



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Liisa-Maria Linnala

**Öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla
esiintyvän epävarmuuden vaikutus
päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin**

Laskentatoimen ja rahoituksen
akateeminen yksikkö
Taloustieteen pro gradu -tutkielma
Taloustieteen maisteriohjelma

Vaasa 2020

VAASAN YLIOPISTO**Akateeminen yksikkö****Laskentatoimen ja rahoituksen akateeminen yksikkö****Tekijä:**

Liisa-Maria Linnala

Tutkielman nimi:

Öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin

Tutkinto:

Kauppatieteiden maisteri

Oppiaine:

Taloustieteen maisteriohjelma

Työn ohjaaja:

Saara Hämäläinen ja Jaana Rahko

Valmistumisvuosi:

2020

Sivumäärä: 88

TIIVISTELMÄ:

Päästökaupan tarkoituksena on asettaa hiille hinta, jotta kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuvat, negatiiviset ulkoisvaikutukset – kuten ilmaston lämpeneminen – saadaan sisällytettyä markkinoille. Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä, joka tunnetaan ilmastonmuutoksen torjumisen kulmakivenä, on ensimmäinen ja tällä hetkellä maailman laajin toiminnassa oleva päästökauppajärjestelmä. EU ETS -järjestelmän ongelmana on kuitenkin ollut pitkään päästöoikeuksien ylitarjonnasta johtunut hiilen alhainen hinta ja sen voimakas vaihtelu, mikä on vaikuttanut negatiivisesti EU:n päästökaupan tehokkuuteen. Päästömarkkinoiden volatiliteetin taustalla olevia tekijöitä on tutkittu suhteellisen vähän. Aikaisemmat tutkimukset ovat keskittyneet erityisesti päästöoikeuden hintaan vaikuttaviin tekijöihin. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarjota tietoa siitä, vaikuttaako öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvä epävarmuus päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin, eli heijastuuko makrotaloudellinen epävarmuus päästömarkkinoille.

ARCH- ja GARCH-malleja käytetään laajasti volatiliteetin mallintamisessa. Tässä tutkielmassa öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin arvioidaan empiirisesti GARCH(1,1)-mallilla. GARCH-malleilla voidaan tutkia volatiliteettia, vaikka satunnaismuuttujat olisivat heteroskedastisia, ja kyseiset mallit kykenevät ottamaan huomioon myös omaisuuserille tyypilliset tilastotieteelliset ominaisuudet, kuten jakauman huipukkuuden, volatiliteetin klusteroinnin sekä vipuvaikutuksen. Öljymarkkinoiden epävarmuuden indikaattorina käytetään raakaöljyn implisiittistä volatiliteetti-indeksiä OVX ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden indikaattorina puolestaan implisiittisen volatiliteetin indeksiä VSTOXX.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että öljy- ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvä epävarmuus vaikuttaa päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin. Näin ollen makrotaloudellinen epävarmuus heijastuu päästömarkkinoille sekä öljy- että osakemarkkinoiden kautta. Tutkimuksessa havaitaan lisäksi, että öljymarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin on positiivista eli öljymarkkinoiden epävarmuuden kasvaessa myös päästöoikeuden hinnan volatiliteetti kasvaa. Sitä vastoin tulokset osoittavat, että Euroopan osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden ja päästöoikeuden hinnan volatiliteetin välillä vallitsee negatiivinen riippuvuus: kun epävarmuus kasvaa Euroopan osakemarkkinoilla, päästöoikeuden hinnan volatiliteetti heikkenee. Päästöoikeuden hinnan vaihtelun taustalla olevien tekijöiden tunnistaminen auttaa tehostamaan päästökaupan ohjausvaikutusta, kun tiedetään, miten volatiliteettia voidaan vähentää. Ohjauskeinon tehokkuuden lisääminen auttaa puolestaan vähentämään päästövähennyksistä aiheutuvia kokonaiskustannuksia. Volatiliteetin taustalla olevien tekijöiden tunnistaminen auttaa myös yrityksiä ja sijoittajia suojautumaan hinnanvaihtelulta.

AVAINSANAT: päästökauppa, EU ETS, volatiliteetti, implisiittinen volatiliteetti, markkinaepävarmuus, GARCH

Sisällys

1	JOHDANTO	7
2	PÄÄSTÖKAUPAN TEOREETTISET LÄHTÖKOHDAT	10
2.1	Markkinoiden epäonnistumiset ja niiden korjaaminen	10
2.2	Ulkoisvaikutukset, Pigoun verotus ja Coasen teoreema	14
3	PÄÄSTÖKAUPAN TOIMINTA, TEHOKKUUS JA EU ETS -JÄRJESTELMÄ	19
3.1	Päästökaupan periaatteet ja päästölupien allokaatio	19
3.2	Tehokkuus päästömarkkinoilla	23
3.3	Päästökaupan edut ja puutteet ohjauksena	25
3.4	Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä	28
3.4.1	Päästökaupan tausta Euroopan unionissa	28
3.4.2	EU ETS -järjestelmän tehokkuus ja toimivuus	29
3.4.3	Päästöluvan hinta ja hintakehitys	33
4	EPÄVARMUUS JA SEN ESIINTYMINEN MARKKINOILLA	38
4.1	Volatiliteetti epävarmuuden mittarina	38
4.2	Epävarmuus osakemarkkinoilla	42
4.3	Epävarmuus öljymarkkinoilla	44
4.4	Epävarmuus päästömarkkinoilla	45
5	PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN VOLATILITEETIN EMPIIRINEN ANALYYSI	50
5.1	Aineisto ja tutkimusmenetelmä	51
5.1.1	Aineiston kuvaus	51
5.1.2	GARCH-mallit	63
5.2	Tulosten analysointi	65
5.2.1	GARCH(1,1)-mallin tulokset	65
5.2.2	Estimointitulosten robustisuuden testaaminen	69
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	74
	LÄHDELUETTELO	77

Kuviot

Kuvio 1. Päästöoikeuksien ostaminen ja myyminen kustannustehokkaasti eli päästöjen vähentämisen rajakustannuksen suhde vähennettyjen päästöjen määrään.	22
Kuvio 2. Päästöoikeuden hinnan kehitys EU ETS -järjestelmässä vuosina 2005–2020.	35
Kuvio 3. Negatiivisen kysyntäshokin vaikutus päästöoikeuden hintaan.	47
Kuvio 4. Päästöoikeuden hinnan sekä OVX- ja VSTOXX-indeksin kehitys aikavälillä 1.7.2009–28.12.2016.	54
Kuvio 5. OVX-volatiliteetti-indeksin logaritmisten tuottojen aikasarja.	58
Kuvio 6. VSTOXX-volatiliteetti-indeksin logaritmisten tuottojen aikasarja.	58
Kuvio 7. Päästöoikeuden hinnan logaritmisten tuottojen aikasarja.	59

Taulukot

Taulukko 1. Hyödykkeiden ominaisuudet esimerkkeineen.	12
Taulukko 2. Päästöoikeuksien hinta-aineistossa esiintyneiden poikkeavien havaintojen päivämäärät.	53
Taulukko 3. Tärkeimmät päästöoikeuden (EUA) hinnan sekä OVX- ja VSTOXX-indeksien jakaumia kuvaavat tunnusluvut sekä Jarque-Bera-normaalisuustestin tulokset vuodesta 2009 vuoteen 2016.	55
Taulukko 4. Tärkeimmät päästöoikeuden hinnan (EUA) logaritmistä tuoton sekä OVX- ja VSTOXX-indeksien logaritmisten tuottojen jakaumia kuvaavat tunnusluvut sekä Jarque-Bera-normaalisuustestin tulokset vuodesta 2009 vuoteen 2016.	57
Taulukko 5. Päästöoikeuden hinnan sekä OVX- ja VSTOXX-indeksin väliset korrelaatiomatriisit koko periodilla ja sen alaperiodeilla.	60
Taulukko 6. Päästöoikeuden hinnan logaritmisten tuottojen sekä OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmisten tuottojen väliset korrelaatiomatriisit koko periodilla ja sen alaperiodeilla.	61
Taulukko 7. OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmisten tuottojen neliöiden väliset korrelaatiomatriisit koko periodilla ja sen alaperiodeilla.	62

- Taulukko 8.** GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset OVX:n vaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin koko periodilla sekä sen alaperiodeilla. 66
- Taulukko 9.** GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset VSTOXX:n vaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin koko periodilla sekä sen alaperiodeilla. 67
- Taulukko 10.** GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset OVX:n ja VSTOXX:n yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin koko periodilla sekä sen alaperiodeilla. 68
- Taulukko 11.** EGARCH(1,1)-mallin estimointitulokset OVX:n ja VSTOXX:n yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin koko periodilla. 71
- Taulukko 12.** GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset OVX:n ja VSTOXX:n vaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin eri virhetermin jakaumilla koko periodilla. 72

Lyhenteet

ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
CDM	Clean Development Mechanism
ECX	European Climate Exchange
EGARCH	Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
EU	Euroopan unioni
EU ETS	Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
GED	Generalized Error Distribution
IET	International Emissions Trading
JI	Joint Implementation
MMtCO₂-e	Miljoona metristä hiilidioksidiekvivalenttitonnia
PNS	Pienimmän neliösumman menetelmä
SCC	Social cost of carbon
SGARCH	Standard Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VaR	Value at Risk
YK	Yhdistyneet kansakunnat

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos on aikamme merkittävin esimerkki negatiivisesta ulkoisvaikutuksesta ja siten myös markkinoiden epäonnistumisesta (Stern, 2007). Kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavat toimijat eivät kanna vastuuta ympäristöä saastuttavista toimistaan omistusoikeuksien puuttuessa, jolloin kasvihuonekaasupäästöt aiheuttavat kustannuksia muille talouden toimijoille. Tällöin puhutaan hiilen sosiaalisesta kustannuksesta, jolla viitataan päästöjen aiheuttamaan kokonaiskustannukseen (Nordhaus, 2011b). Koska vesistöille ja muille ekosysteemeille ei voida määritellä omistusoikeuksia, esimerkiksi vesistöä saastuttavan tehtaan ei tarvitse kantaa vastuuta – eli maksaa kompensatiota – ympäristöä kuormittavista toimistaan, minkä vuoksi negatiivinen ulkoisvaikutus ei näy markkinahinnoissa eli kyse on markkinoiden epäonnistumisesta.

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on laadittu niin kansallisia kuin kansainvälisiä päästötavoitteita muun muassa Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastopöytäkirjaan sisältyvään Kioton pöytäkirjaan pohjautuen. Esimerkiksi Euroopan unioni (EU) on sitoutunut vähentämään hiilidioksidipäästöjään 80%:lla vuoteen 2050 mennessä (Euroopan komissio, 2015). Markkinapohjaiset ohjaukeinot – päästökauppa mukaan lukien – ovat merkittävimpiä tekijöitä päästötavoitteiden saavuttamisessa, koska niiden avulla hiilelle saadaan hinta. Hiilen hinnoittelun kautta negatiivinen ulkoisvaikutus tulee hinnoiteltua ja sisällytettyä markkinoille. Euroopan unionin päästökauppajärjestelmän (EU ETS) yksi merkittävimmistä ongelmista on kuitenkin ollut päästöoikeuden alhainen hinta. Hiilen hinta on myös vaihdellut voimakkaasti velvoitekausien aikana. Päästöoikeuden alhainen hinta ja hinnan tasoon liittyvä epävarmuus vähentävät päästökaupan tehokkuutta ja ohjauksivaikutusta merkittävästi.

Tämän tutkielman tarkoituksena on tutkia öljymarkkinoilla sekä Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin käyttäen implisiittisen volatiliteetin indeksejä OVX ja VSTOXX öljymarkkinoiden ja Euroopan osakemarkkinoiden epävarmuuden indikaattoreina. Osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta päästöoikeuden hintaan on tutkittu hyvin vähän, mutta Chevallier

(2009) on osoittanut, että hiilifutuuriin hinnan vaihtelun ja makrotaloudellisten shokkien välillä on heikko yhteys. Conrad ja muut (2012) ovat toisaalta osoittaneet, että makrotaloudellinen toiminta ja makrotaloudelliset uutiset vaikuttavat päästöoikeuden hintaan. Absoluuttiseen hintaan vaikuttavien tekijöiden lisäksi on kuitenkin olennaista tutkia myös päästöoikeuden hinnan volatilitettiin vaikuttavia tekijöitä. Esimerkiksi Dutta (2018a) on tutkimuksessaan havainnut, että päästöoikeuden hinta on hyvin herkkä öljymarkkinoiden implisiittisen volatilitettiin muutoksille. Öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin ei toisaalta ole löydettävissä aikaisempaa tutkimusta.

Teoriaosuudessa käsitellään aluksi päästökaupan teoreettisia lähtökohtia eli ulkoisvaikutuksia ja niiden korjaamista. Tämän jälkeen tarkastellaan päästökaupan toimintaperiaatteita ja tehokkuutta ohjauksena sekä Euroopan unionin päästökauppajärjestelmän toimintaa sekä tehokkuutta. Markkinoiden epävarmuutta käsittelevässä kappaleessa tarkastellaan volatilitettiin epävarmuuden mittarina sekä arvioidaan, millaista epävarmuutta osake-, öljy-, ja päästömarkkinoilla esiintyy ja miten epävarmuus välittyy kyseisille markkinoille. Tutkielman empiirisessä osiossa tutkitaan öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin Bollerslevin (1986) kehittämällä GARCH(1,1)-mallilla. Myös esimerkiksi Dutta ja muut (2017) ovat käyttäneet kyseistä mallia tutkiakseen öljyn hinnan epävarmuuden vaikutusta Lähi-idän ja Afrikan osakemarkkinoiden volatilitettiin. Empiirisessä osiossa tarkastellaan lisäksi estimointitulosten robustisuutta suorittamalla analyysi koko periodin osalta myös EGARCH(1,1)-mallilla ja tarkastelemalla eri jakaumien käytön vaikutusta GARCH(1,1)-mallin tuloksiin.

Koska makrotaloudellisen epävarmuuden kasvaessa yritykset supistavat tuotantoaan, päästöoikeuksien kysyntä laskee tuotannon vähentyessä ja tuotannon määrästä riippuvien kasvihuonekaasupäästömäärien laskiessa (Lutz ja muut, 2013). Kun päästöoikeuksien kysyntä laskee, niillä käydään vähemmän kauppaa päästömarkkinoilla, jolloin päästöoikeuden hinnan volatilitettiin pienenee. Koska osakemarkkinat ovat yksi

reaalitalouden indikaattoreista heijastaen taloudellista tilannetta sekä sijoittajien tulevaisuuden odotuksia, tämän tutkimuksen toisena hypoteesina on, että osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden kasvaessa päästöoikeuden hinnan volatilitteetti laskee. Kuten Nikkinen ja Sahlström (2001) ovat osoittaneet, Yhdysvaltojen (USA) makrotaloudelliset uutiset vaikuttavat osakemarkkinoiden implisiittiseen volatilitettiin eli osakemarkkinoilla vallitsevaan epävarmuuteen niin USA:ssa kuin muualla maailmassa. Tämän lisäksi hypoteesina on, että öljymarkkinoilla esiintyvä epävarmuus kasvattaa päästöoikeuden hinnan volatilitteettia, kuten Dutta (2018a) on tutkimuksessaan osoittanut. Öljy on yksi maailman tärkeimmistä hyödykkeistä ja se on myös yksi talouden tuotannontekijöistä, joten sen hinnan vaihtelu voi aiheuttaa epävarmuutta niin kokonaistaloudellisessa kasvussa kuin kehityksessä (Dutta, 2018b), minkä vuoksi on olennaista tutkia öljyn hinnan volatilitettiin vaikutusta myös päästömarkkinoiden volatilitettiin.

Osake- ja öljymarkkinat ovat reaalitalouden indikaattoreita: Osakemarkkinat heijastavat taloudellista tilannetta ja kertovat, miten sijoittajat odottavat talouden kehittyvän tulevaisuudessa. Öljy on puolestaan yksi merkittävimmistä hyödykkeistä kokonaistaloudellisen vaikutuksensa vuoksi – öljy on yksi talouden tuotannontekijöistä eli sen hinnan vaihtelu lisää esimerkiksi taloudellisen kasvun epävarmuutta (Dutta 2018b). Näin ollen tämän tutkielman tavoitteena on tarjota tietoa siitä, miten makrotaloudellinen epävarmuus välittyy päästömarkkinoille. Koska päästöoikeuden hinnan merkittävä vaihtelu ja alhainen hinta ovat olleet EU ETS -järjestelmän merkittävimpiä ongelmia, tämä tutkimus tarjoaa merkittävää tietoa siitä, mitkä tekijät vaikuttavat päästöoikeuden hinnan volatilitettiin. Kun päästöoikeuden hinnan vaihtelun taustalla olevat tekijät tunnistetaan, voidaan kehittää tehokkaampia ratkaisuja päästöoikeuden hinnan volatilitetin pienentämiseksi, jolloin myös päästökaupan ohjausvaikutus tehostuu. Päästöoikeuden hinnan volatilitetin taustalla olevien tekijöiden tunnistaminen auttaa yritysten riskienhallinnan tehokkaiden mekanismien kehittämisessä sekä vähentää päästövähennystavoitteiden saavuttamisesta aiheutuvia kokonaiskustannuksia (Xu, 2016). Hiilen hinnan volatilitetin pieneneminen edesauttaa niin ikään esimerkiksi energiantuotantoalan yritysten toiminnan kehittämistä, kuten vähähiilisempään teknologiaan investoimista (Chevallier, 2011b).

2 PÄÄSTÖKAUPAN TEORETTISET LÄHTÖKOHDAT

Markkinat toimivat harvoin tehokkaasti: markkinat voivat epäonnistua esimerkiksi epätäydellisen informaation, epätäydellisen kilpailun, ulkoisvaikutusten, julkishyödykkeiden tai vapaamatkustajaongelman vuoksi. Ilmaston lämpeneminen on aikamme merkittävin esimerkki markkinoiden epäonnistumisesta (Stern, 2007). Antropogeeniset eli ihmisen toiminnasta peräisin olevat kasvihuonekaasupäästöt aiheuttavat yhteiskunnallisia kustannuksia, kun kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavat toimijat eivät joudu kompensoimaan aiheuttamiaan päästöjä. Tämän vuoksi kasvihuonekaasupäästöistä seuraa negatiivinen ulkoisvaikutus, kun päästöistä aiheutuvat kustannukset koituvat muiden kuin päästöjen aiheuttajan maksettavaksi. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi – ja siten ulkoisvaikutuksen korjaamiseksi – hiilelle tulee asettaa hinta, mikä on mahdollista markkinapohjaisten ohjauskeinojen avulla. Tässä tutkielmassa keskitytään päästökauppaan, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä kustannustehokkaasti.

2.1 Markkinoiden epäonnistumiset ja niiden korjaaminen

Jotta voidaan tarkastella markkinoiden epäonnistumisia, tulee ensin määritellä, mitä markkinoiden tehokkuudella tarkoitetaan. Perman ja muut (2003, s. 105) määrittelevät *Natural Resource and Environmental Economics* -teoksessaan markkinoiden tehokkuuden hyvinvoinnin taloustieteen näkökulmasta sekä resurssien eli tuotannontekijöiden jakamisen kautta. Staattisen allokaation ongelma keskittyy siihen, miten tuotannontekijät jaetaan yritysten kesken, mitä hyödykkeitä tuotetaan ja kuinka paljon, sekä toisaalta, miten tuotokset jaetaan yksittäisten ihmisten kesken. Staattisessa allokaatiossa keskitytään tiettyyn ajanhetkeen. Sitä vastoin intertemporaalinen allokaatio-ongelma perustuu ajatukseen siitä, miten resurssit jaetaan nyt ja tulevaisuudessa. Perman ja muut (2003, s. 107) esittävät myös, että tuotannontekijöiden jakaminen on tehokasta silloin, kun yhden tai useamman ihmisen asemaa ei ole mahdollista parantaa huonontamatta ainakin yhden muun ihmisen asemaa. Tällöin on kyse Pareto-parannuksesta. Mikäli Pareto-parannuksia ei voida enää tehdä, tilanne on Pareto-optimaalinen.

Vapaat markkinat – eli täydellisen kilpailun markkinat, jotka ovat vapaita sääntelystä – aikaansaavat tehokkaan allokaation, mikäli tietyt ehdot täyttyvät: Kaikille tuotettaville sekä kulutettaville hyödykkeille ja palveluille tulee olla markkinat, markkinoilla vallitsee täydellinen kilpailu ja täydellinen informaatio, omistusoikeudet on määritelty kaikille resursseille ja hyödykkeille, ulkoisvaikutuksia ei esiinny, kaikki hyödykkeet ja palvelut ovat yksityishyödykkeitä eli julkishyödykkeitä ei ole, ja kaikki hyöty- sekä tuotantofunktiot ovat ”hyvin käyttäytyviä”. Lisäksi tulee olettaa, että kaikki talouden toimijat käyttäytyvät rationaalisesti pyrkien parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen vallitsevat olosuhteet huomioiden. Näin ollen yksittäisten henkilöiden tulisi maksimoida hyötyään ja yritysten toimintaa ajava tekijä tulisi puolestaan olla voiton maksimointi. (Perman ja muut, 2003, s. 116.) Tosiasiassa markkinat eroavat ihanteellisista markkinoista eivätkä edellä mainitut ehdot useinkaan toteudu, jolloin on kyse markkinoiden epäonnistumisesta. Tällöin vaaditaan julkisen vallan väliintuloa, koska sen avulla voidaan korjata markkinoiden toimintaa. Kuten Perman ja muut (2003) toteavat, poliittiset toimenpiteet edesauttavat markkinoiden tuottaman allokaation tehokkuuden saavuttamisessa.

Esimerkiksi yksityisten omistusoikeuksien määrittelemiseen kohdistuvat puutteet aiheuttavat negatiivisia ulkoisvaikutuksia ja siten markkinoiden epäonnistumisen. Yksi merkittävimmistä ilmaston lämpenemisen taustalla olevista tekijöistä onkin omistusoikeuksien puuttuminen. Kuten Perman ja muut (2003, s. 125) osoittavat, kenelläkään – niin yksittäisellä ihmisellä, yrityksellä kuin valtiolla – ei ole omistusoikeuksia esimerkiksi auringonsäteilyyn tai muihin uusiutumattomiin energialähteisiin eli niille ei ole myöskään markkinoita. Toisaalta ihmisellä tai yrityksellä voi olla omistuksessaan maata, mikä antaa ihmiselle tai yritykselle oikeuden varastoida auringonsäteilyä rakentamalla aurinkopaneelit omistamalleen maa-alueelle. On myös huomioitava, että omistusoikeuksien määrittelyyn ei usein kohdistu ongelmia uusiutumattomien luonnonvarjojen kohdalla. Toisaalta, kuten Perman ja muut (2003, s. 126–127) osoittavat, hyödykkeen tai resurssin luonteesta (Taulukko 1) riippuu, voidaanko sille määritellä omistusoikeuksia.

