia odotuksia.

Covid-19-muuttujia tarkasteltaessa voidaan huomata, että ainoa tilastollisesti merkitsevä muuttuja on PNS-regression CovidDown, joka on merkitsevä 90% tasolla ja saa negatiivisen arvon. MS-regressiossa Covid-19-muuttujilla ei ole tilastollisesti merkitsevää vaikutusta, joka vastaa Brunix & Ovaere (2020) saamia aikaisempia tuloksia.

Tutkimuksessa on merkittävää huomata, että Ukrainan sodan dummyt ovat molemmissa malleissa merkitseviä 99% tasolla ja saavat lisäksi erittäin suuria arvoja. Tulokset ovat uusia, eikä aikaisempaa tutkimusta aiheesta ole tehty. WarDown muuttujalla on välitön, negatiivinen ja tilapäinen vaikutus päästöoikeuksien hintaan. WarUp muuttujan vaikutus on puolestaan positiivinen, välitön ja tilapäinen. WarDown muuttuja saa arvon yksi välillä 24.2.2022 - 7.3.2022 ja WarUp välillä 8.3.2022 - 10.3.2022.



Kuvaaja 3 regimien todennäköisyys

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä on tutkittu Energian hinnan, Covid-19-pandemian ja Ukrainan sodan vaikutuksia EUA-päästöoikeuksien hintaan. Tutkimus suoritettiin analysoimalla aikasarja-aineistoa PNS- ja Markov-switching-regressioilla. Tuloksia vertailtiin myös aikaisempaan kirjallisuuteen aiheesta.

Keskeisimpiä tuloksia tutkimuksessa on Covid-19-pandemian, sekä Ukrainan sodan merkittävät vaikutukset. Covid-19-pandemian vaikutuksista saadut tulokset mukailevat suuresti aikaisempaa kirjallisuutta. Ukrainan sodan vaikutuksista ei puolestaan ole aikaisempia tutkimuksia, joten saadut tulokset ovat erittäin mielenkiintoisia. Covid-19 ja Ukrainan sotaan liittyvien tulosten lisäksi huomattiin energian hinnalla olevan aikaisempaa kirjallisuutta mukaileva vaikutus päästöoikeuksien hintaan.

Mahdollisia jatkotutkimuksia aiheesta voitaisiin tehdä esimerkiksi Ukrainan sotaan liittyen. Sodan vaikutuksia voitaisiin tarkastella pidemmällä aikavälillä, sekä muuttujia lisäämällä. Tämän lisäksi voitaisiin tutkimuksessa huomioida myös sodasta seuranneiden Venäjän pakotteiden vaikutus päästöoikeuksien hintaan. Toisena mahdollisena jatkotutkimuksena voitaisiin lähteä tarkastelemaan "black swan"-tapahtumien vaikutusta tarkemmin valtioiden tasolla. Olisiko vain tiettyä valtiota koskettavalla shokilla vaikutusta koko päästöoikeusmarkkinoihin?