Taulukko 1. Hyödykkeiden ominaisuudet esimerkkeineen (Mukaillen Perman ja muut, 2003).

	Käyttö rajoitettavissa	Käyttö ei rajoitettavissa
Kilpailullinen	Puhdas yksityishyödyke <i>Jäätelö</i>	Kaikkien saatavilla oleva <i>Merikalastus</i>
Ei-kilpailullinen	Ruuhkautuva hyödyke <i>Erämaa-alue</i>	Puhdas julkishyödyke <i>Maanpuolustus</i>

Koska resurssien tehokas allokaatio edellyttää Permanin ja muiden (2003, s. 126–127) mukaan, että julkishyödykkeitä ei ole, on syytä määrittellä, mitä julkis- ja yksityishyödykkeet ovat. Määrittelyn avulla voidaan arvioida, voidaanko tietyille hyödykkeelle määrittellä omistusoikeuksia. Puhtaat julkis- ja yksityishyödykkeet ovat vain äärimmäistapauksia, joten hyödykkeiden ja palveluiden määrittelyssä tulee ottaa huomioon myös niiden välimuodot. Kuten Perman ja muut (2003, s. 126–127) esittävät, niin yksityis- kuin julkishyödykkeet voivat olla kilpailullisia tai ei-kilpailullisia, ja ne voidaan jaotella myös sen mukaan, onko niiden käyttö rajoitettavissa. Taulukosta 1 nähdään perinteinen, edellä mainittujen ominaisuuksien perusteella tehtävä jaottelu hyödykkeille sekä palveluille. Hyödykkeen kilpailullisuudella viitataan siihen, vaikuttaako toisen talouden toimijan kuluttaminen toisen toimijan kulutukseen. Rajoittamisen käsite viittaa Permanin ja muiden mukaan (2003, s. 126–127) puolestaan siihen, voidaanko kuluttajia estää kuluttamasta jotakin tiettyä hyödykettä tai palvelua. Kuten taulukosta 1 nähdään, puhtaan yksityishyödykkeen – kuten esimerkiksi jäätelön – kulutus voi vaikuttaa toisen talouden toimijan kulutukseen, ja niiden kuluttamista voidaan myös rajoittaa. Sitä vastoin puhtaiden julkishyödykkeiden ei voida rajoittaa ja niiden kuluttaminen ei vaikuta negatiivisesti muiden mahdollisuuksiin kuluttaa samaa hyödykettä (Perman ja muut, 2003, s. 126–127; Samuelson, 1954).

Kaikkien saatavilla olevien hyödykkeiden ja palveluiden, kuten esimerkiksi merikalastuksen, käyttöä ei ole mahdollista rajoittaa, mutta sen kuluttaminen tapahtuu muiden toimijoiden kustannuksella. Koska kukaan ei voi omistaa merta, merikalastusta ei voida myöskään rajoittaa, minkä vuoksi yhden kalastajan toiminta voi vaikuttaa haitallisesti

toisen kalastajan mahdollisuuksiin kalastaa samalla alueella – mitä enemmän kalastajia alueella on, sitä vähemmän kalastettavaa kullekin jää. Sen sijaan ”ruuhkautuvien” hyödykkeiden käyttöä voidaan säännellä, mutta niiden kuluttaminen ei muuta toisen talouden toimijan mahdollisuuksia kuluttaa kyseisiä hyödykkeitä. Esimerkiksi toisen ihmisen vierailu erämaa-alueella ei estä muita liikkumasta kyseisellä alueella, mutta sen käyttöä voidaan rajoittaa, mikäli erämaa-alue on esimerkiksi yksityisomistuksessa. Esimerkiksi autojen pääsy erämaa-alueelle on mahdollista kieltää. (Perman ja muut, 2003, s. 126–127.)

Ilmasto voidaan nähdä julkishyödykkeenä, minkä vuoksi julkishyödykkeiden tarkastelu on keskeistä markkinoiden epäonnistumisia – erityisesti ulkoisvaikutuksia – tarkastellessa. Stern (2007) esittää globaalin ilmaston olevan julkishyödyke, koska niitäkään talouden toimijoita, jotka eivät kykene maksamaan kyseisen hyödykkeen käytöstä, ei voida estää hyödyntämästä sitä. Ilmasto ei ole myöskään kilpailullinen hyödyke eli sen kuluttaminen ei vähennä sen olemassa olevaa kapasiteettia, minkä vuoksi kaikki voivat hyödyntää sitä vaikuttamatta muiden kulutusmahdollisuuksiin. Toisaalta Sandmo (2011) esittää, että asia ei ole yhtä ilmeinen: Siitä huolimatta, että maapallon keskilämpötilan odotetaan nousevan, lämpötila ei todennäköisesti nouse yhtä paljon kaikilla alueilla, ja myös muut ilmastossa tapahtuvat muutokset tulevat vaihtelemaan alueittain – toisilla alueilla kuivuus lisääntyy, kun taas toisilla keskimääräiset sademäärät kasvavat. On kuitenkin otettava huomioon, että kaikki edellä mainitut muutokset ilmastossa aiheutuvat ilmakehän lisääntyneistä kasvihuonekaasupitoisuuksista, joten ne ovat seurausta myös maapallon keskilämpötilan noususta. Tämän vuoksi ilmastonmuutoksessa on kyse yhteiskunnallisesta, kaikkia koskettavasta ongelmasta, minkä vuoksi sen hillitseminen on julkishyödyke. (Sandmo, 2011.)

Kuten Stern (2007) toteaa, ilmastonmuutos on aikamme laajin, ja hyvin monimutkainen esimerkki markkinoiden epäonnistumisesta – kyse on maailmanlaajuisesta ilmiöstä ja ongelmasta, jonka korjaaminen vaatii niin pitkän aikavälin taloudellista analyysiä kuin riskien ja epävarmuuden huomioon ottamista. Myös Andrew (2008) esittää, että

kasvihuonekaasupäästöjen pitoisuuden merkittävä nousu ilmakehässä – ja sen myötä ilmastonmuutos – johtuvat markkinoiden epäonnistumisesta. Yritykset eivät ole pitkällä aikavälillä maksaneet kaikkia niiden tuotannosta aiheutuvia kustannuksia ja ovat tuotantonsa myötä langettaneet yhteiskunnalle suuret, saastumisesta aiheutuvat kustannukset, joita on vaikea mitata. Esimerkiksi päästökauppa perustuukin ajatukseen, että markkinoiden avulla resurssit voidaan jakaa tehokkaimmin, ja markkinat toimivat tehokkaasti nimenomaan niukkojen resurssien allokaation osalta. (Andrew, 2008.) Sternin (2007) mukaan päästöjen vähentäminen tulee nähdä investointina, jolla voidaan välttää ilmastonmuutoksen aiheuttamat, nykyistä vakavammats seuraukset tulevaisuudessa. Kustannusten järkevä allokoiminen edesauttaa myös esimerkiksi talouskasvua ja teknologista kehitystä muun muassa innovaatioiden kautta.

2.2 Ulkoisvaikutukset, Pigou-verotus ja Coasen teoreema

Ulkoisvaikutuksia esiintyy, kun yhden talouden toimijan tuotanto- tai kulutus päätökset vaikuttavat tahattomasti toisen talouden toimijan hyötyyn tai voiton ansaitsemiseen eikä vaikutuksen aiheuttaja maksa kompensatiota sille, jonka hyötyyn tai voittoon hänen toimintansa vaikuttaa (Perman ja muut, 2003, s. 134). Ulkoisvaikutukset voidaan jakaa positiivisiin ja negatiivisiin kasvihuonekaasupäästöjen ja siten myös ilmastonmuutoksen ollessa maailmanlaajuisesti merkittävimpiä, negatiivisia ulkoisvaikutuksia. Esimerkiksi teollisuuden kasvihuonekaasupäästöt aiheuttavat kustannuksia teollisuuden toimintoihin liittymättömille osapuolille saastuttamalla vesistöjä. Vesistöjen saastuminen rehevöittää vesistöjä ja lisää happikadon riskiä, ja näin ollen saastuminen heikentää vesiekosysteemien toimintaa ja vaikuttaa sen myötä negatiivisesti elinkeinon – esimerkiksi kalastuksen – harjoittamiseen. Myös Stern (2007) esittää, että ilmastonmuutos kasvihuonekaasupäästöineen on maailmanlaajuinen ulkoisvaikutus, sillä päästöjen aiheuttama vahinko on samansuuruinen riippumatta siitä, missä kyseisten päästöjen lähde on, mutta päästöjen aiheuttamat negatiiviset vaikutukset jakautuvat epätasaisesti maailmassa. Olenaista on myös se, että ilmastonmuutosta ajavat ilmakehän hiilivarannot eivätkä vuosittaiset hiilidioksidipäästöt (Stern, 2007). Näin ollen ilmastonmuutosta on tarkasteltava

lyhyen aikavälin sijaan pitkällä aikavälillä, ja on otettava myös huomioon, että päästöjen aiheuttamien negatiivisten vaikutusten ilmenemisen ennustaminen on haastavaa.

Kuten Stern (2007) toteaa, kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavat toimijat eivät kannavastuuta muille päästöjen kautta aiheutuvista, sosiaalisista kustannuksista. Tällöin puhutaan hiilen sosiaalisesta kustannuksesta (engl. social cost of carbon), jolla tarkoitetaan päästöjen aiheuttamaa kokonaiskustannusta: SCC mittaa sitä kustannusta, joka taloudelle aiheutuu yhdestä lisähiilidioksiditonista (Nordhaus, 2011b). Koska omistusoikeuksia ei voida määritellä esimerkiksi erilaisille ekosysteemeille, ympäristöä saastuttavien toimijoiden ei tarvitse kantaa vastuuta – eli maksaa kompensatiota – saastuttavista toimistaan. Näin ollen puutteet omistusoikeuksien määrittelyssä johtavat siihen, että ulkoisvaikutukset eivät näy markkinahinnoissa, jolloin on kyse markkinoiden epäonnistumisesta. Kuten myös Dong ja muut (2016) esittävät artikkelissaan, kyseiset ongelmat eivät heijastu markkinahintoihin, ja tämän vuoksi hintoja tulisi korjata esimerkiksi taloudellisten ohjauskeinojen avulla, jolloin voidaan luoda markkinat kasvihuonekaasupäästöille. Myös Sternin (2007) mukaan hiilelle joko verotuksen, päästökaupan tai sääntelyn avulla asetettava hinta on yksi merkittävimmistä, poliittisista ratkaisuista päästöjen vähentämistä ajatellen, jotta päästöjen aiheuttamat sosiaaliset kustannukset tulisivat huomioiduiksi. Hinnan asettaminen johtaa siihen, että yritykset ja yksittäiset henkilöt alkavat kuluttaa vähemmän korkeita hiilidioksidipäästöpotentiaaleja aiheuttavia hyödykkeitä ja palveluita ja investoivat niiden sijaan vähähiilisiin vaihtoehtoihin (Stern, 2007).

Ympäristön saastumiseen liittyvän – ja esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvan – ulkoisvaikutuksen lisäksi tulee ottaa huomioon myös teknologinen ulkoisvaikutus, joka on merkittävä tekijä investointihalukkuutta ja siten myös taloudellisia ohjauskeinoja tarkastellessa. Kuten Nordhaus (2011a) esittää, innovaatiot ja teknologinen kehitys ovat puhtaita julkishyödykkeitä eli toisen talouden toimijan kulutus ei vaikuta toisen talouden toimijan kulutusmahdollisuuksiin saman hyödykkeen tai palvelun osalta (Taulukko 1). Puhtaan julkishyödykkeen käyttöä ei voida myöskään rajoittaa (Taulukko 1). Edellä mainitut ominaisuudet koskevat uutta teknologiaa, koska ketään ei voida estää

hyödyntämästä kyseistä teknologiaa, kun se on kehitetty ja tuotu ilmi. Patentitkaan eivät loppujen lopuksi estä teknologian hyödyntämistä, koska teknologiaa on mahdollista jäljitellä ja kopioida hyödyntämällä olemassa olevaa tietoa. Uuden teknologian kehittäjät eivät voi pakottaa muita maksamaan sen käytön täydestä arvosta, koska teknologisen tiedon käyttöä ei voida rajoittaa eli uuden teknologian kehittäjät eivät saa täyttä hyötyä kehittämästään teknologiasta. Kuten Nordhaus (2011a) toteaa, tällöin yksityiset tuotot ovat yhteiskunnallisia tuottoja alhaisemmat, minkä vuoksi innovaatioita on optimaaliseen tasoon nähden vähemmän: Yleensä yhteiskunnalliset tuotot ovat kahden- tai kolmenkertaiset yksityisiin tuottoihin nähden. Näin ollen tuleekin pohtia, miten kyseinen markkinoiden epäonnistuminen voidaan korjata eli miten innovaatiohalukkuutta saadaan nostettua. Hiilen markkinahinnan tulisikin olla huomattavasti suurempi kuin siitä aiheutuva yhteiskunnallinen kustannus. (Nordhaus, 2011a.)

Negatiivisten ulkoisvaikutusten aiheuttaman markkinoiden epäonnistumisen vuoksi ensimmäinen hyvinvointiteoreema ei enää päde, joten kilpailullinen tasapaino ei ole enää Pareto-tehokas (Maskin, 1994), minkä vuoksi ulkoisvaikutus on korjattava. Neoklassisessa taloustieteessä tunnetaan tyypillisesti olevan kaksi lähestymistapaa ulkoisvaikutusten korjaamiseksi – toisen on esitellyt Arthur C. Pigou ja toisen puolestaan Ronald H. Coase (Ventura ja muut, 2016). Kuten Sandmo (2011) toteaa artikkelissaan, Arthur Pigou esitteli ensimmäisenä idean verotuksesta, jolla pyrittäisiin normien sijaan korjaamaan negatiivisia ulkoisvaikutuksia. Pigoun vero on haittavero, jonka tarkoituksena on Pigoun (1924) mukaan, että markkinat hinnoittelisivat saastumisesta aiheutuvan, negatiivisen ulkoisvaikutuksen. Haittaveron tulee olla suuruudeltaan sama kuin ympäristön pilaantumisesta aiheutuva yhteiskunnallinen rajahaitta. Myös Ebert ja von dem Hagen (1998) korostavat, että yleisen käsityksen mukaan Pigoun veron tulisi vastata yhteiskunnallista rajahaittaa täydellisen kilpailun vallitessa. He ovatkin havainneet tutkimuksessaan, että optimaalinen haittaveroste voi olla joko negatiivinen tai suurempi kuin yhteiskunnallinen rajahaitta tilanteessa, jossa yrityksellä on monopoli eli yritys on hinnan asettaja. Ebertin ja von dem Hagenin (1998) mukaan tilanne on sama myös symmetrisessä oligopolissa. Tätä vastoin yritysten määrän kasvaminen markkinoilla aiheuttaa sen, että

optimaalinen veroaste lähestyy rajahaittaa. Näin ollen Ebertin ja von dem Hagenin (1998) tutkimustulokset ovat linjassa yleisen näkemyksen kanssa koskien haittaveron optimaalista tasoa, ja tulokset osoittavat myös, että haittaveroaste on sitä lähempänä Pigoun (1924) määrittelemää optimaalista tasoa – eli Pigoun veron ja yhteiskunnallisen rajahaitan leikkauspistettä – mitä enemmän kilpailua markkinoilla on.

Ronald Coasen esittämä Coasen teoreema (Coase, 1960) on syventänyt merkittävästi taloustieteellistä käsitystä tehottomuuksista ja niitä aiheuttavista transaktiokustannuksista toimien myös kritiikkinä Pigoun verotukselle. Coasen (1960) ratkaisu ulkoisvaikutusten korjaamiseksi perustuu omistusoikeuksien määrittelyyn ja siihen, että omistusoikeuksien kautta ympäristöä saastuttava talouden toimija joutuu maksamaan kompensatiota saastuttavista toimistaan. Esimerkkinä voidaan tarkasella järveä ja sitä saastuttavaa tehdasta. Tehdas saastuttaa järveä laskiessaan jätevedet vesistöön. Järviveden pilaantuminen vaikuttaa puolestaan negatiivisesti esimerkiksi kalastajiin vaikeuttaen elinkeinon harjoittamista, kun kalakannat pienenevät järven saastumisen vuoksi. Coasen (1960) ratkaisu tilanteeseen on, että järveä saastuttavan tehtaan tulee maksaa järven omistajille korvauksia järveen laskemastaan jätevedestä, jos kalastajilla on oikeus estää tehdasta laskemasta jätevesiä järveen. Toisaalta on mahdollista sopia myös, että järven omistajat maksavat tehtaalle siitä, että tehdas ei saastuttaisi järveä, mikäli tehtaalla on oikeus toimia vesistön läheisyydessä. Korvauksen maksaja määräytyy siis ennalta määritettyjen omistusoikeuksien kautta. Korvauksen määrä sovitaan tehtaan ja järven omistajien kesken neuvottelemalla.

Coase on osoittanut, että perinteiset ulkoisvaikutusten korjaamiseen tarkoitetut mekanismit eivät toimi, mikäli markkinoilla esiintyy transaktiokustannuksia. Coasen teoreeman mukaan neuvottelussa saavutetaankin tehokas lopputulos eli Pareto-optimi, kun neuvottelut ovat ilmaisia eli niistä ei aiheudu transaktiokustannuksia, omistusoikeudet on määritelty ja markkinoilla vallitsee täydellinen informaatio. Tehokkaalla lopputuloksella tarkoitetaan tilannetta, johon talouden toimijat pääsevät neuvottelun kautta ilman julkisen vallan väliintuloa, kun edellä mainitut ehdot täyttyvät. (Regan, 1972;

Anderlini & Felli, 2006.) Venturan ja muiden (2016) mukaan Coasen teoreeman keskeisin johtopäätös on, että ulkoisvaikutukset eivät aiheuta markkinoiden epäonnistumista vaan tehottomuudet johtuvat kilpailullisten markkinoiden puuttumisesta. Tämän vuoksi näkymättömän käden mekanismi – joka tarkoittaa, että oman edun tavoittelu johtaa myös yhteiseen hyvään – toimii, vaikka markkinat epäonnistuisivat, joten julkisen vallan interventiota ei tarvita (Maskin, 1994).

Pigoun verotus ja Coasen ratkaisu eivät aina johda tehokkaaseen lopputulokseen, koska molemmat ohjauskeinot ovat osittain puutteellisia. Haittaveron oikean tason määrittäminen on usein haastavaa, koska ulkoisvaikutuksen suuruutta on vaikea määrittellä, eli emme tiedä, miten suuri päästöjen vähentämisestä aiheutuva kustannus on (Tietenberg & Lewis, 2012, s. 372). Coasen ratkaisun ongelmana on puolestaan se, että omistusoikeuksien määrittelemine on vaikeaa – usein jopa mahdotonta erityisesti ekosysteemien osalta. Coasen ratkaisu ei myöskään ota huomioon sitä, että neuvottelevia osapuolia on usein enemmän kuin kaksi, jolloin transaktiokustannukset kasvavat, mikä tekee Coasen ratkaisusta tehottoman (Kuechle & Rios, 2012). Näin ollen ei voida olettaa, että markkinoilla ei esiinny transaktiokustannuksia. Kuechle ja Rios (2012) mainitsevat, että Coasen teoreemasta tekee tehottoman myös muun muassa se, että markkinat eivät aina ole kilpailulliset. Edellä mainittujen ongelmien vuoksi on syytä tarkastella, miksi päästökauppa voi olla haittaverotusta sekä Coasen ratkaisua tehokkaampi ulkoisvaikutusten ohjauskeino.

3 PÄÄSTÖKAUPAN TOIMINTA, TEHOKKUUS JA EU ETS -JÄRJESTELMÄ

Kuten edellä on todettu, päästökauppa on yksi ulkoisvaikutusten ohjauskeinoista, eli sen tarkoituksena on asettaa hiilelle hinta, jolloin negatiivinen ulkoisvaikutus saadaan hinnoiteltua. Markkinapohjaisilla ohjauskeinoilla voidaan vähentää päästöjä sääntelyyn pohjautuvia ohjauskeinoja tehokkaammin. Päästökaupan avulla voidaankin vähentää päästöjä siellä, missä se on kustannustehokkainta. Tässä teorialuvussa käsitellään päästökaupan toiminnan periaatteita ja tehokkuuden toteutumista päästömarkkinoilla keskittyen näin ollen muun muassa siihen, miten päästökaupan tehokkuus saavutetaan, miten päästömarkkinoiden tehokkuutta voidaan arvioida ja mitkä ovat päästökaupan edut ja puutteet muihin markkinapohjaisiin ohjauskeinoihin nähden. Lisäksi tässä teorialuvussa tarkastellaan Euroopan unionin päästökauppajärjestelmän toimintaa sekä arvioidaan, miten tehokkuus on toteutunut EU ETS -järjestelmässä.

3.1 Päästökaupan periaatteet ja päästölupien allokaatio

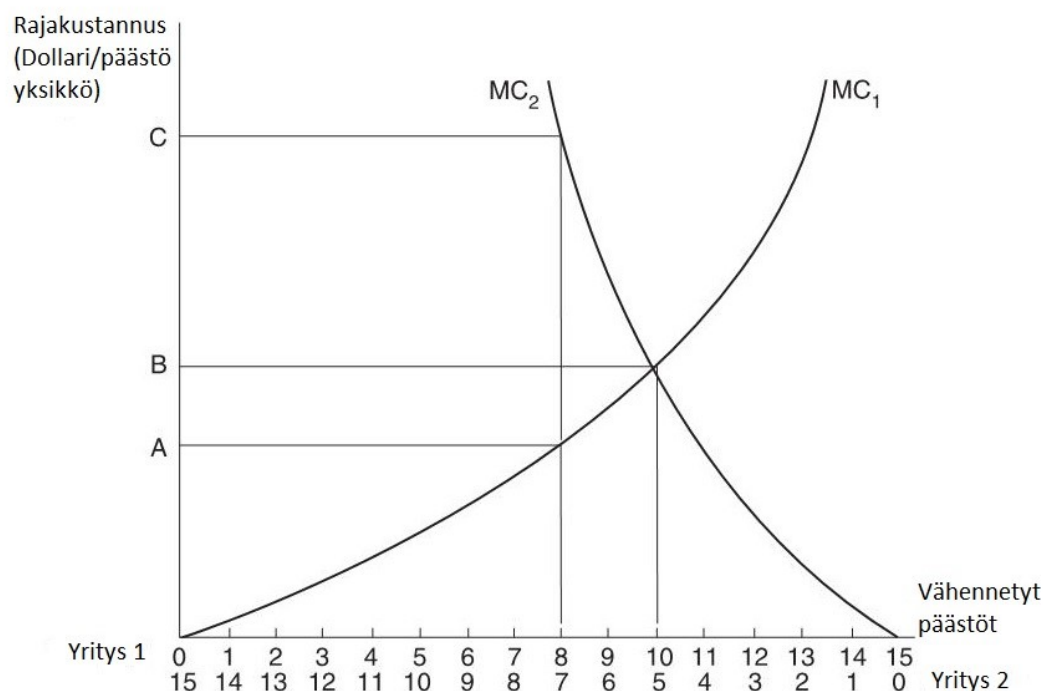
Ilmastopoliitiikan, ja näin ollen myös päästökaupan, tavoitteena on saada sekä yritykset että yksittäiset ihmiset siirtymään ympäristöä vähemmän kuormittavien, vähäpäästöisempien hyödykkeiden kuluttamiseen. Lisäksi tavoitteena on, että yritykset investoisivat tuotannossaan vähäpäästöisempään teknologiaan. (Stern, 2007.) Yritysten tulee myös löytää tuotannolleen optimaalisen saastumisen taso (Tietenberg & Lewis, 2012, s. 361–365). Tietenberg ja Lewis (2012, 67) esittävätkin *Environmental and Natural Resource Economics* -teoksessaan, että resursseja käytetään optimaalisesti silloin, kun tuotannosta aiheutuvat rajakustannukset vastaavat tuotannosta saatavaa rajahyötyä. Jotta edellä mainitut ilmastopoliittiset tavoitteet saavutetaan, päästöille on asetettava hinta, jolloin negatiivinen ulkoisvaikutus saadaan sisällytettyä markkinoille. Toisin sanoen päästöjen vähentämisen rajakustannukset sekä ulkoisvaikutuksista aiheutuvat, yhteiskunnalliset rajakustannukset on sopeutettava.

Metcalfin ja Stockin (2015, s. 1–2) mukaan kasvihuonekaasun hinnan tulisi vastata päästöjen aiheuttamia, yhteiskunnallisia kustannuksia. Kasvihuonekaasun hinta määritetään kaupattavien päästölupien avulla seuraavasti: Julkinen valta asettaa päästökaton eli määrittelee päästöoikeuksien tarjonnan, jonka yritysten kysyntä kohtaa päästömarkkinoilla. Kasvihuonekaasun tasapainohinta saadaan näin ollen päästöoikeuksien kysynnän ja kiinteän tarjonnan leikkauspisteestä. (Metcalfe & Stock, 2015, s. 1–2.) Kiinteällä tarjonnalla tarkoitetaan tässä tapauksessa julkisen sektorin asettamaa, kiinteää päästöoikeuksien kokonaismäärää eli päästökattoa, joka ei riipu yritysten kysynnästä.

Kuten Tietenberg ja Lewis (2012, s. 364–367) esittävät, markkinoilla tehokkuus saavutetaan pisteessä, jossa päästöjen vähentämisen rajakustannus vastaa päästöjen aiheuttamaa, yhteiskunnallista rajakustannusta. Jokaisen päästöjen aiheuttajan tulisi toimia kyseisen periaatteen mukaan vaikuttamalla tuotantomääriin ja -teknologiaan. Tietenbergin ja Lewisin (2012, s. 373–375) mukaan edellä mainittu tehokkuusehto voidaan saavuttaa päästökaupan avulla siten, että julkinen valta asettaa jokaista päästöjen aiheuttajaa koskevan päästökaton – esimerkiksi toimialakohtaisesti tai maantieteellisen rajauksen mukaan – ja jakaa päästöoikeuksia saastuttajille suoraan tai huutokauppaamalla. Päästökatto vastaa päästöoikeuksien kokonaismäärää markkinoilla, ja sen tulisi niin ikään vastata rajakustannusten leikkauspistettä vastaavaa arvoa (Tietenberg & Lewis, 2012, s. 373–375). Kyseessä on tällöin ”cap-and-trade”-järjestelmä. Päästökaton asettaminen ei kuitenkaan toimi tehokkaasti ilman sanktiojärjestelmää vaan sakkojen avulla tulee kontrolloida asetettujen päästörajoitusten noudattamista. Sanktiojärjestelmässä päästörajan ylittäjän tulee maksaa etukäteen määritelty sakko. Kunkin valtion viranomaiset voivat asettaa toimijat maksamaan tietyn määrän sakkoa esimerkiksi jokaista päästörajan nähden ylitettyä päästöyksikköä kohden. (Tietenberg & Lewis, 2012, s. 373–375.) Esimerkiksi tuhannen hiilidioksiditonin ylitys johtaa 100 euron suuruiseen sakkoon (Hitzemann ja muut, 2015).

Päästöoikeuksia voidaan jakaa myös ilmaiseksi. Euroopan unionin päästökauppajärjestelmässä päästöoikeuksia on jaettu ilmaiseksi erityisesti ensimmäisten velvoitekausien aikana. Clón (2010) mukaan ensimmäisen velvoitekauden aikana päästöoikeuksista jaettiin ilmaiseksi ainakin 95% ja toisen velvoitekauden aikana puolestaan 90%. Alun perin ilmaisjako on nähty huutokauppaa parempana vaihtoehtona, koska huutokaupan yksityiset kustannukset ovat ilmaisjakoa korkeammat. Myöhemmin ilmaisjakoa on kuitenkin kritisoitu esimerkiksi siitä, että se mahdollistaa sähköntuottajille windfall-voittojen ansaitsemisen, mikä kasvattaa kuluttajille koituvia kustannuksia. Nashin (2000) mukaan ilmaisjaon ongelma on myös se, että se ei kannusta yrityksiä investoimaan uuteen ja kustannustehokkaampaan teknologiaan.

Sen lisäksi, että päästöoikeuksia voidaan jakaa suoraan, huutokauppaamalla tai ilmaisjaon kautta, yritykset voivat käydä päästöoikeuksilla kauppaa keskenään. Tietenbergin ja Lewisin (2012, s. 373–375) mukaan merkittävä tekijä ”cap-and-trade”-mekanismin päästökauppajärjestelmissä onkin päästöoikeuksilla käytävä kauppa, jolloin yrityksillä on mahdollisuus ostaa päästölupia toisilta yrityksiltä ja toisaalta myydä niitä muille yrityksille. Yritykset voivat joko vähentää päästöjä eli investoida päästöjä vähentävään teknologiaan tai ostaa lisää päästöoikeuksia yrityksiltä, joiden päästömäärät ovat alempia (Tietenberg & Lewis, 2012, s. 373–375). Päätös määräytyy sen mukaan, kumpi vaihtoehto tulee yritykselle edullisemmaksi – eli toisin sanoen ratkaisu määräytyy päästöjen vähentämisen rajakustannusten ja siten kustannustehokkuuden saavutettavuuden perusteella.



Kuvio 1. Päästöoikeuksien ostaminen ja myyminen kustannustehokkaasti eli päästöjen vähentämisen rajakustannuksen suhde vähennettyjen päästöjen määrään. (Mukaiillen Tietenberg & Lewis, 2012, s. 374.)

Kuten Tietenberg ja Lewis (2012, s. 373–375) mainitsevat teoksessaan, päästölupamarkkinoilla saavutetaan aina kustannustehokas ratkaisu, mikä perustuu päästöjen vähentämisen rajakustannuksiin sekä päästöluvan hintaan (Kuvio 1). Kuvio 1 havainnollistaa päästöluvilla käytävää kauppaa seuraavasti: X-akselilta nähdään kahden yrityksen vähennettyjen päästöjen sekä näin ollen myös päästölupien määrä. Y-akseli puolestaan kuvaa kummankin yrityksen (MC_1 ja MC_2) kohtaamaa päästöjen vähentämisen rajakustannusta (Dollari/päästöyksikkö). Piste B on tasapainopiste, jossa päästöoikeudet ovat jakautuneet yritysten välillä kustannustehokkaasti. Alkutilanteessa yritykselle 2 on myönnetty kahdeksan päästölupaa ja se vähentää päästöjään näin ollen seitsemän yksikköä (Piste C). Yritykselle 1 on puolestaan myönnetty seitsemän päästölupaa ja se vähentää päästöjään kahdeksan päästöyksikön verran (Piste A). Yrityksen 2 kannattaa ostaa päästöoikeuksia yritykseltä 1, mikäli niiden hinta on pienempi kuin yrityksen 2 päästöjen vähentämisen rajakustannus (MC_2) eli hinta on pienempi kuin C. Yrityksen 1 puolestaan kannattaa myydä päästöoikeuksiaan, mikäli niiden hinta on suurempi kuin päästöjen

vähentämisen rajakustannus (MC_1) eli hinta on suurempi kuin A. Tasapainopisteessä B päästöoikeuksien hinta on yhtä suuri kuin päästöjen vähentämisen rajakustannus. Osapuolet eivät enää käy päästökauppaa kyseisessä pisteessä. Tasapainopisteessä yritys 1 vähentää päästöjään kymmenen päästöyksikköä ja yritys 2 puolestaan viisi päästöyksikköä. Tällöin yrityksellä 1 on viisi päästölupaa ja yrityksellä 2 puolestaan kymmenen. (Tietenberg & Lewis, 2012, s. 373–375.)

3.2 Tehokkuus päästömarkkinoilla

Faman (1970) mukaan markkinoiden tehokkuudelle, eli informaatiotehokkuudelle, on kolme riittävää ehtoa: Kaupankäyntikustannuksia ei ole, kaikki olemassa oleva informaatio siirtyy hintoihin välittömästi ja tieto on markkinoiden kaikkien osapuolten saatavilla ilman kustannuksia. On kuitenkin otettava huomioon, että Faman tehokkaiden markkinoiden hypoteesi on saanut osakseen kritiikkiä: Kuten Coase (2013) toteaa, on mahdollista olettaa, että eri osapuolten välisessä kaupankäynnistä ei aiheudu kustannuksia, koska esimerkiksi neuvottelut, sopimusten tekeminen ja sopimusehtojen laillisuuden tarkastuttaminen ovat hintavia. Toisaalta myös Fama (1970) mainitsee, että markkinoiden täydelliseen tehokkuuteen ei todennäköisesti päästä millään markkinoilla – näin ollen ei myöskään päästömarkkinoilla. Hän kuitenkin esittää lisäksi, että informaatiotehokkuus voidaan saavuttaa, jos ehdot täyttyvät ainakin osittain.

Hiilimarkkinoiden tehokkuutta tarkastellessa olennaisia tekijöitä ovat erityisesti likviditeetin puute, päästöoikeuden hinnan volatilitteetti, päästöoikeuksien määrän volatilitteetti, hinnan klusterointi sekä informaatiotehokkuus (Rannou & Barneto, 2016). Ibikunle ja muut (2016) esittävät puolestaan, että rahoitusmarkkinoiden tehtävänä on huolehtia likviditeetistä sekä siitä, että kaikki saatavilla oleva informaatio heijastuu hintoihin, kuten myös Fama (1970) on esittänyt edellä mainitussa tehokkaiden markkinoiden hypoteesissaan. Tulee kuitenkin huomioida, että kaikista tehokkaimmatkin markkinat heijastavat eri määriä yksityistä informaatiota (Kyle, 1985). Tavallisilla rahoitusmarkkinoilla likviditeetillä on merkittävä rooli, sillä se parantaa informaation siirtymistä

hintoihin (Ibikunle ja muut, 2016). Kun markkinoiden likviditeetti on korkeimmillaan, markkinat kykenevät heijastamaan yksityistä informaatiota, koska kasvanut likviditeetti pienentää kaupankäyntikustannuksia, mikä rohkaisee talouden toimijoita käymään enemmän informaatiota sisältävää kauppaa (Admati & Pfleiderer, 1988). Hinnoittelun tehokkuuden sekä likviditeetin välinen suhde on erittäin tärkeä päästömarkkinoilla, koska EU:n ilmastopolitiikan tarkoituksena on ollut lisätä päästöoikeuksilla käytävää kauppaa – näin ollen hinnoittelun tehokkuuden ja likviditeetin tutkiminen on tärkeää erityisesti päästökauppajärjestelmään kuuluvien yritysten sidosryhmien eli sijoittajien kannalta, koska hinnoittelun tehokkuus ja likviditeetti voivat vaikuttaa sijoitusstrategian valintaan ja ne myös tehostavat riskienhallintaa (Ibikunle ja muut, 2016). Ibikunle ja muut (2016) ovatkin tutkineet, voidaanko edellä mainittua teoriaa likviditeetin roolista soveltaa myös EU:n päästömarkkinoihin. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että etenkin markkinoiden likviditeetin ollessa korkealla, arbitraasin mahdollisuus parantaa hinnoittelun tehokkuutta. Kyseisten tulosten taustalla on ollut oletus siitä, että markkinoiden tehottomuus johtaa arbitraasin mahdollisuuteen.

Päästökaupan kustannustehokkuuden edellytyksenä on Aatolan ja muiden (2013) mukaan se, että markkinoilla hinnat eivät ole diskreettejä – eli esimerkiksi päästömarkkinoilla päästölupia ostetaan ja myydään nopeasti markkinahintaan eikä myyjä joudu näin ollen muuttamaan myymiensä päästölupien hintaa (Singh ja muut, 2015) – ja markkinoilla vallitsee täydellinen informaatio eli myyjien asettamat hinnat ovat kaikkien ostajien ja myyjien tiedossa. Mullerin ja Mendelsohnin (2009) sekä Liskin (2001) tutkimukset osoittavat, että liian vähäinen kaupankäynti päästömarkkinoilla heikentää kaupankäynnin tuomia etuja. Montagnoli ja de Vries (2010) lisäävät, että riskienhallinta kärsii kapeista markkinoista. Mikäli markkinoilla vallitsee täydellinen informaatio ja olemassa oleva tieto heijastuu hintoihin, Aatolan ja muiden (2013) mukaan päästöluvan hinta tietyllä ajanhetkellä ennustaa parhaiten päästöluvan seuraavan periodin hintaa – loput hintakehityksestä on vain valkoista kohinaa eli aikaisemman päästöluvan hinnan ja seuraavan periodin hinnan välillä ei ole korrelaatiota. Näin ollen hintakehitys muodostuu vain osittain aikaisemmista päästöoikeuksien hinnoista. Tämän vuoksi päästöoikeuden

hinnan ennustamisella ei voida saavuttaa systemaattista taloudellista tuottoa vaan tuotot voivat korkeintaan kattaa riskipreemion sekä kaupankäyntikustannukset.

Kaupankäyntikustannukset eli transaktiokustannukset ovat merkittävässä roolissa päästökaupan tehokkuutta tarkastellessa. Kuten Heindl (2017) toteaa, tutkimuksessa ollaan tähän asti keskitytty pääasiassa päästökaupan osalta kustannuksiin, jotka aiheutuvat päästöoikeuksilla käytävästä kaupasta. Stavins (1995) on osoittanut, että kaupankäynnistä aiheutuvat transaktiokustannukset voivat vähentää kaupankäyntiä ja sen myötä kasvattaa kokonaiskustannuksia sekä laskea päästökaupan taloudellista tehokkuutta. Jaraité-Kažukauské ja Kažukauskas (2015) ovat tutkineet yritysten käyttäytymistä EU ETS -järjestelmän ensimmäisen velvoitekauden aikana sekä sitä, miten suuri merkitys päästöoikeuksilla käytävän kaupan kaupankäyntikustannuksilla on ollut. Heidän tutkimuksensa osoitti, että yritykset, joilla oli vähemmän tuotantolaitoksia ja vähemmän kokemusta kaupankäynnistä, osallistuivat epätodennäköisemmin kaupankäyntiin päästömarkkinoilla ja toisaalta kävivät osallistuessaankin vähemmän kauppaa muihin yrityksiin verrattuna. Tällaisilla yrityksillä oli myös tapana käyttää kolmansia osapuolia apuna kaupankäynnissä. Näin ollen kaupankäyntikustannukset voivat olla erityisesti pienempien yritysten kohdalla liian suuret yrityksen kokoon suhteutettuna. Jaraité-Kažukauské ja Kažukauskas (2015) ehdottavat, että huomiota tulisi kiinnittää uusien EU-jäsenmaiden yrityksiin, ja heille tulisi luoda esimerkiksi oma kaupankäyntiyksikkönsä kaupankäynnin houkuttelevuuden lisäämiseksi ja helpottamiseksi. Lisäksi Euroopan komission tulisi vähentää aktiivisemmin kaupankäynnistä aiheutuvia transaktiokustannuksia laatimalla ja tarjoamalla tietoa vähemmän aktiivisille EU ETS -järjestelmän yrityksille.

3.3 Päästökaupan edut ja puutteet ohjauskeinona

Markkinapohjaisten ohjauskeinojen etuna on sääntelyyn pohjautuviin ohjauskeinoihin nähden se, että ne ottavat huomioon päästövähennyksien rajakustannukset – eli yhdestä vähennyksestä lisäyksiköstä koituvat kustannukset – tai päästöistä aiheutuvat rajahaitat

(Muller & Mendelsohn, 2009). Myös esimerkiksi Montgomery (1972) sekä Baumol ja Oates (1988) ovat tutkimuksissaan osoittaneet, että markkinapohjaisten ohjauskeinojen avulla päästövähennykset saadaan toteutettua – sääntelyyn pohjautuvista ohjauskeinoista poiketen – siten, että hyvinvointikustannukset minimoituvat. Lisäksi markkinapohjaiset ympäristöpolitiikan ohjauskeinot voidaan suunnitella siten, että ne ottavat huomioon, kuinka päästöjen aiheuttamat rajahaitat vaihtelevat alueittain (Muller & Mendelsohn, 2009). Päästökaupassa tämä voidaan toteuttaa siten, että päästökauppajärjestelmä jaetaan useaan pienempään, keskenään homogeeniseen alueeseen, joista jokainen muodostaa oman päästömarkkinansa (Tietenberg, 1980). Toisaalta alueellisen jaon myötä päästömarkkinoita on liikaa ja ne ovat hyvin kapea-alaisia eli ostajia ja myyjä on liian vähän (Muller & Mendelsohn, 2009; Liski, 2001), jolloin päästökaupalla tavoiteltu kustannustehokkuus heikkenee, koska kaupankäynti on diskreettien hintojen vuoksi hitaampaa eli markkinat eivät ole likvidejä (Singh ja muut, 2015).

Sen lisäksi, että markkinapohjaiset ohjauskeinot nähdään sääntelyyn perustuvia ohjauskeinoja tehokkaampina, päästökaupan avulla voidaan saavuttaa tiettyjä etuja muihin markkinapohjaisiin ohjauskeinoihin nähden. Päästökauppajärjestelmiä voidaan hyödyntää sen mukaan, missä päästöjen vähentäminen tulee edullisimmaksi, ja näin ollen kaupattavilla päästöluvilla saavutetaan aina taloudellinen tehokkuus – mikä on merkittävin päästökaupan tuoma etu verrattuna muihin taloudellisiin ohjauskeinoihin (Stern, 2007). Sternin (2007) mukaan päästökaupalla voidaan saavuttaa myös hiilelle päästökauppaan osallistuvat valtiot kattava, yhtenäinen ja vakaa hinta, mikä puolestaan yhtenäistää päästöjen verotusta. Tämä on mahdollista toteuttaa ilman hiileen liittyvän kilpailukyvyyn laskea eri valtioiden välillä (Stern, 2007). Sternin (2007) lisäksi myös Chang ja Chang (2016) esittävät, että päästökauppa antaa mahdollisuuden päästövähennystavoitteiden täsmällisempään saavuttamiseen, minkä vuoksi sille on helppo saada tukea päättäjiltä. Chang ja Chang (2016) huomioivat lisäksi, että päästöoikeuksien huutokauppa on valtiolle tulonlähde, ja tulojen voidaan korjata markkinoiden vääristymiä.

Carmona ja muut (2010) toteavat, että päästölupien jakamistapa – eli ilmaisjako tai huutokauppa – ei vaikuta päästökauppajärjestelmän tehokkuuteen ympäristön tilaan liittyvien tavoitteiden osalta. On kuitenkin huomattava, että jokainen ympäristöpoliittinen ohjauskeino nostaa saastuttavalla tuotannolla valmistettujen hyödykkeiden hintoja, jotka siirtyvät kuluttajille, ja näin ollen tuottajien on mahdollista saada windfall-voittoa eli ylituottoa (Carmona ja muut, 2010). Carmonan ja muiden (2010) mukaan windfall-voittojen takana on osittain päästölupien maksutta jakaminen, jolloin yritykset lisäävät päästölupien markkinahinnan tuottamiensa hyödykkeiden hintoihin, vaikka eivät ole joutuneet mahdollisen ilmaisjaon myötä maksamaan itse päästöluvista. Ylituottojen mahdollisuus voi siten motivoida yrityksiä osallistumaan päästökauppaan (Carmona ja muut, 2010), mutta Betzin ja Schmidtin (2016) mukaan päästökauppaan osallistumisen transaktio- eli kaupankäyntikustannukset, jotka muodostuvat yritysten ostaessa ja myydessä päästöluvia välikäsien kautta, osaltaan heikentävät yritysten kiinnostusta päästökauppaa kohtaan.

Kuten tässä tutkielmassa on aikaisemmin todettu, taloudessa – ja siten myös päästömarkkinoilla – esiintyy useita markkinoiden epäonnistumisia, ja jokaisessa ohjauskeinossa on niin hyviä kuin huonoja puolia, joten ympäristö-, energia- ja ilmastopolitiikka eivät voi turvautua vain yhteen ohjauskeinoon. Myös Stern (2007) esittää, että hiilen hinnoittelu ei riitä yksinään ohjauskeinoksi ilmastonmuutoksen hillitsemisessä vaan on tärkeää huolehtia muun muassa myös siitä, että teknologia kehittyisi vähähiilisemmäksi sekä energiatehokkaammaksi, jotta merkittävät päästövähennykset olisivat mahdollisia. Teknologista kehitystä on mahdollista tukea esimerkiksi investointituilla. Teknologista kehitystä silmällä pitäen myös tutkimuksen tukeminen on merkittävässä roolissa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Kolmas merkittävä toimintaperiaate on poistaa esteet yritysten toimintatapojen muutokselle eli esimerkiksi luotettavan informaation puuttuminen on korjattava ja transaktiokustannukset on poistettava. (Stern, 2007.)