7 LÄHTEET

- 2050 long-term strategy. (2020, lokakuuta 28). https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en
- A European Green Deal. (ei pvm.). [Text]. European Commission - European Commission. Noudettu 16. marraskuuta 2021, osoitteesta https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- Aatola, P., Ollikainen, M., & Toppinen, A. (2013). Price determination in the EU ETS market: Theory and econometric analysis with market fundamentals. *Energy Economics*, 36, 380–395. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.09.009>
- Batten, J. A., Maddox, G. E., & Young, M. R. (2021). Does weather, or energy prices, affect carbon prices? *Energy Economics*, 96, 105016. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105016>
- Boersen, A., & Scholtens, B. (2014). The relationship between European electricity markets and emission allowance futures prices in phase II of the EU (European Union) emission trading scheme. *Energy*, 74, 585–594. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.024>
- Bruninx, K., & Ovaere, M. (2020). *Estimating the Impact of COVID-19 on Emissions and Emission Allowance Prices Under EU ETS*. 3.
- Bruninx, K., Ovaere, M., Gillingham, K., & Delarue, E. (2019). *The unintended consequences of the EU ETS cancellation policy*. 11.
- Development of EU ETS (2005-2020). (ei pvm.). Noudettu 20. lokakuuta 2021, osoitteesta https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_en
- Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC (Text with EEA relevance), 32003L0087, EP, CONSIL, OJ L 275 (2003). <http://data.europa.eu/eli/dir/2003/87/oj/eng>
- Dong, F., Gao, Y., Li, Y., Zhu, J., Hu, M., & Zhang, X. (2022). Exploring volatility of carbon price in European Union due to COVID-19 pandemic. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6), 8269–8280. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16052-1>
- Dou, Y., Li, Y., Dong, K., & Ren, X. (2022). Dynamic linkages between economic policy uncertainty and the carbon futures market: Does Covid-19 pandemic matter? *Resources Policy*, 75, 102455. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102455>
- EU Emissions Trading System (EU ETS). (ei pvm.). Noudettu 20. lokakuuta 2021, osoitteesta https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en
- EU:n päästökauppajärjestelmä | Ajankohtaista | Euroopan parlamentti. (2018, maaliskuuta 26). <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20170213STO62208/eu-n-paastokauppajarjestelma>

- EUR-Lex – 52000DC0087 – EN - EUR-Lex.* (ei pvm.). Noudettu 20. lokakuuta 2021, osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52000DC0087>
- Fan, Y., Jia, J.-J., Wang, X., & Xu, J.-H. (2017). What policy adjustments in the EU ETS truly affected the carbon prices? *Energy Policy*, 103, 145–164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.008>
- Gerlagh, R., Heijmans, R. J. R. K., & Rosendahl, K. E. (2020). COVID-19 Tests the Market Stability Reserve. *Environmental and Resource Economics*, 76(4), 855–865. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00441-0>
- Gulen, H., Xing, Y., & Zhang, L. (2011). Value versus Growth: Time-Varying Expected Stock Returns. *Financial Management*, 40(2), 381–407. <https://doi.org/10.1111/j.1755-053X.2011.01146.x>
- Hammoudeh, S., Nguyen, D. K., & Sousa, R. M. (2014). What explain the short-term dynamics of the prices of CO2 emissions? *Energy Economics*, 46, 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.07.020>
- How cap and trade works.* (2022, lokakuuta 28). Environmental Defense Fund. <https://www.edf.org/climate/how-cap-and-trade-works>
- Jiménez-Rodríguez, R. (2019). What happens to the relationship between EU allowances prices and stock market indices in Europe? *Energy Economics*, 81, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.03.002>
- Koch, N. (2014). Dynamic linkages among carbon, energy and financial markets: A smooth transition approach. *Applied Economics*, 46(7), 715–729. <https://doi.org/10.1080/00036846.2013.854301>
- Koronavirus (SARS-CoV-2, COVID-19).* (2023, toukokuuta 11). Duodecim Terveyskirjasto. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01257>
- Market Stability Reserve.* (ei pvm.). Noudettu 16. marraskuuta 2021, osoitteesta https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve_en
- Revision for phase 4 (2021-2030).* (ei pvm.). Noudettu 25. lokakuuta 2021, osoitteesta https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/revision-phase-4-2021-2030_en
- Soliman, A. M., & Nasir, M. A. (2019). Association between the energy and emission prices: An analysis of EU emission trading system. *Resources Policy*, 61, 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.12.005>
- Tan, X., Sirichand, K., Vivian, A., & Wang, X. (2020). How connected is the carbon market to energy and financial markets? A systematic analysis of spillovers and dynamics. *Energy Economics*, 90, 104870. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104870>
- Union Registry.* (ei pvm.). Noudettu 25. lokakuuta 2021, osoitteesta https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/union-registry_en