3.4 Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä

Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä on maailman ensimmäinen alueellaan kaikkia velvoittava, merkittävän mittakaavan päästökauppajärjestelmä, jonka ensimmäinen, kokeiluluontoinen toimintakausi alkoi tammikuussa 2005 ja päättyi 2007 (Watanabe & Robinson, 2005). EU ETS -järjestelmän toinen velvoitekausi oli vuosina 2008–2012, ja tällä hetkellä menossa on kolmas velvoitekausi, joka alkoi vuonna 2013 ja päättyy vuonna 2020. EU:n 28 jäsenmaata on mukana EU ETS -järjestelmässä (Böhringer, 2013). Kuten Charles ja muut (2013) toteavat, EU ETS -järjestelmä koostuu spot-, futuuri- ja optio-markkinoista.

3.4.1 Päästökaupan tausta Euroopan unionissa

Ilmastonmuutos on yksi aikamme suurimmista haasteista, joka vaikuttaa ympäristön lisäksi myös esimerkiksi ihmisten terveyteen ja maailmantalouteen. Hiilidioksidipäästöt ovat suurin syy ilmaston lämpenemiselle (Luo & Wu, 2016) – kaikista kasvihuonekaasupäästöistä hiilidioksidipäästöjen on todettu aiheuttavan 80% ilmaston lämpenemisestä (Lashof & Ahuja, 1990). Loput 20% koostuvat muista kasvihuonekaasupäästöistä, kuten esimerkiksi metaanista. Ilmastonmuutoksen hillitseminen vaatii taakseen tiukkoja tavoitteita – niin kansallisia kuin kansainvälisiä. Kansainväliset ilmastopöytäkirjat ovatkin olleet merkittävässä roolissa sekä päästövähennystavoitteiden että mekanismien suunnittelussa ja toteuttamisessa. Kiotossa laadittiin vuonna 1997 Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastopöytäkirjan (UNFCCC) puitteissa vuonna 2005 voimaan tullut Kioton pöytäkirja, joka täsmentää YK:n jäsenmaiden velvollisuuksia konkreettisten päästövähennystavoitteiden asettamisessa (SopS 13/2005). Kuten Dong ja muut (2016) sekä Luo & Wu (2016) toteavat, kyseinen sopimus on ensimmäinen YK:n jäsenvaltioita lain kautta velvoittava sopimus, jonka mukaan YK:n jäsenvaltioiden tuli vähentää kasvihuonekaasupäästöjä keskimäärin 5,2% velvoitekauden 2008–2012 aikana vuoden 1990 päästömääriin verrattuna. Kioton pöytäkirjassa mainitaan kolme markkinapohjaista järjestelmää – International Emissions Trading (IET), Clean Development Mechanism (CDM) sekä Joint

Implementation (JI) – joiden avulla kyseiset päästövähennystavoitteet on ollut tarkoitus saavuttaa (Dong ja muut, 2016).

Kioton pöytäkirjan voimaantulon jälkeen EU:ssa pidettiin erittäin tärkeänä noudattaa sopimuksen tavoitteita (Egenhofer, 2007), ja muutamat EU:n jäsenmaista aloittivatkin keiluluontoisen päästökauppatoiminnan, mutta ongelmana oli Watanaben ja Robinsonin (2005) mukaan eri jäsenmaissa harjoitettujen järjestelmien yhteensopimattomuus, mikä olisi voinut myöhemmin levitä muiden jäsenmaiden aloittamiin järjestelmiin. Tämän seurauksena Euroopan komissio esitti, että EU:n tulisi pian aloittaa koko EU:n kattavan, yhtenäisen päästökauppajärjestelmän kehittäminen (Watanabe & Robinson, 2005). Tämän myötä Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2005.

Kuten Böhringer (2013) toteaa, ilmastopolitiikka on jatkunut päästövähennystavoitteineen Kioton pöytäkirjan voimaantulon jälkeen kunnianhimoisena. Vuonna 2007 Eurooppa-neuvosto julkaisi uudet päästövähennystavoitteet, joiden mukaan päästöjä tulisi vähentää ainakin 20%:lla vuoteen 2020 mennessä (vuoteen 1990 verrattuna) – vähennystavoite olisi 30%, mikäli kehittyvät valtiot sitoutuvat niin ikään vastaaviin tavoitteisiin. Kyseisten tavoitteiden ohella laadittiin myös tavoitteet – niin kutsutut 20-20-20-tavoitteet – uusiutuvan energian osuuden lisäämisestä: Vuoteen 2020 mennessä uusiutuvan energialähteiden osuus EU:n energian loppukulutuksesta tulisi olla vähintään 20% ja energiatehokkuutta tulisi niin ikään lisätä 20%:lla. (Böhringer, 2013.) Euroopan unionin pidemmän aikavälin tavoitteiden mukaan hiilidioksidipäästöjä tulee vähentää 80%:lla vuoteen 2050 mennessä (Euroopan komissio, 2015), mikä aiheuttaa paineita esimerkiksi päästökaupan tehokkuudelle.

3.4.2 EU ETS -järjestelmän tehokkuus ja toimivuus

Koska Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä, on globaalisti mitattuna laajin päästökauppajärjestelmä – kattaen yli puolet koko Euroopan hiilidioksidipäästöistä – ja sitä pidetään Euroopan ilmastopolitiikan sekä ilmastonmuutoksen torjumisen

kulmakivenä (Egenhofer, 2007; Nordhaus, 2006), se toimii niin ikään viitekehyksenä uusille ja kehittyville markkinoille (Aatola ja muut, 2013). Kuten Tietenberg ja Lewis (2012) sekä Aatola ja muut (2013) toteavat, EU:n päästökauppajärjestelmä on päästöjen vähentämiseen pyrkivä, markkinapohjainen ohjauskeino, jonka tulisi olla myös kustannustehokas eli asetetut päästövähennystavoitteet tulisi saavuttaa pienin mahdollisin kustannuksin.

Montagnoli ja de Vries (2010) ovat tutkineet, miten markkinoiden tehokkuus on toteutunut EU ETS -järjestelmän ensimmäisen ja toisen velvoitekauden aikana Faman (1970) tehokkaiden markkinoiden hypoteesin heikkojen ehtojen mukaan. Heikot ehdot tarkoittavat, että kaikki saatavilla oleva informaatio – myös historiallinen informaatio – heijastuu vallitseviin hintoihin. Tämän vuoksi heikkojen ehtojen markkinoilla ei ole mahdollista saavuttaa ylituottoa, koska kaikilla markkinoiden toimijoilla on sama määrä tietoa käytettävissään. (Fama, 1970.) Montagnolin ja de Vriesin (2010) tutkimus osoittaa, että ensimmäisen velvoitekauden aikana EU ETS -järjestelmä ei toiminut tehokkaasti markkinoiden tehokkuuden näkökulmasta, koska aikasarja ei seurannut satunnaiskulkua eli aiemmillä havainnoilla pystyi ennustamaan seuraavia havaintoja. Tehottomuus johtui todennäköisesti siitä, että EU ETS -järjestelmä oli ensimmäisen toimintakautensa aikana vielä kehittymätön, mutta toisen velvoitekauden aikana EU:n päästömarkkinat olivat tehokkaat – tällöin aikasarja seurasi satunnaiskulkua eli aiemmillä havainnoilla ei enää pystynyt ennustamaan seuraavia havaintoja. Sen lisäksi, että EU:n päästömarkkinat olivat vielä kehittymättömät ensimmäisien velvoitekausien aikana, tulee kuitenkin huomioda, että EU ETS -järjestelmän päästömarkkinoilla vallitsee epätäydellinen kilpailu, koska markkinoiden toimijat kykenevät vaikuttamaan päästölupien hintoihin joko suorasti tai epäsuorasti, mikä voi tehdä tutkimustuloksista harhaisia (Montagnoli & de Vries, 2010). Näin ollen kyse on jo aiemmin mainitusta, kapeiden markkinoiden ongelmasta sekä hintojen epäjatkuvuudesta.

EU ETS -järjestelmässä on myös useita muita epävarmuustekijöitä, jotka voivat vaikuttaa sen tehokkuuteen. Sen lisäksi, että kyseessä on toistaiseksi suurin päästömarkkina, sen

toiminta perustuu polittiseen päätöksentekoon, joten epävarmuus kansainvälisessä ilmastopolitiikassa heijastuu myös EU ETS -järjestelmään, mikäli järjestelmän perusta on heikko eli sen toimivuuteen ei ole kiinnitetty riittävästi huomiota. Lisäksi sähköntuottajat muodostavat valtaosan EU:n päästökauppaan osallistuvista yrityksistä, joten EU:n päästömarkkinat ovat hyvin keskittyneet – näin ollen päästömarkkinoilla vallitsee oligopolistinen kilpailu. (Aatola ja muut, 2013.)

Myös Andrew (2008) on esittänyt tutkimuksessaan useita syitä sille, miksi EU ETS -järjestelmä ei toiminut tehokkaasti ensimmäisten velvoitekausien aikana. Yksi merkittävimmistä EU:n päästökaupan tehottomuutta aiheuttavista tekijöistä on Andrewn (2008) mukaan ollut epätäydellinen informaatio: Ne päästömarkkinoiden osapuolet, jotka ovat olleet tietoisia EU ETS -järjestelmän ongelmista, ovat kyenneet tekemään suurta tuottoa. Muut päästömarkkinoiden toimijat eivät ole saaneet sisäpiiritietoa, minkä vuoksi kyseisten toimijoiden tuotot ovat olleet pienemmät. Ongelmia on lisäksi aiheuttanut se, että tietyt osallistujamaat ovat käyttäneet niin poliittista kuin taloudellista markkinavoimaansa poimiakseen paremmat sopimukset oman valtionsa yrityksille. Lisäksi EU ETS -järjestelmä ei ensimmäisten velvoitekauden aikana käsittänyt esimerkiksi metaanipäästöjä, joilla on merkittävä kasvihuonevaikutus hiilidioksidin rinnalla. (Andrew, 2008.)

Kuten Hood (2010, s. 20–21) esittää, tulee kuitenkin huomioida, että ensimmäisen velvoitekauden tavoitteena oli merkittävien päästövähennysten sijaan kehittää järjestelmän rakennetta sekä saada kokemusta päästökaupan toteuttamisesta. Aloitus oli hyvin nopea, joten yrityksillä ei ollut riittävästi aikaa siirtyä vähäpäästöisempään tuotantoon ennen päästökauppajärjestelmän toteuttamisen aloittamista. Tästä sekä päästölupien liiallisesta jakamisesta huolimatta EU:ssa saavutettiin Hoodin (2010, s. 20–21) mukaan ensimmäisen velvoitekauden aikana 2–5 %:n päästövähennykset (120–300 MtCO₂-e).

Heindl (2017) toteaa tutkimuksessaan, että kaupankäyntikustannukset ovat kasvaneet EU ETS -järjestelmässä erityisesti kuluvan velvoitekauden (2013–2020) aikana.

Aiemmissa tutkimuksissa on keskitytty pääasiassa päästölupiin liittyvän kaupankäynnin transaktiokustannuksiin, kun taas hallinnollisia kustannuksia ja niiden vaikutusta päästömarkkinoiden tehokkuuteen on tarkasteltu vähemmän. Hallinnollisia kustannukset aiheutuvat esimerkiksi vuosittaisten päästöjen valvonnasta, vahvistamisesta sekä raportoinnista, joista kaikki ovat merkittäviä tekijöitä päästökaupan toimivuuden varmistamisessa. Heindl (2017) on osoittanut, että hallinnolliset transaktiokustannukset ovat positiivisesti korreloituneita suurempien, EU:n päästökauppaan kuuluvien yritysten – joissa on enemmän kuin 249 työntekijää – vuosittaisten päästömäärien kanssa. Toisin sanoen, mitä isommat päästömäärät yrityksellä on, sitä enemmän yrityksen varoista menee muun muassa päästömäärien valvontaan sekä raportointiin. Tätä vastoin hallinnolliset transaktiokustannukset eivät riipu vuosittaisista päästömääristä pienten yritysten (alle 250 työntekijää) kohdalla. Toisaalta Heindl (2017) esittää, että pienet yritykset ovat raportoineet muihin yrityksiin verrattuna suuremmista kiinteistä transaktiokustannuksista eli sellaisista transaktiokustannuksista, jotka eivät muutu päästömäärien muuttuessa.

Myös päästöoikeuksien jakamistapojen tehokkuudesta on käyty paljon keskustelua. Kuten edellä on todettu, huutokaupan yksityiset kustannukset ovat ilmaisjako korkeammat, mutta ilmaisjaon myötä sähköntuottajien on mahdollista ansaita ylituottoa (Cló, 2010) eikä ilmaisjako ole kannustanut investoimaan vähäpäästöisempään teknologiaan (Nash, 2000). Näin ollen ilmaisjako on nähty huutokauppaa ja päästöoikeuksien suoraa jakamista tehottomampana vaihtoehtona, mutta Woerdman ja muut (2008) ovat sitä vastoin esittäneet, että ilmaisjako ja huutokauppa ovat päästöjen vähentämisen kannalta yhtä tehokkaita. He perustelevat väitteensä siten, että tehokas lopputulos ei ole riippuvainen alkuperäisestä päästöoikeuksien jakamistavasta, mikäli yritykset voivat käydä päästöoikeuksilla kauppaa vapaasti ilman transaktiokustannuksia. Cló (2010) esittää lisäksi, että ilmaisjaetuilla päästöoikeuksilla voidaan kattaa tuotannosta aiheutuvat päästöt tai tavoiteltujen päästövähennysten tapauksessa ne voidaan myydä päästömarkkinoilla markkinahintaan. Ensin mainitussa tilanteessa ilmaisjaettujen päästöoikeuksien vaihtoehtoiskustannus on se tuotto, jonka yritys olisi voinut ansaita

vähentämällä päästöjä sekä myymällä päästöoikeuksien ylijäämän markkinahintaan päästömarkkinoilla. EU ETS -järjestelmään kuuluvien yritysten onkin huomioitava, että kattamalla päästönsä niitä vastaavalla määrällä päästöoikeuksia, yritykset voivat saada tuottoa yhtä paljon kuin tilanteessa, jossa ne vähentäisivät päästöjään – tai tuotantoaan – ja myisivät päästömarkkinoilla ylimääräiset, alun perin ilmaiseksi jaetut päästöoikeudet. Näin ollen yritykset voivat sisällyttää ilmaisjaettujen päästöoikeuksien markkinahinnan tuotannosta aiheutuviin rajakustannuksiin ja sen myötä lopullisiin kustannuksiin. Tämä on tehokas tapa, koska hintojen noustessa saastuttavasta tuotannosta tulee kalliimpaa, ja samaan aikaan markkinoilla vallitseva kilpailu kannustaa investoimaan vähäpäästöisempiin tuotteisiin sekä vähäpäästöisempään teknologiaan. (Cló, 2010.)

Erityisesti energiaintensiiviset yritykset ovat kritisoineet EU:n päästökauppajärjestelmää hiilivuotoriskin vuoksi. Hiilivuodolla tarkoitetaan tilannetta, jossa EU:n asettamat, tiukat päästötavoitteet aiheuttavat lisäkustannuksia yrityksille, mikä vähentää niiden kilpailukykyä maailmanlaajuisilla markkinoilla. Lisäkustannusten ja siitä aiheutuvan kilpailukyvyen heikkenemisen vuoksi yritykset joutuvat harkitsemaan tehtaiden sulkemista tai toiminnan ja investointien siirtämistä Euroopan ulkopuolelle. Tällöin päästöjä siirtyy maihin, joissa ilmastopoliittiset tavoitteet eivät ole yhdenmukaiset ja yhtä tiukat kuin Euroopassa, ja maailmanlaajuiset päästömäärät kasvavat. Euroopassa ilmastopoliittinen sääntely kohdistuu hyödykkeiden tuotantoon eli tuotannosta aiheutuviin päästöihin eikä tuotteen loppukulutukseen eli tuotteen käytöstä johtuviin päästöihin. Myös tämän vuoksi energiaintensiivisillä yrityksillä voi olla kannustin siirtää tuotantoaan Euroopan ulkopuolelle maihin, jossa se tulee halvemmaksi. (Cló, 2010.)

3.4.3 Päästöluvan hinta ja hintakehitys

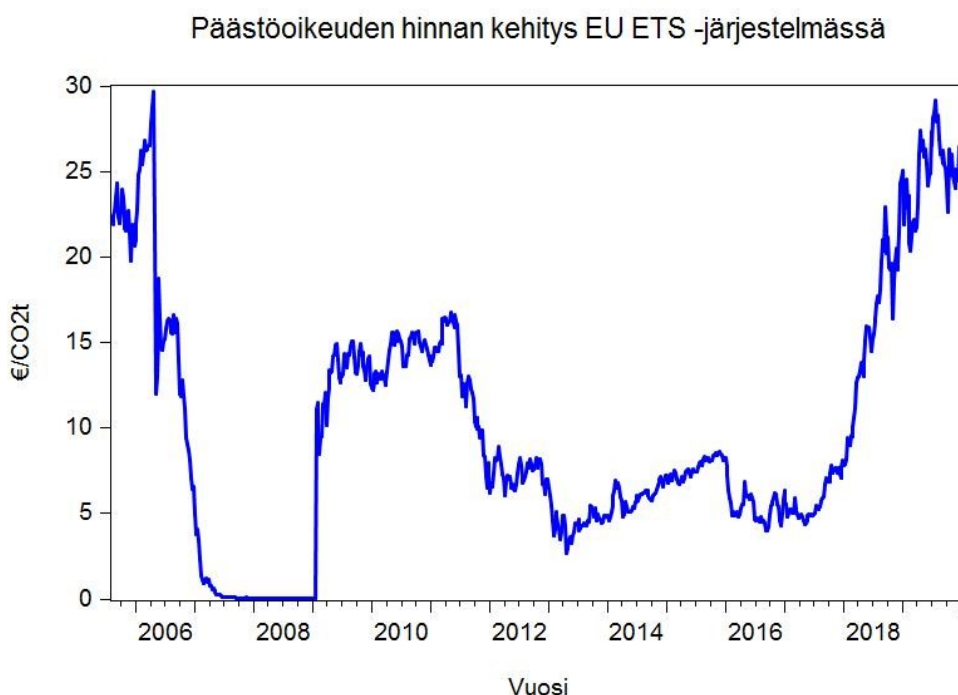
Päästöoikeuden hinnalla, joka vastaa hiilen hintaa, on suuri merkitys päästökaupan tehokkuudessa. Kuten Chung ja muut (2018) esittävät, liian alhainen päästöoikeuden hinta tekee päästökaupasta tehottoman siten, ettei se kykene kompensoimaan esimerkiksi

ilmastonmuutoksen aiheuttamia haittoja. Tällöin yrityksilläkään ei ole kannustinta vähentää päästöjään esimerkiksi investoimalla puhtaampaan teknologiaan.

Hiilen hinnan merkitystä ja kehitystä tarkastellessa on tärkeää huomioida myös ne tekijät, jotka vaikuttavat hiilen hintaan. Kuten muillakin markkinoilla, myös päästömarkkinoilla hinta muodostuu markkinaehtoisesti kysynnän ja tarjonnan perusteella. Kysyntä riippuu siitä, kuinka paljon päästökauppaan kuuluvat toimijat ovat valmiita maksamaan päästöoikeuksista. Päästöoikeuksien tarjonta on kiinteä eli se määräytyy kansallisilla päästömarkkinoilla pääasiassa päästökattoon perustuvien poliittisten päätösten perusteella (Rickels ja muut, 2015), koska EU-tasolla asetetut ilmastopoliittiset tavoitteet määrittävät päästökaton eli päästöoikeuksien kokonaismäärän. Näin ollen hiilen hinnan vaihtelut selittyvät kysyntään vaikuttavilla tekijöillä.

Tässä tutkimuksessa keskitytään siihen, miten makrotaloudellinen epävarmuus – tarkemmin osake- ja öljymarkkinoilla vallitseva epävarmuus – vaikuttaa päästöoikeuden hinnan volatilitettiin. Aikaisemmissa tutkimuksissa on osoitettu muun muassa, että päästöluvan hintaan vaikuttavat vallitsevan markkinatilanteen lisäksi öljyn, kivihiilen sekä maakaasun hinnat. Mansanet-Bataller ja muut (2007) sekä Alberola ja muut (2008) ovat analysoineet energiamarkkinoiden ja päästöluvan hinnan välistä suhdetta osoittaen, että energialähteet ovat merkittävimpiä päästöluvan hintaan vaikuttavia tekijöitä. Tan ja Wang (2017) ovat tutkineet päästöoikeuden hintaan vaikuttaneita tekijöitä kolmen ensimmäisen velvoitekauden aikana huomaten niin ikään, että raakaöljyllä, maakaasulla ja kivihiihellä on merkittävä vaikutus päästöoikeuden hintaan. Myös sääolosuhteilla on todettu olevan vaikutusta – etenkin erityisen kylmät ja kuumat päivät nostavat päästöoikeuden hintaa (Mansanet-Bataller ja muut, 2007). Chung ja muut (2018) esittävät lisäksi, että sähkön hinta vaikuttaa päästöoikeuden hintaan, koska sähkön tuotantotapa voi joko pienentää tai lisätä päästöoikeuksien kysyntää: Uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö laskee päästöoikeuksien kysyntää, jolloin niiden hinta laskee. Sitä vastoin uusiutumattomilla energialähteillä tuotettu sähkö lisää päästöoikeuksien kysyntää, minkä vuoksi päästöoikeuksien hinta nousee. Kuten Mansanet-Bataller ja muut (2007) toteavat, tulee

kuitenkin ottaa huomioon, että teoreettiset mallit – joiden perusteella on analysoitu päästöoikeuden hintaan vaikuttavia tekijöitä – eivät kykene selittämään hintamuutoksia lyhyellä aikavälillä eli päivätasolla. Näin ollen kyseiset mallit kykenevät selittämään täsmällisesti vain vuosittaisia muutoksia sekä päästöoikeuksien hintamuutosten taustalla olevia markkinavoimia, mutta ne eivät ole täsmällisiä esimerkiksi sääolosuhteiden aiheuttamien vaikutusten tutkimisessa.



Kuvio 2. Päästöoikeuden hinnan kehitys EU ETS -järjestelmässä vuosina 2005–2020. Päästöoikeuden hinta on spot-hinta ja se ilmoitetaan euroina per hiilidioksiditonni.

Hiilen hinta on vaihdellut historiallisesti paljon. Ensimmäisen velvoitekauden alussa lähelle kolmeakymmentä euroa (Hintermann, 2010). Todellisen, ensimmäisen vuoden päästöoikeuksien kysynnän tullessa julki vuonna 2005, päästöoikeuden hinta tippui 15 euroon hiilidioksiditonnilta päästöoikeuksien ylitarjonnan vuoksi (Hintermann, 2010). Cló (2010) esittää lisäksi, että ensimmäisen, kokeiluluontoisen velvoitekauden (2005–2008) aikana EU ETS -järjestelmään kuuluneiden sektoreiden päästöille ei asetettu riittävän tiukkaa päästökattoa, joten päästöoikeuksien niukkuuden puutteen vuoksi yrityksillä

ei ollut kannustinta vähentää päästöjään. Kuten kuviosta 2 nähdään, vuonna 2006 päästöoikeuden hinta tippui nolnaan maailmanlaajuisen talouskriisin seurauksena pysyen yhtä alhaisena noin vuoden 2008 puoliväliin saakka. Talouskriisin jälkeen hiilen hinta palautui noin 15 euroon, mutta laski jälleen vaihdellen vuosien 2011 ja 2017 välillä noin viidestä kymmeneen euroa. Vasta vuonna 2017 päästöoikeuden hinta alkoi merkittävästi nousta päästöoikeuksien takaisinvedon (backloading) sekä markkinavakausvarannon implementoinnin myötä. Tammikuussa 2020 päästöoikeuden hinta on ollut keskimäärin hieman alle 25€/t. (Kuvio 2.)

Hiilen absoluuttisen hintatason lisäksi huomiota tulisi kiinnittää myös päästökaton suuruuteen ja esimerkiksi siihen, tulisiko päästöluvan hinnalle asettaa minimi- tai maksimi-hinta, koska päästökaton ja mahdollisen lattia- tai kattohinnan avulla voidaan vaikuttaa päästöoikeuden hintaan. Vuonna 2019 EU ETS -järjestelmässä onkin otettu käyttöön markkinavakausvaranto, jonka tarkoituksena on vähentää päästöoikeuksien ylitarjontaa siirtämällä ylimääräisiä päästöoikeuksia varantoon, jolloin päästöoikeuden hintaa saadaan nostettua. Toisaalta ylikysyntätilanteessa varannosta voidaan siirtää markkinoille päästöoikeuksia. Päästökattoa on tarkoitus kiristää vuosittain, jolloin tietty määrä päästöoikeuksia mitätöidään, mikä vaikuttaa päästöoikeuksien kokonaistarjontaan. Kuten Chaton ja muut (2018) ovat osoittaneet, markkinavakausvarannon avulla on jo tähän mennessä onnistuttu nostamaan päästöoikeuden hintaa.

Abrell ja muut (2019) ovat puolestaan tutkineet, kuinka paljon EU:n ilmastopolitiikan päästövähennystavoitteiden mukaisista päästövähennyksistä aiheutuvia kustannuksia saadaan pienennettyä, jos päästöluville asetetaan minimi- eli lattiahintaa. Tutkimuksen mukaan hyvinvointikustannuksia saadaan vähennettyä 20–30 prosentilla, mikäli päästöoikeuden minimihinnaksi asetetaan 50–70 dollariin hiilidioksiditonnia kohti. Tällöin hyvinvointikustannukset pienenevät, koska päästövähennyksistä aiheutuvien rajakustannusten ero EU ETS -järjestelmään kuuluvien yritysten ja järjestelmän ulkopuolisten yritysten välillä pienenee. Hyvinvointikustannusten pieneminen johtuu myös siitä, että päästöoikeuden hinnan noustessa yrityksillä on suurempi kannustin vähentää päästöjä,

jolloin paine päästöjen vähentämisestä siirtyy pois EU ETS -järjestelmään kuulumattomilta yrityksiltä – ja erityisesti niiltä, joille koituu jo huomattavia kustannuksia esimerkiksi polttoaineverotuksesta. (Abrell ja muut, 2019.)

4 EPÄVARMUUS JA SEN ESIINTYMINEN MARKKINOILLA

Eri markkinoilla esiintyvän epävarmuuden tutkiminen on tärkeää, koska volatiliteetilla on keskeinen rooli rahoitusmarkkinoilla ja kaikessa taloudellisessa päätöksenteossa (Ahoniemi, 2009). Kuten Pindyck (2004a) esittää, jatkuvat muutokset volatiliteetissa kasvattavat tuottajiin ja kuluttajiin kohdistuvaa riskiä, mikä voi vähentää investointien määrää. Epävarmuus voikin kertoa siitä, että makrotaloudellinen tilanne on heikko, jolloin yritykset vähentävät tuotantoa, ja tällöin myös päästöoikeuksien kysyntä laskee. Pindyckin (2004b) mukaan volatiliteetti voi vaikuttaa myös tuotannon rajakustannuksiin ja siten yritysten tekemien päätösten arvoon. Tämä vaikuttaa edelleen tuotannon vaihtoehtokustannuksiin.

Osake- ja öljymarkkinoilla esiintyvä epävarmuus toimii indikaattorina reaalityaloudessa vallitsevalle epävarmuudelle. Jotta voidaan arvioida, miten epävarmuus välittyy öljy- ja osakemarkkinoilta päästömarkkinoille, tulee tarkastella, miten epävarmuus reaalityaloudessa heijastuu öljy- ja osakemarkkinoille. Tämän vuoksi tässä teorialuvussa tarkastellaan sitä, miten epävarmuus ilmenee osake-, öljy-, ja päästömarkkinoilla. Lisäksi tarkastellaan, miten markkinaepävarmuutta mitataan, miksi epävarmuuden arvioiminen on tärkeää ja heijastuuko edellä mainituilla markkinoilla vallitseva epävarmuus muille markkinoille.

4.1 Volatiliteetti epävarmuuden mittarina

Segnon ja muut (2017) esittävät, että hyödykemarkkinat muistuttavat vaihtokaupan mahdollistavien pörssien sekä standardoitujen tuotteiden vuoksi yhä enemmän rahoitusmarkkinoita, ja hyödykkeet vastaavat niin ikään perinteisiä rahoitusmarkkinoiden tuotteita, kuten osakkeita, bondeja sekä valuuttakursseja. Kuten perinteisillä arvopapereilla ja muilla omaisuusluokilla on tapana, hyödykkeiden tuottojen frekvenssit ovat suhteellisen suuria ja markkinahintojen korkeat vaihtelut ovat usein autokorreloituneita. Segnon ja muut (2017) huomauttavat kuitenkin, että hyödykkeiden hintojen vaihtelut

voivat olla jopa perinteisien omaisuuserien hintojen vaihtelua huomattavasti suurempaa eivätkä päästöoikeuksien hinnat ole poikkeus, sillä esimerkiksi vuonna 2008 hiilen hinta laski nollaan euroon hiilidioksiditonnilta. Tämän vuoksi onkin olennaista tutkia niin rahoitus- kuin hyödykemarkkinoilla esiintyvää epävarmuutta.

Volatiliteetti, joka kuvaa rahoitusinstrumentin hintavaihtelun voimakkuutta, viittaa käynnissä olevaan muutostilaan, joka voi olla laajuudeltaan äärimmäinen tai kapea-alainen (Chevallier, 2011b). Kuten Pati ja muut (2018) esittävät, todellista volatiliteettia ei voida havaita, mutta volatiliteettia mitataan yleisesti omaisuuserien tuottojen keskihajonnalla tiettyä ajanhetkenä. Volatiliteettia käytetään esimerkiksi osakemarkkinoilla osakemarkkinoiden suoriutumisen mittaamiseen (Devi, 2016). Volatiliteetilla on merkittävä rooli myös useissa muissa rahoitusalan sovellutuksissa, kuten esimerkiksi riskeiltä suojautumisessa ja riskienhallinnassa, sijoitussalkun hallinnassa sekä sijoitusten hajauttamisessa (Pati ja muut, 2018).

Kuten Chevallier (2011b) esittää, rahoitusmarkkinoilla sijoittajat ovat hyvin kiinnostuneita hintojen muutoksista, ja he käyttäytyvät usein kollektiivisesti lauman tavoin, mikä voi aiheuttaa liioitellun suuria muutoksia osakemarkkinoilla. Rahoitusmarkkinoilla hintojen nopea lasku on usein seurausta muun muassa uutisista, tapahtumista tai kriiseistä. Esimerkiksi ”karhumarkkinoilla” – jotka kuvaavat osakemarkkinoiden laskevaa markkinatrendiä – hinnat putoavat ja osakkeenomistajat voivat menettää tuottoensa. Toisaalta volatiliteetti voi kasvaa myös silloin, kun markkinat ovat noususuhdanteessa. Sijoittajien ja median reagointi harvinaisiin tapahtumiin aiheuttaa niin ikään markkinoiden volatiliteetin kasvua. (Chevallier, 2011b.) Hintojen äärimmäistä vaihtelua esiintyy vastaavasti myös päästömarkkinoilla: esimerkiksi huhtikuussa 2006 hiilen hinta romahti 54 %:lla neljän päivän aikana, koska päästöoikeuksia oli laskettu liikkeelle liikaa todellisiin päästömääriin verrattuna (Ellerman & Buchner, 2008).

Volatiliteettia voidaan mitata usein eri tavoin, mutta implisiittinen volatiliteetti on yksi yleisimmistä tavoista, jolla voidaan arvioida hintavaihtelun voimakkuutta. Korkeat

implisiittisen volatilitiitin arvot kertovat sijoittajien pelosta ja pessimistisistä odotuksista osakemarkkinoita kohtaan: kun pelko on markkinoilla korkealla, myös riskipreemio kasvaa ja näin ollen optiot hinnoitellaan korkeamman volatilitiitin mukaan (Pati ja muut, 2018; Maghyereh ja muut, 2016).

Implisiittistä volatilitiittia on käytetty aiemmissä tutkimuksissa laajasti tutkittaessa sitä, miten epävarmuus välittyy rahoitusmarkkinoille (esim. Nikkinen & Sahlström, 2004; Krylova ja muut, 2009). Kuten Liu ja muut (2013) esittävät, implisiittistä volatilitiittia voidaan käyttää markkinoiden välisiä suhteita tutkittaessa sekä silloin, kun halutaan lisätä tietoa historiallisesta hintakehityksestä. Myös Pati ja muut (2018) toteavat, että implisiittisen volatilitiitin pitäisi sisältää kaikki saatavilla oleva informaatio – historialliset hinnat mukaan lukien. Toisaalta heidän mukaansa implisiittisen volatilitiitin informaatiotehokkuudesta ei ole selvää yksimielisyyttä – joissakin tutkimuksissa on esitetty, että implisiittinen volatilitiitti ei kykene ennustamaan tehokkaasti tulevaa volatilitiittia (Day & Lewis, 1992; Becker ja muut, 2006). Sitä vastoin Dutta (2017), Maghyereh ja muut (2016) sekä Ahoniemi (2009) esittävät, että implisiittisen volatilitiitin mittarit ovat parempia ennustamaan tulevaa volatilitiittia kuin historiallisen eli reaalisen volatilitiitin mittarit. Esimerkiksi reaalin volatilitiitti sisältää tiedon vain tarkastelussa olevan markkinan historiallisesta volatilitiitista (Dutta, 2017). Blair ja muut (2001) ovat osoittaneet, että implisiittinen volatilitiitti on jopa ARCH-malleja sekä historiallisia volatilitiittejä parempi piilevän hintavaihtelun mittari. Maghyereh ja muut (2016) lisäävät, että implisiittisen volatilitiitin mittarit ovat eteenpäin katsovia eli ne edustavat markkinoiden odotusta tulevasta epävarmuudesta, koska ne johdetaan optioiden hinnoista. Lisäksi implisiittisten volatilitiittien avulla voidaan ennustaa epävarmuutta eri markkinoiden välillä (Maghyereh ja muut, 2016), minkä vuoksi implisiittisen volatilitiitin mittareiden käyttö on perusteltua tässä tutkimuksessa.

Implisiittinen volatilitiitti on tärkeä tekijä optioiden hinnoittelussa, koska implisiittinen volatilitiitti on eteenpäin katsova (Padhi & Shaikh, 2014). Näin ollen se voidaan määrittää kääntämällä optioiden hinnoittelumallin yhtälö, kun option markkinahinta tiedetään

(Ahoniemi, 2009). Ahoniemen (2009) mukaan implisiittinen volatilitteetti voidaan estimoita seuraavasti Black-Scholes-optiohinnoittelumallin (Black & Scholes, 1973) avulla:

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rT}N(d_2), \quad (1)$$

jossa

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

C kuvaa eurooppalaisen call-option hintaa, S on omaisuuserän markkinahinta, X ilmaisee option toteutumishinta (engl. strike price), r on riskitön korko, T on option maturiteetti, N tarkoittaa kumulatiivista normaalijakaumafunktiota eli kertymäfunktiota, ja σ osoittaa omaisuuserän – tässä tapauksessa osakkeen – tuottojen volatilitteetin option elinkaaren aikana. (Ahoniemi, 2009.)

Nikkisen ja Sahlströmin (2001) mukaan keskimääräinen implisiittinen volatilitteetti voidaan määrittää seuraavan kaavan avulla:

$$\sigma_{keskiarvo} = \sqrt{\frac{t-1}{t}\sigma_{normaali}^2 + \frac{1}{t}\sigma_{tapahtuma}^2}, \quad (2)$$

jossa $\sigma_{keskiarvo}$ on implisiittisen volatilitteetin keskiarvo, $\sigma_{normaali}^2$ ja $\sigma_{tapahtuma}^2$ kuvaavat osakkeen tuoton varianssia tavallisena kauppapäivänä sekä uutisten julkaisupäivänä ja t on option erääntymispäivä (Nikkinen & Sahlström, 2001). Yhtälön 2 keskimääräinen implisiittinen volatilitteetti on teoreettinen implisiittinen volatilitteetti, mikä tarkoittaa, että sijoittajat olettavat volatilitteetin olevan vakio tavallisina päivinä ja tavaliseen päivään verrattuna kaksinkertainen uutisten julkaisupäivänä. Tämä pitää keskimäärin paikkaansa volatilitteetin ollessa stokastinen. (Nikkinen & Sahlström, 2001.) Myös

Heynenin, Kemnan ja Vorstin (1994) mukaan implisiittinen volatilitaetti on likimain sama kuin keskimääräinen odotettu volatilitaetti maturiteetin aikana eli ennen option erääntymistä, mikäli volatilitaetti on stokastinen.

4.2 Epävarmuus osakemarkkinoilla

Jotta voidaan tutkia reaalityaloudessa vallitsevan epävarmuuden vaikutusta päästömärkinoihin, tulee huomioida, miten osakemarkkinoiden epävarmuus heijastuu päästömärkinoille, koska osakemarkkinat ovat yksi reaalityalouden indikaattoreista. Osakemarkkinat heijastavat taloudellista tilannetta ja kertovat, miten sijoittajat odottavat talouden kehittyvän tulevaisuudessa.

Osakemarkkinat ovat luonnostaan hyvin volatiileja, joten useat tutkijat ovat tutkineet makrotaloudellisten tekijöiden vaikutusta osakemarkkinoiden suoriutumiseen (Devi, 2016). Devi (2016) on tutkinut, miten yleisimmät makroekonomiset muuttujat – kuten esimerkiksi teollisuuden tuotanto, inflaatio, korkotaso, ja rahan tarjonta vaikuttavat osakemarkkinoiden tuottoihin. Teollisuuden tuotannon indeksiä on käytetty kuvaamaan valtion taloudellista tilannetta, ja sen on ajateltu paljastavan valtion talouskasvun teollisuuden osalta. On osoitettu, että taloudellisen aktiivisuuden – eli tässä tapauksessa teollisuuden tuotannon – kasvu kasvattaa yritysten tuottoa ja nostaa siten osakkeiden hintoja. Näin ollen teollisuuden tuotannon ja osakkeiden tuoton välillä on positiivinen yhteys. Korkotason muutos vaikuttaa puolestaan sijoittajien tekemiin sijoituspäätöksiin, koska sijoittajat näkevät korkotason investoinnin vähimmäistuottoasteena tai riskittömänä tuottona. Korkotason nousu laskee osakkeiden tuottoja ja korkotason lasku vaikuttaa osakkeiden tuottoihin niitä nostavasti. Korkea inflaatioaste vähentää puolestaan rahan ostovoimaa, nostaa käytettävissä olevia tuloja ja vähentää säästämisastetta, ja näin ollen investoinnit osakemarkkinoille laskevat, kun hintatason nousu laskee osakemarkkinoiden tuottoja. Toisaalta tällä hetkellä käydään paljon keskustelua siitä, että inflaation vaikutus osakemarkkinoiden tuottoihin riippuu useista eri tekijöistä ja tarkasteltavasta ajanjaksosta – myös inflaation voidaan itsessään ajatella olevan ennalta arvaamaton tekijä.

(Devi, 2016.) Rahan tarjonnan vaikutus osakemarkkinoihin liittyy puolestaan rahan tarjonnan likviditeettiin: rahan tarjonnan korkea likviditeetti kasvattaa osakemarkkinoiden tuottoastetta, koska kassavirtojen kasvu nostaa investointien määrää osakemarkkinoilla (Mukherjee & Naka, 1995).

Koska Yhdysvalloilla (USA) on maailmantaloudellisesti merkittävä rooli, ja Yhdysvaltojen tapahtumilla on vaikutusta myös muualla maailmassa, on syytä tarkastella Yhdysvaltojen talouden indikaattoreita. Kyseiset indikaattorit vaikuttavat Nikkisen ja Sahlströmin (2011) tutkimuksen mukaan sekä yhdysvaltalaisiin että ulkomaisiin yrityksiin. Aikaisemmissa tutkimuksissa on keskitytty esimerkiksi työllisyyslukuihin, tuottajahintaindeksiin ja kuluttajahintaindeksiin liittyvien raporttien ja uutisten vaikutukseen. Koska implisiittinen volatilititeetti kuvaa markkinoiden odotusta tulevasta osakkeen hintavaihtelun voimakkuudesta option erääntymispäivään saakka, implisiittisen volatilititeetin pitäisi reagoida makrotaloudellisiin uutisiin.

Esimerkiksi Fleming ja Remolona (1999) sekä Ederington ja Lee (1996) ovat osoittaneet, että makroekonomiset uutisjulkaisut vaikuttavat merkittävästi osakemarkkinoiden reaaliiseen volatilititeettiin. Ederingtonin ja Leen (1996) mukaan historiallinen volatilititeetti säilyy makrotaloudellisten uutisten julkaisun jälkeen merkittävästi korkeampana viiden-toista minuutin ajan ja hieman korkeampana muutaman tunnin ajan uutisten julkaisun jälkeen. Nikkisen & Sahlströmin (2001) mukaan volatilititeetti käyttäytyy edellä mainitulla tavalla, koska makrotaloudelliset uutiset paljastavat olennaista tietoa arvopapereista ja kyseinen informaatio siirtyy uutisten julkaisun jälkeen välittömästi hintoihin, mikä on linjassa Faman (1970) tehokkaiden markkinoiden hypoteesin kanssa. Nikkisen ja Sahlströmin (2001) tutkimus osoittaa myös, että implisiittinen volatilititeetti tippuu makrotaloudellisten uutisten julkaisemisen seurauksena, ja työllisyysuutiset aiheuttavat suurimman laskun. Tutkimus osoittaa myös, että Yhdysvaltojen tuottaja- tai kuluttajahintaindeksiin liittyvien uutisten vaikutus suomalaisiin osakemarkkinoihin on lähes samanlainen kuin USA:n osakemarkkinoihin. Sitä vastoin Yhdysvaltojen työllisyystilanteeseen liittyvien uutisten vaikutus Suomen osakemarkkinoihin on heikompi kuin USA:n osakemarkkinoihin.

Tästä huolimatta tulokset osoittavat, että Yhdysvaltojen makrotaloudellisten uutisten vaikutus näkyy Suomen osakemarkkinoilla, ja tämän myötä voidaan olettaa, että vaikutus näkyy myös esimerkiksi muualla Euroopassa – etenkin niiden valtioiden osakemarkkinoilla, jotka ovat Yhdysvaltojen kauppakumppaneita.

4.3 Epävarmuus öljymarkkinoilla

Öljymarkkinat ovat osakemarkkinoiden tavoin yksi reaalityalouden indikaattoreista, ja raakaöljyllä on merkittävä rooli maailmantaloudessa. Öljy on yksi maailman tärkeimmistä hyödykkeistä ja se on myös yksi talouden tuotannontekijöistä, joten sen hinnan vaihtelu voi aiheuttaa epävarmuutta niin kokonaistaloudellisessa kasvussa kuin kehityksessä (Dutta, 2018b). Toisaalta hyödykkeitä on mahdollista käyttää sijoituskohteina, ja useat sijoittajat sijoittavatkin esimerkiksi öljyyn ja kultaan vähentääkseen markkinariskiä (Liu ja muut, 2013).

Narayanin ja Narayanin (2007) mukaan öljyn hinnan korkea volatilitteetti vahvistaa öljymarkkinoilla vallitsevaa epävarmuutta johtaen talouden epävakautteen sekä öljyn vieniin että tuontiin keskittyvissä valtioissa. Vo (2011) esittää, että öljyn hinnan voimakas nousu kasvattaa tuotantokustannuksia, mikä vaikuttaa edelleen sekä inflaatioon, kuluttajien luottamukseen sekä talouskasvuun. Narayan ja Narayan (2007) toteavat, että korkea öljyn hinta edesauttaa inflaatiota, mikä voi johtaa taantumaa valtioissa, jotka ovat öljystä riippuvaisia. Noor ja Dutta (2017) ovat osoittaneet lisäksi, että öljyn hinnan volatilitteetti voi vaikuttaa merkittävästi osakemarkkinoihin. Cinerin (2013) mukaan öljyn hinta vaikuttaa osakemarkkinoiden suoriutumiseen siten, että öljyn hintashokit voivat muuttaa odotettuja kassavirtoja ja toisaalta öljyn hinta voi muuttaa inflaatio-odotuksia ja vaikuttaa sen kautta diskonttokorkoon. Koska öljymarkkinat ovat osakemarkkinoiden ohella yksi reaalityalouden indikaattoreista ja öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden on tutkittu vaikuttavan osakemarkkinoiden tuottoihin, olennaista on tutkia myös, miten öljymarkkinoilla vallitseva epävarmuus vaikuttaa päästömarkkinoihin.

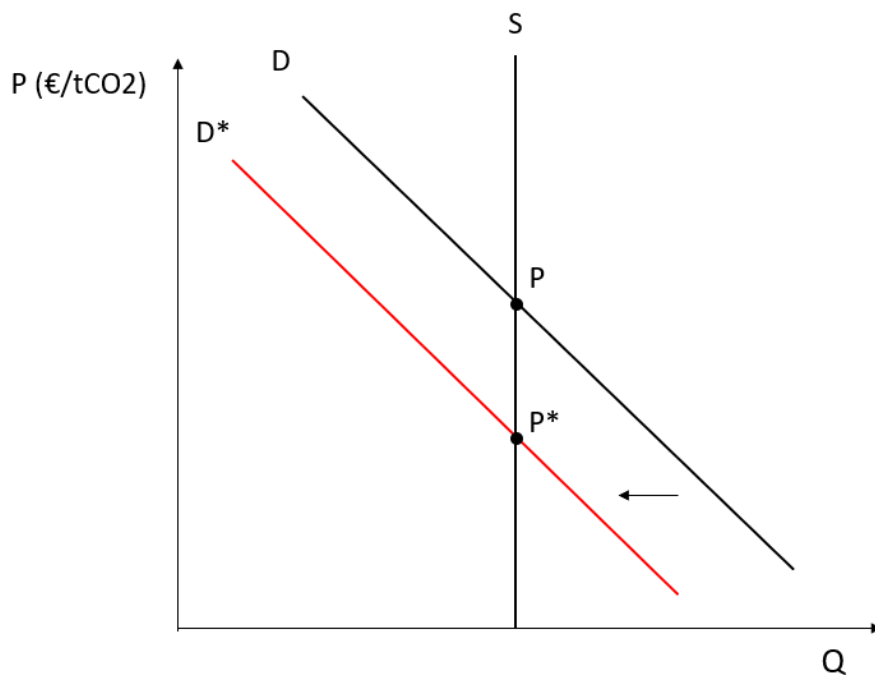
Aikaisemmin ei ole tutkittu paljon öljy- ja päästömarkkinoiden välistä suhdetta, mutta Dutta (2018a) on osoittanut tutkimalla öljymarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta päästömarkkinoille, että päästöoikeuden hinta on hyvin herkkä öljymarkkinoiden implisiittisen volatilitteen muutoksille, öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus EU ETS -järjestelmään on epäsymmetrinen ja öljyn hinnan volatilitettiin kohdistuvien shokkien vaikutus päästömarkkinoille on heterogeeninen. Öljy- ja päästömarkkinoiden välinen epäsymmetrisyys tarkoittaa, että öljyn hinnan volatilitetti kasvaessa päästömarkkinoiden volatilitetti kasvaa ja päästöoikeuden sekä öljyn hinnat laskevat (Dutta, 2017; Luo & Wu, 2016). Näin ollen on osoitettu, että öljyn ja hiilen hinta liikkuvat samaan suuntaan eli öljy- ja päästömarkkinoiden välillä on positiivinen yhteys. Reboredo (2013) on niin ikään tutkinut EU:n päästömarkkinoiden sekä raakaöljymarkkinoiden välistä suhdetta havaiten, että EU:n päästömarkkinoiden ja raakaöljymarkkinoiden välillä on keskimääräisesti positiivinen riippuvuus eli öljyn hinnan noustessa päästöoikeuden hinta nousee, mutta toisaalta päästöoikeuden ja raakaöljyn hinnan äärimmäisten arvojen välillä vallitsee symmetrinen riippumattomuus eli hintojen äärimmäisten arvojen välillä ei ole havaittavissa enää positiivista korrelaatiota. Reboredon (2013) tutkimus osoittaa myös, että EU:n päästökaupan päästöoikeuksilla on mahdollista vähentää osakesalkun riskiä ja parantaa sen suoriutumista sekä riskikorjattuja tuottoa, mikäli EU:n päästöoikeuksia on sisällytetty öljymarkkinoiden sijoitussalkkuun. Mikäli sijoitussalkku koostui sekä päästöoikeuksien futuureista sekä öljyosakkeista, Value at Risk (VaR) -riskimittarin arvo oli pienempi, mikä tarkoittaa, että investointiin kohdistuvan tappion riski oli pienempi sekä päästöoikeuksien futuureita että öljy-yhtiöiden osakkeita sisältävässä sijoitussalkussa.

4.4 Epävarmuus päästömarkkinoilla

Yritykset kohtaavat useita epävarmuuden muotoja markkinoilla – päästöluvan hintaan kohdistuvan epävarmuuden lisäksi epävarmuutta esiintyy esimerkiksi tuotteiden kysynnässä, sääntelyn vaikutuksissa sekä kustannustasossa (Zhang ja muut, 2013). Myös Ermoliev ja muiden (2014) mukaan hiilimarkkinat ovat hyvin volatiileja, mikä johtuu

muun muassa puutteellisista politiikkatoimista, oletuksista ja kuplista. Tämän vuoksi markkinapohjaiset ohjaukeinot – kuten esimerkiksi päästökauppajärjestelmät – eivät välttämättä toimi päästöjen vähentämisestä aiheutuvia kustannuksia alentaen eivätkä siten edesauta päästövähennystavoitteiden saavuttamista tehokkaimmalla mahdollisella tavalla. Chen ja Tseng (2011) toteavatkin, että ”cap-and-trade”-mekanismi voi parhaimmillaan kannustaa yrityksiä vahvasti investoimaan vähähiilisempään teknologiaan, mutta korkea hiilidioksidin hinnan volatilitteetti voi vähentää investointihalukkuutta ja siten viivyttää investointeja.

Myös EU ETS -järjestelmän rakenne tulee ottaa huomioon päästöoikeuden hinnan epävarmuutta tarkastellessa: Kuten Lutz ja muut (2013) esittävät, päästöoikeuksien aggregaattitarjonta on kiinteä ja siten joustamaton. Sitä vastoin päästöoikeuksien kysyntä vaihtelee esimerkiksi positiivisten ja negatiivisten makrotaloudellisten shokkien mukaan. Makrotaloudelliset shokit joko kasvattavat tai laskevat hyödykkeiden kysyntää, mikä nostaa tai laskee yritysten päästömääriä, jolloin myös päästöoikeuksien kysyntä muuttuu. Päästömäärien kasvaessa päästöoikeuksien kysyntä kasvaa, mutta kuten kuviosta 3 nähdään, negatiivinen kysyntäshokki laskee päästöoikeuksien kysyntää pisteestä D pisteeseen D^* , jolloin päästöoikeuden hinta (P) laskee. Päästöoikeuden uusi, alhaisempi hinta nähdään pisteestä P^* . Koska päästöoikeuksien tarjonta on kiinteä, tarjonta (S) ei muutu. Päästöoikeuksien kysynnän muuttuessa talouden toimijoiden odotukset päästökauppajärjestelmän tiukkuudesta muuttuvat, mikä aiheuttaa volatilitteetin kasvua päästömarkkinoilla (Lutz ja muut, 2013). Toisaalta EU ETS -järjestelmässä vuonna 2019 käyttöön otetun markkinavakauseran tulisi negatiivisen kysyntäshokin seurauksena laskea päästöoikeuksien tarjontaa ja näin ollen rajoittaa päästöoikeuksien kysynnän laskun aiheuttamaa päästöoikeuden hinnan laskua.



Kuvio 3. Negatiivisen kysyntäshokin vaikutus päästöoikeuden hintaan.

Kuten tässä tutkielmassa on aiemmin todettu, hiilen hintaan vaikuttavat useat eri tekijät – niin ilmastopoliittiset päätökset, äärisääilmiöt, makrotaloudelliset muuttujat kuin energialähteiden hinnat. Kyseisten tekijöiden lisäksi muun muassa makrotaloudessa valitsevalla epävarmuudella on merkittävä rooli hiilen hinnan kehityksessä. EU:n päästömarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden tutkiminen onkin tärkeää, koska päästömarkkinoihin vaikuttavat useat maailmanlaajuiset tapahtumat – esimerkiksi Yhdysvalloista alkunsa saanut globaali finanssikriisi vaikutti negatiivisesti hyödykemarkkinoihin ja sen kautta päästö- ja energiamarkkinoihin, koska energia voidaan nähdä yhtenä hyödykkeenä. Finanssikriisin aikana Yhdysvaltojen keskuspankki leikkasi makrotaloudellisen epävarmuuden seurauksena korkotasoa, mikä johti hintojen volatiliteetin kasvuun muilla markkinoilla – oletettavasti myös hiilimarkkinoilla. (Chevallier, 2011b.) Kuten tässä tutkielmassa on todettu, eri energialähteiden – erityisesti fossiilisten polttoaineiden – hinnat vaikuttavat päästöoikeuksien hintaan, joten voidaan olettaa myös, että rahoitusmarkkinoiden kautta energiamarkkinoille siirtyvä epävarmuus vaikuttaa myös päästömarkkinoihin. Kuten Chevallier (2009) esittää, hiilen hinnan volatiliteetti kasvoi

voimakkaasti lokakuussa 2008, mikä johtui todennäköisesti kyseisestä maailmanlaajuisesta pankki- ja rahoituskriisistä. Koska hiilen hinnan volatiliteetti hankaloittaa eri toimialojen yritysten toimintaa, hiilen hinnan volatiliteetin tutkiminen ja siihen vaikuttavien tekijöiden tunnistaminen on tärkeää. Kuten Chevallier (2011b) esittää, hiilen hinnan voimakas volatiliteetti vaikeuttaa esimerkiksi energiantuotantoalan yritysten investointeja vähähiilisempään teknologiaan.

Päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin voidaan vaikuttaa usein eri keinoin. Xu ja muut (2016) ovat osoittaneet, että päästöluvan hinnan voimakasta vaihtelua voidaan tasapainottaa johdannaisopimuksilla eli optioilla. European Climate Exchange (ECX) on kaupapaikka, jossa päästöoikeuksilla voidaan käydä kauppaa niin Euroopan sisällä kuin maailmanlaajuisesti. ECX:ssä optiot ovat eurooppalaisia optioita eli optiot antavat mahdollisuuden ostaa (engl. call) tai myydä (engl. put) arvopaperin tietyllä hinnalla option erääntymispäivänä, mutta eivät velvoita siihen (Chevallier, 2011b). Kuten Xu ja muut (2016) esittävät, optiot kasvattavat päästöoikeuden hinnan kysynnän elastisuutta. Päästöoikeuden hinnan kysynnän elastisuudella tarkoitetaan kysynnän hintajoustoa eli päästöoikeuksien kysynnän suhteellista muutosta päästöoikeuden suhteellisen hinnan muuttuessa. Mitä elastisempaa eli joustavampaa päästöoikeuksien kysyntä on, sitä suurempi kysynnän muutos on hinnan muutokseen verrattuna. Xun ja muiden (2016) tutkimus osoittaa myös, että optiot toimivat päästömarkkinoilla riskienhallinnan mekanismina ja ne vähentävätkin päästövähennystavoitteiden saavuttamisesta aiheutuvia kokonaiskustannuksia. Tutkimuksessa todetaan kuitenkin, että optioiden käytön tehokkuus edellyttää, että päästökatto on riittävän matala.

Optioiden käytön lisäksi hiilen hinnalle asetetun ja ajan mukaan kehittyvän – joko nousevan tai laskevan – lattia- tai kattohinnan on todettu vähentävän päästöoikeuden hinnan volatiliteettia (Jacoby & Ellerman, 2004). Lattia- ja kattohinnan esittivät ensimmäistä kertaa Roberts & Spence (1976) ja Weitzman (1974) osoittaen, että mikäli päästöjen aiheuttajilla ei ollut kiinteän päästöoikeuksien tarjonnan puitteissa mahdollisuutta vaikuttaa päästöoikeuksien tarjonnan ajalliseen hajauttamiseen lainaamalla tai tallettamalla

päästöoikeuksia, päästöoikeuden hinnan volatilitteetti kasvoi merkittävästi. Näin ollen päästöoikeuksien tarjontaan ja sen myötä päästöoikeuden hintaan voidaan vaikuttaa lattia- ja kattohinnan asettamisella siten, että rajoittamaton määrä päästöoikeuksia vapautetaan maksimihinnalla päästömarkkinoille ja päästöoikeuksien ylijäämä ostetaan lattiahintaan, jolloin rajoitetaan päästöoikeuden markkinahinnan vaihteluväliä. Toinen vaihtoehto on käyttää talletettujen päästöoikeuksien ”varastoa” päästöoikeuksien lyhyen aikavälin tarjonnan puskurina, mikä ei rajoita merkittävästi markkinahintaa. (Holt & Shobe, 2016.)

5 PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN VOLATILITEETIN EMPIIRINEN ANALYYSI

Hiilen hintaan vaikuttavia tekijöitä on tutkittu paljon, ja kuten tässä tutkielmassa on aiemmin todettu, hiilen hintaan vaikuttavat niin makrotaloudelliset muuttujat, sääolosuhteet, energialähteiden – kuten sähkön sekä öljyn, maakaasun ja kivihiilen – hinnat kuin politiikan toimenpiteet ja institutionaaliset ratkaisut (Rickels ja muut, 2015; Mansanet-Bataller ja muut, 2007; Alberola ja muut, 2008; Tan & Wang, 2017; Chung ja muut, 2018; Chevallier, 2011b; Chevallier, 2009). Hiilen hintaan vaikuttavien tekijöiden tutkimiseen verraten päästöoikeuden hinnan volatiliteettia on tutkittu vähemmän.

Aikaisemmin on tutkittu esimerkiksi öljyn hinnan vaihtelun vaikutusta osakemarkkinoihin (Noor & Dutta, 2017; Ciner, 2013), öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutusta päästömarkkinoihin (Dutta, 2017; Dutta 2018a; Luo & Wu, 2016), päästöoikeuden hinnan ja osakkeiden hintojen välistä suhdetta (Luo & Wu, 2016) sekä makrotaloudellisen epävarmuuden vaikutusta osakemarkkinoihin (esim. Devi, 2016; Nikkinen & Sahlström, 2001). Lisäksi on tutkittu päästöoikeuden hintakehityksen vaikutusta eurooppalaisten sähköyhtiöiden osakkeiden tuottoihin (Oberndorfer, 2009). Osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta päästömarkkinoille on tutkittu hyvin vähän, mutta toisaalta Chevallier (2009) on tutkinut makrotaloudellisen epävarmuuden vaikutusta hiilen hintaan osoittaen, että hiilifutuuri- ja makrotaloudellisten shokkien välillä on heikko yhteys. Sitä vastoin on osoitettu, että makrotaloudellinen toiminta vaikuttaa päästöoikeuden hintaan (Conrad ja muut, 2012). Lisäksi Chevallier (2011a) on tutkimuksessaan osoittanut, että hiilen hinta laskee negatiivisten talousshokkien myötä, ja teollisuuden tuotannon kasvaessa päästöoikeuksien kysyntä kasvaa, koska tuotannon lisääntyessä myös kasvihuonekaasupäästöjen määrä kasvaa. Päästöoikeuksien kysynnän kasvaessa kaupankäynti päästömarkkinoilla lisääntyy ja päästöoikeuden hinta nousee.

Aikaisemmin ole myöskään tutkittu sekä öljy- että osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden yhtäaikaista vaikutusta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin vaan

öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutusta päästömarkkinoihin on tutkittu erillään osakemarkkinoiden epävarmuudesta. Sen lisäksi, että tässä tutkimuksessa tarkastellaan sekä öljy- että osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutusta päästöluvan hinnan volatilitettiin erikseen – eli tutkitaan, vaikuttaako öljy- vai osakemarkkinoiden epävarmuus päästömarkkinoilla vallitsevaan epävarmuuteen enemmän – on tarkoituksena tutkia, häviääkö toisen vaikutus, kun kumpikin edellä mainituista markkinoista huomioidaan regressiomallissa.

5.1 Aineisto ja tutkimusmenetelmä

Tämän tutkielman tarkoituksena on tutkia öljy- ja Euroopan osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutusta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin GARCH(1,1)-mallilla. Aikasarja-analyysi suoritetaan kolmella eri periodilla. Lisäksi estimointitulosten robustisuutta tutkitaan suorittamalla aikasarja-analyysi myös EGARCH(1,1)-mallilla ja tarkastelemalla, vaikuttaako virhetermin jakauman vaihtuminen tuloksiin.

5.1.1 Aineiston kuvaus

Tässä tutkimuksessa on käytetty aineistona EU:n päästöoikeuksien viikoittaisia spot-hintoja, Yhdysvaltojen suurimman johdannaispörssin – Chicago Board Options Exchangen (CBOE) – raakaöljyn volatilitetti-indeksiä (OVX) ja Euroopan osakemarkkinoiden volatilitetti-indeksiä (VSTOXX). Aineistot on kerätty Thomson Reuters DataStream -tietokannasta. Aineistoon on kerätty päästöoikeuksien spot-hinnoista sekä edellä mainituista indekseistä viikoittaiset arvot. Kuten Oberndorfer (2009) esittää, viikoittaisten tai kuukausittaisten arvojen käytöllä voidaan ehkäistä esimerkiksi kaupankäynnin epäsäännöllisyydestä johtuvia mittausvirheitä muuttujissa.

OVX on valittu tähän tutkimukseen toiseksi implisiittisen volatilitetin indeksiksi, koska sen on yleisesti todettu olevan hyvä öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden

indikaattori (Dutta ja muut, 2017). OVX mittaa öljymarkkinoiden epävarmuutta ja ennustaa markkinoiden odotusta seuraavien 30 päivän raakaöljyn hinnan volatiliteetista (Liu ja muut, 2013). OVX sisältää informaation sekä historiallisista volatiliteeteista että sijoittajien tulevaisuuden odotuksista, joten sen on osoitettu olevan perinteisiä öljyn hinnan indeksejä parempi öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden indikaattori (Dutta, 2017). VSTOXX-volatiliteetti-indeksi on puolestaan Euroopan osakemarkkinoiden volatiliteetti-indeksi, joka mittaa Eurex-johdannaispörssin EURO STOXX 50 -optioiden 30 päivän implisiittistä volatiliteettia (Shu & Chang, 2019). Aiemmissä tutkimuksissa on käytetty laajasti VIX-indeksiä – eli Yhdysvaltojen osakemarkkinoiden 30 päivän odotettua volatiliteettia – joka on ensimmäinen virallinen implisiittisen volatiliteetin indeksi (Nikkinen & Rothovius, 2019). VIX on johdettu S&P500-indeksistä, joka on yksi tunnetuimmista osakemarkkinaindekseistä (Nikkinen & Rothovius, 2019). Tähän tutkimukseen on valittu VIX:n sijaan VSTOXX, koska tutkimuksen tarkoituksena on tutkia Euroopan osakemarkkinoiden epävarmuuden vaikutusta EU ETS -järjestelmän päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin ja VSTOXX on Euroopan osakemarkkinoiden implisiittisen volatiliteetin indeksi.

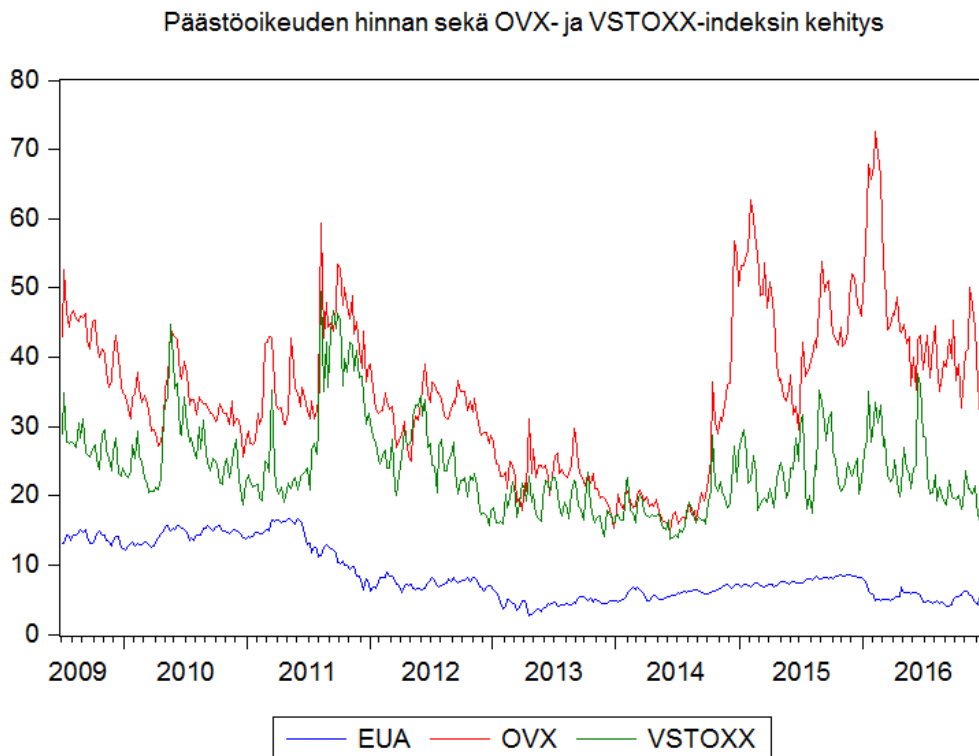
Tarkastelun kohteena oleva otos kattaa ajanjakson vuoden 2009 heinäkuusta (8.7.2009) vuoden 2016 joulukuuhun (28.12.2016) saakka. Päästöoikeuksien hinta-aineistosta on poistettu poikkeavat havainnot (Taulukko 2), minkä jälkeen myös OVX- ja VSTOXX-indeksien aineistoista on poistettu havainnot kyseisiltä päivämääriltä. Aineistoon jäi kustakin muuttujasta tämän jälkeen 370 viikoittaista havaintoa. 8.7.2009–28.12.2016 aikavälin kattava periodi jaetaan lisäksi kahteen alaperiodiin (8.7.2009–3.4.2013 ja 10.4.2013–28.12.2016), jotta voidaan tutkia, eroavatko tulokset eri periodien välillä. Erot tuloksissa voivat viitata siihen, että estimointitulokset eivät ole robusteja.

Taulukko 2. Päästöoikeuksien hinta-aineistossa esiintyneiden poikkeavien havaintojen päivämäärät (Dutta, 2018a).

Sarjanumero	Poikkeavan havainnon pvm
1	23.12.2009
2	14.07.2010
3	16.03.2011
4	22.06.2011
5	29.06.2011
6	28.09.2011
7	23.11.2011
8	21.12.2011
9	04.04.2012
10	21.11.2012
11	23.01.2013
12	17.04.2013
13	11.09.2013
14	02.04.2014
15	06.01.2016
16	20.01.2016
17	10.02.2016
18	27.04.2016
19	29.06.2016
20	28.09.2016
21	30.11.2016
19	29.06.2016
20	28.09.2016
21	30.11.2016

Vaikka EU ETS -järjestelmä on otettu käyttöön jo vuonna 2005, ja aineistoa on näin ollen saatavilla myös ennen vuotta 2009, on kyseinen ajanjakso (2005–2009) jätetty tutkimuksen ulkopuolelle Dutan (2018a) tavoin, koska USA:n subprime-kriisistä alkaneen globaalin finanssikriisin myötä päästöoikeuden hinta laski vuonna 2008 lähelle nollaa (Kuvio 2). Päästöoikeuden alhaisesta hinnasta johtuen päästömarkkinoiden volatiliteetti oli tällöin hyvin heikkoa, joten kyseisen ajanjakson mukaan ottaminen olisi voinut vääristää tutkimustuloksia. Aineistosta on poistettu Dutan (2018a) tavoin myös 8.7.2009–28.12.2016 periodin aikana päästöoikeuden hinta-aineistossa esiintyneet poikkeavat havainnot,

jotka esitetään taulukossa 2. Kuten Dutta (2018a) esittää, poikkeavat havainnot, jotka johtuvat esimerkiksi sodista, luonnonkatastrofeista tai poliittisista konflikteista, voivat johtaa muun muassa vääriin tuloksiin ja tulkintoihin sekä heikkoihin ennusteisiin. Carnero ja muut (2012) esittävät lisäksi, että GARCH-mallit voivat esimerkiksi piilottaa todellisen heteroskedastisuuden, mikäli poikkeavat havainnot jätetään aineistoon.



Kuvio 4. Päästöoikeuden hinnan sekä OVX- ja VSTOXX-indeksin kehitys aikavälillä 1.7.2009–28.12.2016.

Kuten kuviosta 4 nähdään, OVX- ja VSTOXX-indeksien kehitys on ollut historiallisesti samansuuntaista – öljymarkkinoiden volatiliteetin kasvaessa myös epävarmuus Euroopan osakemarkkinoilla on kasvanut. Vuodesta 2015 alkaen OVX:n kehitys on kuitenkin ollut volatiilimpaa VSTOXX-indeksiin verrattuna. Ensimmäinen OVX:n ja VSTOXX:n kehityksessä tapahtunut ”piikki” vuonna 2008 johtui Lehman Brothers -investointipankin konkurssista, joka oli seurausta USA:n subprime-kriisistä (Dutta ja muut, 2017). Myös muut

kyseisten volatiliteetti-indeksien huomattavat nousut (Kuvio 4) johtuvat taloudellisista tai poliittisista tapahtumista: esimerkiksi OVX:n nousu vuoden 2011 alussa johtui Libyan sodasta, jonka seurauksena öljyn hinnan epävarmuus kasvoi voimakkaasti (Liu ja muut, 2013).

Taulukko 3. Tärkeimmät päästöoikeuden (EUA) hinnan sekä OVX- ja VSTOXX-indeksien jakaumia kuvaavat tunnusluvut sekä Jarque-Bera-normaalisuustestin tulokset vuodesta 2009 vuoteen 2016.

	EUA (€/tCO²)	OVX (\$)	VSTOXX (€)
Keskiarvo	8,728	34,584	23,745
Mediaani	7,290	33,880	22,560
Max	16,730	69,470	49,500
Min	2,950	14,670	13,730
Keskihajonta	3,921	10,781	6,220
Vinous	0,643	0,348	1,204
Huipukkuus	1,939	2,922	4,844
Jarque-Bera	43,002***	7,587**	142,224***

Huomiot: Jarque-Bera-testin tulosten perusteella normaalijakautuneisuuden nollahypoteesi – eli se, että muuttujien havaintoarvot noudattavat normaalijakaumaa – hylätään EUA:n ja VSTOXX:n osalta 1%:n (***) merkitsevyystasolla ja OVX:n osalta 5%:n (**) merkitsevyystasolla.

Taulukosta 3 nähdään EU ETS -järjestelmän päästöoikeuden hinnan sekä OVX- ja VSTOXX-volatiliteetti-indeksien jakaumia kuvaavat tunnusluvut. Keskihajonta on OVX-indeksillä korkeampi kuin VSTOXX-indeksillä, mikä tarkoittaa, että raakaöljyn volatiliteetti-indeksin arvo vaihtelee voimakkaammin keskiarvonsa ympärillä. Päästölavan hinnan keskihajonta on sen sijaan pienin eli sen vaihtelu ei ole yhtä voimakasta tarkastelun kohteena olevien indeksien arvoihin verrattuna. Vinous kuvaa jakauman poikkeamaa symmetrisestä jakaumasta, ja tässä tapauksessa vinoutta kuvaavat arvot osoittavat, että kaikkien muuttujien havaintoarvojen jakaumat ovat positiivisesti vinoja, sillä kaikilla muuttujilla vinouden arvo on nolaa suurempi. Näin ollen kaikkien muuttujien havaintoarvojen jakaumat ovat oikealle vinoja. Euroopan osakemarkkinoiden volatiliteetti-indeksin jakauma on voimakkaimmin vino oikealle, ja öljymarkkinoiden volatiliteetti-indeksin jakauma on puolestaan lähimpänä symmetristä jakaumaa eli normaalijakaumaa. Koska VSTOXX-indeksillä jakauman huipukkuutta kuvaava arvo on suurempi kuin kolme, Euroopan

osakemarkkinoiden volatiliteetti-indeksin jakauma on leptokurtinen eli normaalijakaumaan nähden huipukkaampi. Sen sijaan OVX:n ja päästöoikeuden hinnan jakaumat ovat vähemmän huipukkaita normaalijakaumaan verrattuna. Lisäksi Jarque-Beran testi osoittaa, että muuttujien havaintoarvot eivät ole normaalijakautuneita, mutta OVX:n jakauma muistuttaa eniten normaalijakaumaa, sillä testin arvo on kyseisellä muuttujalla pienin. (Taulukko 3.)

Jotta voidaan tarkastella volatiliteettia, tulee laskea EU ETS -järjestelmän päästöoikeuksien hintojen muutoksen volatiliteetti eli logaritmitetut päästöoikeuden hinnan havaintoarvoille (Dutta, 2018a). Vastaavasti raakaöljyn volatiliteetti-indeksin sekä Euroopan osakemarkkinoiden volatiliteetti-indeksin arvoista lasketaan logaritmitetut. Näin ollen päästöoikeuden hinnan ja OVX- sekä VSTOXX-indeksin arvojen jakaumien kuvailu ei riitä vaan tulee tarkastella myös päästöoikeuden hinnan logaritmitetun tuoton jakaumaa sekä OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmitetun tuottojen jakaumia kuvaavia tunnuslukuja. Logaritmitetut tuotot saadaan laskettua seuraavan kaavan avulla:

$$R_{it} = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right), \quad (3)$$

jossa R_{it} on indeksin logaritminen tuotto ja P_t on indeksin arvo ajan hetkellä t .

Taulukossa 4 esitetään päästöoikeuden hinnan logaritmitetun tuottojen sekä OVX- ja VSTOXX-indeksien logaritmitetun tuottojen jakaumia kuvaavat tunnusluvut. VSTOXX-indeksin logaritmitetun tuottojen keskihajonta on nyt suurin (Taulukko 4), vaikka OVX-indeksin keskihajonta oli VSTOXX-indeksiin verrattuna suurempi (Taulukko 3). Näin ollen Euroopan öljymarkkinoiden volatiliteetti-indeksin logaritminen tuotto vaihtelee OVX:n ja päästöoikeuden hinnan logaritmitetuihin tuottoihin verrattuna enemmän. OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmitetun tuottojen jakauman vinoutta kuvaavat tunnusluvut ovat edelleen nollaa suurempia, joten OVX:n ja VSTOXX:n logaritmitetun tuottojen jakaumat ovat oikealle vinoja. Sen sijaan päästöoikeuden hinnan logaritmitetun tuottojen jakauma on vasemmalle vino vinoutta kuvaavan tunnusluvun arvon ollessa negatiivinen. VSTOXX-

indeksin logaritmistien tuottojen jakauma on lähimpänä normaalijakaumaa vinouden arvon ollessa pienin. Kaikkien muuttujien logaritmistien tuottojen jakaumat ovat leptokurtisia, koska jakauman huipukkuutta kuvaava arvo on kaikilla taulukon 4 muuttujilla kolmea suurempi. Päästöoikeuden logaritmistien tuoton jakauma on kaikista huipukkain, kun taas OVX-indeksin jakauma sekä VSTOXX-indeksin jakauma ovat lähimpänä toisiaan myös huipukkuuden osalta. Myös Jarque-Beran testi osoittaa, että minkään muuttujan logaritmistien tuoton jakauma ei ole normaalijakautunut. (Taulukko 4.)

Taulukko 4. Tärkeimmät päästöoikeuden hinnan (EUA) logaritmistien tuoton sekä OVX- ja VSTOXX-indeksien logaritmistien tuottojen jakaumia kuvaavat tunnusluvut sekä Jarque-Bera-normaalisuustestin tulokset vuodesta 2009 vuoteen 2016.

	ln(EUA)	ln(OVX)	ln(VSTOXX)
Keskiarvo	-0,002	-0,001	-0,001
Mediaani	0,000	-0,008	-0,010
Max	0,264	0,558	0,510
Min	-0,389	-0,332	-0,405
Keskihajonta	0,069	0,095	0,124
Vinous	-0,942	0,849	0,437
Huipukkuus	9,041	6,938	4,242
Jarque-Bera	617,459***	283,507***	35,566***

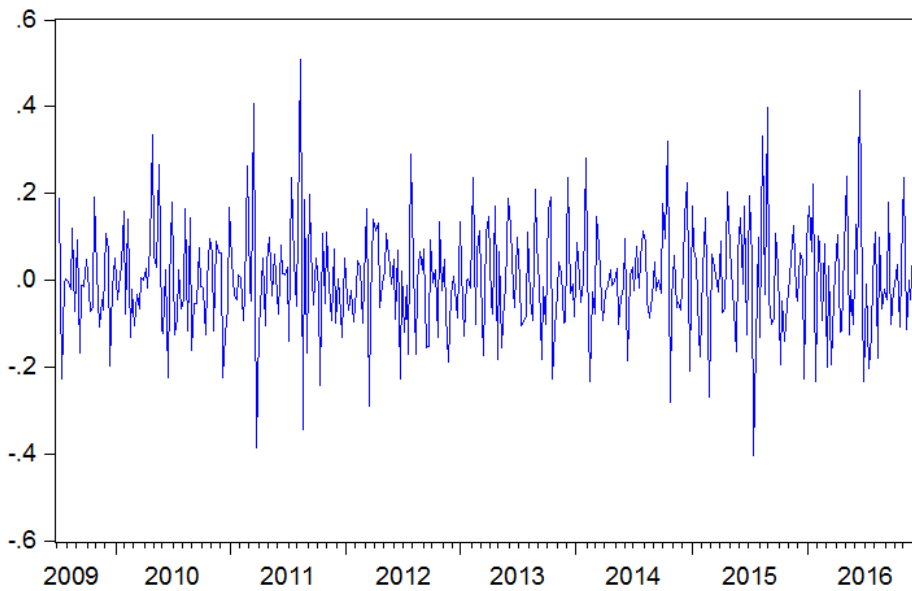
*** Jarque-Bera-testin tulosten perusteella normaalijakautuneisuuden nollahypoteesi – eli se, että muuttujien havaintoarvot noudattavat normaalijakaumaa – hylätään 1%:n merkitsevyydellä.

OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmistien tuottojen aikasarjat esitetään kuvioissa 5 ja 6. Suurimmat piikit OVX:n logaritmistien tuottojen aikasarjassa ovat vuosina 2011 ja 2013 (Kuvio 5), kun taas VSTOXX:n logaritmoidussa aikasarjassa suurin piikki on vuoden 2011 lisäksi vuonna 2015 (Kuvio 6). Vuoden 2011 piikki johtuu todennäköisesti Euroalueen velkakriisistä, jolloin osakemarkkinat laskivat Euroopassa voimakkaasti. Vuoden 2011 piikki OVX:n tuottojen aikasarjassa voi olla seurausta Euroalueen velkakriisin lisäksi Libyan sodasta, joka kasvatti sijoittajien huolta öljyn tarjonnan riittäväydestä (Liu ja muut, 2013). Vuonna 2015 Kiinan pörssiromahduksen seurauksena myös USA:n ja Euroopan osakemarkkinat laskivat voimakkaasti, mikä näkyy VSTOXX-indeksin tuottojen aikasarjassa piikkinä kyseisenä vuonna.

Aikasarja OVX:n logaritmisista tuotoista

**Kuvio 5.** OVX-volatiliteetti-indeksin logaritmisten tuottojen aikasarja.

Aikasarja VSTOXX:n logaritmisista tuotoista

**Kuvio 6.** VSTOXX-volatiliteetti-indeksin logaritmisten tuottojen aikasarja.

Kuviosta 7 nähdään puolestaan päästöoikeuden hinnan logaritmistien tuottojen aikasarja, jossa esiintyy voimakasta volatilitteettia ja sen klusterointia. Toisin sanoen matalan volatilitteetin jaksot seuraavat matalan volatilitteetin periodeja ja korkean volatilitteetin jaksot seuraavat korkean volatilitteetin periodeja. Kuten Daskalakis ja muut (2009) toteavat, logaritmiset päästöoikeuden hintaprosessi ei ole stationaarinen, eli päästöoikeuden hinta ei käyttäydy perinteisten kulutushyödykkeiden hintojen tavoin, mikä tulee ottaa huomioon tulosten tarkastelussa. He toteavat myös, että päästöoikeuden hinnan logaritmiset tuotot noudattavat harvoin normaalijakaumaa, mikä on osoitettu myös tässä tutkimuksessa (Taulukko 4). Kuten Daskalakis ja muut (2009) sekä Dutta (2018a) esittävät tutkimuksissaan, päästöoikeuden hinnan kehitys on myös erittäin altis muutoksille eli päästöoikeuden hinta voi laskea tai nousta hyvin nopeasti. Tämän vuoksi päästöoikeuden hinta-aineistossa esiintyy poikkeavia havaintoja, kuten myös tässä tutkimuksessa on esitetty (Taulukko 2).



Kuvio 7. Päästöoikeuden hinnan logaritmistien tuottojen aikasarja.

Päästöoikeuden hinnan ja öljymarkkinoiden sekä Euroopan osakemarkkinoiden implisiittisten volatiliteetti-indeksien arvojen välistä korrelaatiota eli tilastollista (lineaarista) riippuvuutta tutkittaessa huomataan, että kaikki muuttujat ovat positiivisesti korreloituja keskenään jokaisella periodilla (Taulukko 5). Päästöoikeuden hinnan ja Euroopan osakemarkkinoiden implisiittisen volatiliteetti-indeksin välinen riippuvuus on hyvin heikkoa ensimmäisellä alaperiodilla (Taulukko 5, Paneeli B) korrelaatiokertoimen ollessa lähellä nollaa. Sen sijaan ensimmäisellä alaperiodilla öljymarkkinoiden implisiittisen volatiliteetti-indeksin ja Euroopan osakemarkkinoiden implisiittisen volatiliteetti-indeksin arvojen välillä on voimakas positiivinen riippuvuus, kuten taulukon 5 paneelista B nähdään. Kyseisten muuttujien välinen riippuvuus on hieman heikompaa toisella alaperiodilla (Taulukko 5, Paneeli C) sekä koko periodia (Taulukko 5, Paneeli A) tarkastellessa, mutta korrelaatio on tällöinkin huomattavasti voimakkaampaa kuin päästöoikeuden hinnan ja OVX:n tai VSTOXX:n välinen riippuvuus millään periodilla.

Taulukko 5. Päästöoikeuden hinnan sekä OVX- ja VSTOXX-indeksin väliset korrelaatiomatriisit koko periodilla ja sen alaperiodeilla.

Paneeli A: Koko periodi (8.7.2009–28.12.2016)			
	EUA	OVX	VSTOXX
EUA	1,000		
OVX	0,233***	1,000	
VSTOXX	0,387***	0,584***	1,000
Paneeli B: Ensimmäinen alaperiodi (8.7.2009–3.4.2013)			
	EUA	OVX	VSTOXX
EUA	1,000		
OVX	0,362***	1,000	
VSTOXX	0,097	0,722***	1,000
Paneeli C: Toinen alaperiodi (10.4.2013–28.12.2016)			
	EUA	OVX	VSTOXX
EUA	1,000		
OVX	0,450***	1,000	
VSTOXX	0,372***	0,693***	1,000

Huomiot: *** kuvaava korrelaation 1%:n merkitsevyytensä. Korrelaatio ilmoitetaan Pearsonin järjestyskorrelaatiokertoimella.

Taulukossa 6 esitetään päästöoikeuden hinnan logaritmistien tuottojen sekä OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmistien tuottojen väliset korrelaatiomatriisit koko periodilla sekä sen kahdella alaperiodilla. Kuten korrelaatiokertoimet osoittavat, OVX-indeksin ja päästöoikeuden hinnan logaritmistien tuottojen välinen riippuvuus on alkuperäisten arvojen perusteella lasketusta riippuvuudesta (Taulukko 5) poiketen negatiivista. Näin ollen logaritminen transformaatio muuttaa riippuvuuden suunnan negatiiviseksi, mutta päästöoikeuden hinnan ja VSTOXX-indeksin logaritmistien tuottojen välinen riippuvuus säilyy positiivisena. Riippuvuus OVX-indeksin tuoton ja päästöoikeuden hinnan tuoton välillä on kuitenkin erittäin heikkoa jokaisella periodilla. Korrelaatiokerroin on myös VSTOXX-indeksin tuoton ja päästöoikeuden hinnan tuoton välillä vain hieman yli nollan, joten riippuvuus on myös niiden välillä erittäin heikkoa kaikilla periodeilla. Sen sijaan VSTOXX-indeksin ja OVX-indeksin välisten tuottojen korrelaatio on huomattavasti voimakkaampaa, eikä riippuvuuden suunta tai voimakkuus vaihtele periodien välillä. (Taulukko 6.)

Taulukko 6. Päästöoikeuden hinnan logaritmistien tuottojen sekä OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmistien tuottojen väliset korrelaatiomatriisit koko periodilla ja sen alaperiodeilla.

Paneeli A: Koko periodi (8.7.2009–28.12.2016)			
	EUA	OVX	VSTOXX
EUA	1,000		
OVX	-0,064	1,000	
VSTOXX	0,031	0,555***	1,000
Paneeli B: Ensimmäinen alaperiodi (8.7.2009–3.4.2013)			
	EUA	OVX	VSTOXX
EUA	1,000		
OVX	-0,010	1,000	
VSTOXX	0,009	0,595***	1,000
Paneeli C: Toinen alaperiodi (10.4.2013–28.12.2016)			
	EUA	OVX	VSTOXX
EUA	1,000		
OVX	-0,117	1,000	
VSTOXX	0,051	0,520***	1,000

Huomiot: *** kuvaava korrelaation 1%:n merkitsevyytasoa. Korrelaatio ilmoitetaan Pearsonin järjestyskorrelaatiokertoimella.

Kuten taulukon 7 paneelista B nähdään, OVX- ja VSTOXX-indeksien logaritmisten tuottojen neliöiden välinen riippuvuus on hyvin voimakasta ensimmäisellä alaperiodilla korrelaatiokertoimen arvon ollessa yli 0,7. Myös koko periodilla (Taulukko 7, Paneeli A) kyseisten muuttujien välinen riippuvuus on voimakasta, mutta toisella alaperiodilla (Taulukko 7, Paneeli C) korrelaatio laskee huomattavasti ollen kuitenkin edelleen tilastollisesti erittäin merkitsevää. Osake- ja öljymarkkinoiden välinen riippuvuus on kuitenkin luonnollista, sillä öljyn hinta on talouden merkittävimpiä indikaattoreita (Noor & Dutta, 2017). Kuten esimerkiksi Ciner (2013) on tutkimuksessaan osoittanut, öljyn hinnan merkittävät vaihtelut voivat vaikuttaa odotettuihin kassavirtoihin tai ne voivat muuttaa inflaatio-odotuksia, jolloin myös pääoman arvon määrittämisessä käytettävä diskonttokorko muuttuu. Kassavirroissa tapahtuvan muutoksen suunta riippuu siitä, onko yritys öljyn tuottaja vai kuluttaja – öljyn hinnan noustessa kassavirrat pienenevät, mikäli yritys on öljyn kuluttaja, ja kasvavat, jos yritys on öljyn tuottaja (Vo, 2011).

Taulukko 7. OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmisten tuottojen neliöiden väliset korrelaatiomatriisit koko periodilla ja sen alaperiodeilla.

Paneeli A: Koko periodi (8.7.2009–28.12.2016)		
	OVX	VSTOXX
OVX	1,000	
VSTOXX	0,560***	1,000
Paneeli B: Ensimmäinen alaperiodi (8.7.2009–3.4.2013)		
	OVX	VSTOXX
OVX	1,000	
VSTOXX	0,738***	1,000
Paneeli C: Toinen alaperiodi (10.4.2013–28.12.2016)		
	OVX	VSTOXX
OVX	1,000	
VSTOXX	0,333***	1,000

Huomiot: *** kuvaava korrelaation 1%:n merkitsevyystasoa. Korrelaatio ilmoitetaan Pearsonin järjestyskorrelaatiokertoimella.

5.1.2 GARCH-mallit

Tässä tutkielmassa tutkimusmenetelmä on kvantitatiivinen eli määrällinen, ja mallina käytetään Bollerslevin (1986) kehittämää GARCH-mallia (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity), joka on laajennus Englen (1982) kehittämästä ARCH-mallista (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity). Kuten Devi (2016) esittää, pienimmän neliösumman menetelmää (PNS) käytetään yleisesti osakemarkkinoiden hintojen ennustamiseen, jolloin oletetaan, että Gauss–Markov-ehdot toteutuvat. Osakemarkkinoiden volatiliteetin tutkimisessa PNS-menetelmällä ongelmaksi muodostuu kuitenkin usein satunnaismuuttujien heteroskedastisuus (Devi, 2016), jolloin virhetermien hajonta on suurta eli varianssit eivät ole vakioisia eli $\text{Var}(u_i) \neq \sigma_i^2$. Heteroskedastisuus ei vaikuta estimaattoreiden harhattomuuteen ja tarkentuvuuteen, mutta heteroskedastisuuden läsnä ollessa estimaattorit eivät ole enää tehokkaita, jolloin ennusteista tulee epätarkkoja. Lisäksi tilastolliset testit eivät ole tällöin enää valideja. Heteroskedastisuuden läsnä ollessa regressioanalyysin tulosten estimointiin onkin syytä käyttää sellaista menetelmää, joka ottaa huomioon edellä mainitut ongelmat. Kuten Devi (2016) toteaa, sekä ARCH-että GARCH-malleilla voidaan tutkia volatiliteettia myös silloin, kun heteroskedastisuutta esiintyy. GARCH-mallit kykenevät huomioimaan myös omaisuuserien tuottojen tilastotieteelliset ominaisuudet, joita ovat jakauman huipukkuus, volatiliteetin klusterointi eli kasaantuminen – jolloin korkean volatiliteetin jakso seuraa korkean volatiliteetin periodia ja vastaavasti matalaa vaihtelua seuraa matalan vaihtelun jakso – sekä vipuvaikutus, joka tarkoittaa, että volatiliteetti reagoi voimakkaammin laskeviin kurssiin (Pati ja muut, 2018).

Käytetyin volatiliteettimalli on GARCH(1,1)-malli (Blair ja muut, 2001). GARCH-mallista on kuitenkin kehitetty useita laajennuksia, kuten esimerkiksi Nelsonin (1991) esittämä eksponentiaalinen GARCH-malli eli EGARCH-malli, jolla voidaan tutkia rahoitusmarkkinoiden aikasarja-aineistojen epäsymmetristä volatiliteettia. Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin Dutan ja muiden (2017) tavoin laajennettua GARCH(1,1)-mallia. Dutta ja muut (2017) ovat tutkineet kyseisellä mallilla öljyn hinnan epävarmuuden vaikutusta Lähi-idän ja Afrikan osakemarkkinoiden volatiliteettiin.

Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa on määritetty logaritmiset tuotot kaikkien muuttujien havaintoarvoille kaavalla (3). Logaritmisten tuottojen määrittämisen jälkeen OVX- ja VSTOXX-indeksin logaritmiset tuotot korotetaan toiseen potenssiin, jotta varmistetaan siitä, ettei aineisto sisällä negatiivisia arvoja (Dutta, 2018a; Dutta ja muut, 2017). Hintojen muutoksen volatilitiitin eli logaritmisten tuottojen määrittämisen, ja niiden toiseen potenssiin korottamisen jälkeen tulee muodostaa keskiarvoyhtälö, joka voidaan muodostaa hintojen muutoksen volatilitiitin perusteella (Dutta ja muut, 2017). Keskiarvoyhtälön avulla saadaan määritettyä virhetermi, joka sisältää sen osan, jota edellinen havainto ei selitä:

$$R_{it} = \pi_i + w_i R_{it-1} + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

jossa R_{it} on indeksin i – tässä tapauksessa päästöoikeuden – logaritminen tuotto ajan t ja $t-1$ välillä, π_i on pitkän aikavälin ajautuman kerroin ja ε_{it} viittaa indeksin tuoton virhetermiin ajan hetkellä t . (Dutta ja muut, 2017.)

Laajennetun GARCH-mallin yhtälöä varten tarvitaan vielä päästöoikeuden hinnan ehdollinen varianssi h_t , joka on mallin selitettävä muuttuja. Kuten Dutta ja muut (2017) toteavat, ehdollinen varianssi h_t on menneiden virhetermien ja viivästettyjen ehdollisten varianssien funktio. Jotta voidaan tutkia öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta EU ETS-järjestelmän päästöoikeuden hinnan volatilitiittiin, tulee muodostaa seuraavat laajennetut GARCH-yhtälöt:

$$h_t = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta h_{t-1} + \gamma OVX_{t-1}^2, \quad (5)$$

$$h_t = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta h_{t-1} + \theta VSTOXX_{t-1}^2, \quad (6)$$

$$h_t = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta h_{t-1} + \gamma OVX_{t-1}^2 + \theta VSTOXX_{t-1}^2, \quad (7)$$

jossa h_t on päästöoikeuden logaritmisin tuoton ehdollinen varianssi, $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$, $\gamma \geq 0$ ja $\varepsilon_t = z_t h_t$; $z_t \sim$ i.i.d. (0,1). Mikäli kerroin γ tai θ eroaa nolasta, öljymarkkinoilla tai Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvä epävarmuus vaikuttaa hiilen hinnan volatilitiittiin.

(Dutta ja muut, 2017.) θ voi olla muista parametreista poiketen nolaa pienempi, koska oletetaan, että makrotaloudellisen epävarmuuden kasvaessa päästöoikeuden hinnan volatilitteetti pienenee tuotannon supistumisen aiheuttaman päästöoikeuksien kysynnän laskun myötä. Yhtälössä (5) öljymarkkinoilla esiintyvä epävarmuus – eli öljymarkkinoiden implisiittisen volatilitteetin indeksi OVX – selittää päästöoikeuden hinnan vaihtelua, kun taas yhtälössä (6) selittävänä muuttujana on Euroopan osakemarkkinoiden volatilitteettia kuvaava implisiittisen volatilitteetin indeksi VSTOXX. Yhtälössä (7) selittävinä muuttujina ovat sekä OVX-indeksi että VSTOXX-indeksi, jotta voidaan tutkia öljy- ja Euroopan osakemarkkinoiden yhteisvaikutusta päästöoikeuden hinnan volatilitteettiin.

5.2 Tulosten analysointi

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan, vaikuttaako öljy- ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvä epävarmuus päästöoikeuden hinnan volatilitteettiin. Ensin arvioidaan öljy- ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta päästömarkkinoihin erillään toisistaan, minkä jälkeen esitetään myös, häviääkö öljymarkkinoiden tai Euroopan osakemarkkinoiden epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitteettiin, kun OVX- ja VSTOXX-indeksit otetaan yhtä aikaa huomioon mallissa. Tuloksia tarkastellaan koko otosperiodilla sekä sen kahdella alaperiodilla, jolloin voidaan myös arvioida, eroavatko tulokset periodien välillä.

5.2.1 GARCH(1,1)-mallin tulokset

Taulukossa 8 esitetään GARCH(1,1)-mallin tulokset öljymarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatilitteettiin koko periodilla sekä molemmilla alaperiodeilla. Tulokset osoittavat, että öljyn hinnan epävarmuus heijastuu päästömarkkinoille jokaisella periodilla, koska vaikutus on tilastollisesti merkitsevä jokaisella periodilla. Vaikutus on tilastollisesti hieman merkitsevämpi koko periodilla ja jälkimmäisellä alaperiodilla kuin ensimmäisellä alaperiodilla. Kuten taulukosta 8 nähdään,

öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin on positiivinen eli öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden kasvaessa päästöoikeuden hinnan volatiliteetti kasvaa. Tulokset ovat linjassa Dutan (2018a) tutkimustulosten kanssa.

Taulukko 8. GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset OVX:n vaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin koko periodilla sekä sen alaperiodeilla.

	07/2009–12/2016	07/2009–04/2013	04/2013–12/2016
c	0,001 (0,567)	-0,0004 (-0,108)	0,005 (1,317)
ar1	0,102* (1,683)	0,093 (1,135)	0,099 (0,977)
ω	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)
α	0,191*** (3,551)	0,180*** (2,674)	0,340** (2,130)
β	0,785*** (14,567)	0,813*** (12,398)	0,637*** (6,093)
γ	0,025** (2,331)	0,024* (1,745)	0,042** (2,291)

Huomiot: Suluissa olevat arvot viittaavat t-testituloksen arvoihin. *, ** ja *** kuvaavat 10%:n, 5%:n ja 1%:n merkitsevyystasoja.

Euroopan osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin on erittäin merkitsevä (Taulukko 9). Taulukossa 9 esitetään GARCH(1,1)-mallin tulokset Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin koko periodilla sekä molemmilla alaperiodeilla. VSTOXX-indeksin p-arvo on jokaisella periodilla alle 0,01, joten Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin on tilastollisesti erittäin merkitsevä. Muuttujan kertoimen suunta on negatiivinen koko periodilla sekä ensimmäisellä alaperiodilla eli Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden kasvaessa päästöoikeuden hinnan volatiliteetti pienenee, mikä on linjassa hypoteesin kanssa. Muuttujan kertoimen positiivisuus jälkimmäisellä alaperiodilla voi

johtua esimerkiksi siitä, että kolmen vuoden tarkasteluperiodi on osakemarkkinoilla verrattain lyhyt. Lisäksi päästöoikeuden hintaprosessin luonne voi vaikuttaa (Daskalakis ja muut, 2009). Kun verrataan taulukon 9 tuloksia taulukon 8 tuloksiin, huomataan, että Euroopan osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus on hieman tilastollisesti merkitsevämpää kuin öljymarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus. Myös vaikutuksen suunta on erilainen Euroopan osakemarkkinoilla kuin öljymarkkinoilla – Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden kasvaessa päästöoikeuden hinnan volatilitteetti pienenee, mutta öljyn hinnan volatilitteetin kasvaessa myös päästöoikeuden hinnan volatilitteetti kasvaa.

Taulukko 9. GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset VSTOXX:n vaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatilitteettiin koko periodilla sekä sen alaperiodeilla.

	07/2009–12/2016	07/2009–04/2013	04/2013–12/2016
c	0,002 (0,891)	-0,001 (-0,158)	-0,001 (-0,367)
ar1	0,104 (1,524)	0,094 (0,898)	0,135* (1,879)
ω	0,000*** (6,685)	0,000* (1,850)	-0,000*** (-6,602)
α	0,147*** (6,018)	0,160** (1,967)	0,067*** (3,663)
β	0,858*** (47,406)	0,852*** (9,081)	0,898*** (45,200)
θ	-0,005*** (-12,937)	-0,009*** (-3,214)	0,016*** (6,479)

Huomiot: Suluissa olevat arvot viittaavat z-testituloksen arvoihin. *, ** ja *** kuvaavat 10%:n, 5%:n ja 1%:n merkitsevyystasoja.

GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatilitteettiin koko periodilla ja sen alaperiodeilla esitetään taulukossa 10. Tulokset osoittavat, että sekä öljymarkkinoilla että Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus säilyy tilastollisesti merkitsevänä myös silloin, kun ne esiintyvät mallissa yhtä aikaa. Ainoastaan jälkimmäisellä alaperiodilla öljyn hinnan epävarmuuden vaikutus on

heikompaa kuin muilla periodeilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus ei ole tällöin lainkaan merkitsevä. Merkitsevyyden katoaminen voi olla seurausta volatiliiteetin tasaantumisesta ajan kuluessa, sillä ARCH- ja GARCH-termien summa on vain 0,914. Lisäksi koko periodia tarkastellessa huomataan, että Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatiliiteettiin on tilastollisesti merkitsevämpää kuin öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus. Sen sijaan ensimmäisellä alaperiodilla molemmilla markkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus on likimain yhtä merkitsevää. Taulukon 10 tulokset osoittavat myös, että jälkimmäistä alaperiodia lukuun ottamatta tarkastelussa olevilla markkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutuksen suunta pysyy hypoteesin ja aikaisempien tulosten (Taulukko 8 & Taulukko 9) mukaisena: Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden kasvaessa päästöoikeuden hinnan volatiliiteetti pienenee, mutta öljymarkkinoiden epävarmuuden kasvaessa päästöoikeuden hinnan epävarmuus kasvaa.

Taulukko 10. GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset OVX:n ja VSTOXX:n yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatiliiteettiin koko periodilla sekä sen alaperiodeilla.

	07/2009–12/2016	07/2009–04/2013	04/2013–12/2016
c	0,003 (0,988)	-0,001 (-0,208)	0,007* (1,737)
ar1	0,134** (2,003)	0,078 (0,768)	-0,003 (-0,030)
ω	0,000*** (5,745)	0,000 (0,238)	0,001** (2,159)
α	0,122*** (5,674)	0,102*** (2,620)	0,423*** (2,803)
β	0,864*** (39,823)	0,919*** (22,110)	0,491*** (3,620)
γ	0,010** (2,482)	0,016** (2,543)	-0,020* (-1,727)
θ	-0,006*** (-10,985)	-0,009** (-2,235)	0,008 (1,195)

Huomiot: Suluissa olevat arvot viittaavat z-testituloksen arvoihin. *, ** ja *** kuvaavat 10%:n, 5%:n ja 1%:n merkitsevyytasoja.

Kuten taulukoista 8–10 nähdään, ARCH- ja GARCH-termin (α ja β) summa on alle yhden lähes jokaisen mallin estimointituloksia tarkastellessa sekä lähes jokaisella periodilla. ARCH- ja GARCH-termin summa on yli yhden vain mallin (6) estimointituloksissa koko periodilla sekä ensimmäisellä alaperiodilla (Taulukko 9) ja mallin (7) estimointituloksissa ensimmäisellä alaperiodilla (Taulukko 10). Mitä lähempänä yhtä ARCH- ja GARCH-termin summa on, sitä pysyvämpi vaikutus shokeilla on päästöoikeuden hinnan volatilitettiin. ARCH- ja GARCH-termin summan tulee kuitenkin olla alle yhden, jotta aikasarjan voidaan todeta olevan stationaarinen. Koska ARCH- ja GARCH-termin summa ei ole aivan kaikilla periodeilla tai kaikkien mallien estimointituloksia tarkastellessa alle yhden, päästöoikeuden hinnan logaritmisten tuottojen aikasarja ei ole aina stationaarinen, kuten myös Dakalakis ja muut (2009) ovat tutkimuksessaan todenneet. Näin ollen tulokset vaihtelevat sen mukaan, mikä periodi tutkimuksen kohteeksi valitaan, eli yhden periodin tuloksia ei voida yleistää muille periodeille.

Koska stationaarisuudessa on vaihtelua ARCH- ja GARCH-termien summan vaihtelun myötä, myös shokkien vaikutuksen pysyvyys vaihtelee. Esimerkiksi OVX:n vaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitettiin on hyvin pysyvää ensimmäisellä alaperiodilla ARCH- ja GARCH-termin summan ollessa 0,993 (Taulukko 8), kun taas OVX:n ja VSTOXX:n yhteisvaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitettiin tasaantuu ajan kuluessa, koska ARCH- ja GARCH-termin summa on vain 0,914 (Taulukko 10). GARCH-termi on kuitenkin jokaisen mallin tuloksia tarkastellessa tilastollisesti merkitsevä jokaisella periodilla, mikä osoittaa, että GARCH-malli toimii ARCH-malleja paremmin erityisesti korkean volatilitettiin periodeilla. Näin ollen tässä tutkimuksessa käytetty malli kykenee huomioimaan volatilitettiin klusteroinnin.

5.2.2 Estimointitulosten robustisuuden testaaminen

Estimointitulosten robustisuus tarkoittaa, että estimaattorit eivät reagoi herkästi poikkeaviin havaintoihin. Mitä robustimpia mallin antamat estimointitulokset ovat, sitä tarkempia ja virheettömämpiä ennusteita sekä johtopäätöksiä voidaan tehdä tulosten

pohjalta (Brooks, 2008). Dutta ja muut (2017) ovat testanneet estimointitulosten robustisuutta vertaamalla perinteisen GARCH(1,1)-mallin tuloksia EGARCH(1,1)-mallin tuloksiin, kuten tehdään myös tässä tutkimuksessa. Lisäksi tässä tutkimuksessa vertaillaan GARCH(1,1)-mallin tuloksia eri virhetermin jakaumilla eli normaalijakaumalla, Studentin t-jakaumalla sekä GED-jakaumalla (Generalized Error Distribution), kuten Dutta (2018a) on tehnyt tutkimuksessaan vertaillen eksponentiaalisien GARCH-mallin tuloksia eri virhetermin jakaumilla.

Dutta (2018a) on tutkinut Nelsonin (1991) esittämällä eksponentiaalisella GARCH-mallilla eli EGARCH(1,1)-mallilla, vaikuttaako öljymarkkinoilla esiintyvä epävarmuus päästöoikeuden hinnan volatilitettiin. Hän perustelee epäsymmetrisen GARCH-mallin käytön siten, että tavallisessa GARCH-mallissa ehdollinen varianssi esitetään edellisten havaintojen neliöiden lineaarisena funktiona, minkä vuoksi sekä aikaisemmillä negatiivisilla että positiivisilla arvoilla on samanlainen vaikutus nykyhetken volatilitettiin. Perinteinen GARCH-malli ei näin ollen kykene ottamaan huomioon vipuvaikutusta, mikä tarkoittaa, että negatiivisen shokin aiheuttavien uutisten vaikutus voi säilyä positiivisten uutisten vaikutusta pidempään. Myös Hansen ja Lunde (2005) ovat osoittaneet tutkimuksessaan, että eksponentiaaliset GARCH-mallit suoriutuvat muita GARCH-malleja paremmin. Näin ollen estimointitulosten vertailu eri GARCH-mallien välillä on perusteltua – erot eri malleilla saatujen estimointitulosten välillä voi olla merkki siitä, että estimointitulokset eivät ole robusteja.

Koska öljymarkkinoilla Euroopan osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitettiin säilyy jälkimmäistä alaperiodia lukuun ottamatta tilastollisesti merkitseväenä kyseisten muuttujien yhteisvaikutusta tarkastellessa (Taulukko 10), voidaan päätellä, että malli (7) selittää eniten päästöoikeuden hinnan volatilitetista. Tämän vuoksi EGARCH-malliin otetaan mukaan molemmat selittävät muuttujat. EGARCH(1,1)-malli saa seuraavan muodon, kun sen avulla tutkitaan öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden yhteisvaikutusta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin:

$$\ln(h_t) = c + \frac{\alpha|\varepsilon_{t-1}| + v\varepsilon_{t-1}}{\sqrt{h_{t-1}}} + b \ln(h_{t-1}) + \gamma OVX_{t-1} + \theta VSTOXX_{t-1}, \quad (8)$$

jossa γ on öljymarkkinoilla esiintyvää epävarmuutta kuvaavan muuttujan eli OVX-indeksin kerroin ja θ on puolestaan Euroopan osakemarkkinoilla vallitsevaa epävarmuutta kuvaavan muuttujan eli VSTOXX-indeksin kerroin.

Taulukko 11. EGARCH(1,1)-mallin estimointitulokset OVX:n ja VSTOXX:n yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin koko periodilla.

	c	α	b	v	γ	θ
EGARCH (07/2009–12/2016)	-0,414*** (-5,342)	0,154*** (3,126)	0,948*** (98,431)	0,225*** (-6,155)	3,428** (2,562)	-1,853*** (-2,670)

Huomiot: Suluissa olevat arvot viittaavat z-testituloksen arvoihin. ** ja *** kuvaavat 5%:n ja 1%:n merkitsevyystasoja.

Taulukossa 11 esitetään EGARCH(1,1)-mallilla saadut, koko otosperiodin (8.7.2009–28.12.2016) kattavat estimointitulokset OVX- ja VSTOXX-indeksin yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin. Kun taulukon 11 tuloksia verrataan vastaaviin, GARCH(1,1)-mallilla saatuihin tuloksiin (Taulukko 10), huomataan, että kummankin selittävän muuttujan osalta merkitsevyys on yhtä suurta mallista riippumatta eli sekä öljyettä Euroopan osakemarkkinoiden epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitettiin säilyy, vaikka mallia vaihdetaan. Sekä GARCH(1,1)- että EGARCH(1,1)-mallilla tarkasteltuna Euroopan osakemarkkinoiden epävarmuuden vaikutus on hieman öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutusta merkitsevämpää. Myös kertoimien suunnat säilyvät eli öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitettiin pysyy positiivisena ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus puolestaan negatiivisena. Näin ollen voidaan todeta, että malli ei tässä tapauksessa vaikuta estimointituloksiin.

Taulukko 12. GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset OVX:n ja VSTOXX:n vaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin eri virhetermin jakaumilla koko periodilla.

Virhetermin jakauma ↓	Estimaatti	Keskivirhe	z-testisuure	p-arvo
Paneeli A: Normaalijakauma				
c	0,003	0,003	0,988	0,323
ar1	0,134	0,067	2,003	0,045
ω	0,000	0,000	5,745	0,000
α	0,122	0,022	5,674	0,000
β	0,864	0,022	39,827	0,000
γ	0,010	0,004	2,482	0,013
θ	-0,006	0,001	-10,985	0,000
Paneeli B: Studentin t-jakauma				
c	0,002	0,002	0,950	0,342
ar1	0,048	0,050	0,958	0,338
ω	0,000	0,000	1,577	0,115
α	0,124	0,045	2,770	0,006
β	0,875	0,035	24,872	0,000
γ	0,009	0,006	1,328	0,184
θ	-0,005	0,001	-5,223	0,000
Paneeli C: GED-jakauma				
c	0,001	0,002	0,516	0,606
ar1	0,053	0,051	1,034	0,301
ω	0,000	0,000	2,565	0,010
α	0,121	0,038	3,195	0,001
β	0,865	0,035	24,562	0,000
γ	0,009	0,006	1,466	0,143
θ	-0,005	0,001	-5,942	0,000

Taulukossa 12 esitetään GARCH(1,1)-mallin estimointitulokset öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden yhteisvaikutuksesta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin kolmella eri virhetermin jakaumalla. Analyysin kohteena on ollut koko periodi eli 8.7.2009–28.12.2016. Virhetermin jakaumaksi on valittu normaalijakauman lisäksi Studentin t-jakauma sekä GED-jakauma. Tulokset osoittavat, että mikäli

virhetermi noudattaa normaalijakaumaa, sekä öljy- että Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitettiin on tilastollisesti merkitsevää muuttujien p-arvojen ollessa pienempiä kuin 0,05 (Taulukko 12, Paneeli A). Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus on hieman öljymarkkinoiden epävarmuuden vaikutusta merkitsevämpää, koska VSTOXX-indeksin p-arvo on alle 0,01, mutta OVX-indeksin p-arvo on 0,013 (Taulukko 12, Paneeli A).

Öljymarkkinoiden epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitettiin ei ole enää tilastollisesti merkitsevää kymmenenkään prosentin merkitsevyydellä tarkasteltuna, kun virhetermin jakauma noudattaa Studentin t-jakaumaa (Taulukko 12, Paneeli B) tai GED-jakaumaa (Taulukko 12, Paneeli C). Jakauman valinta vaikuttaa näin ollen OVX:n merkitsevyyteen. Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus pysyy sijaan tilastollisesti erittäin merkitsevänä jakaumasta riippumatta, koska VSTOXX:n p-arvo on alle 0,01 jokaisella virhetermin jakaumalla tarkasteltuna. Virhetermin jakauman vaihtuminen ei vaikuta myöskään öljy- tai Euroopan osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutuksen suuntaan eli öljymarkkinoiden epävarmuuden vaikutuksen suunta pysyy positiivisena ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus puolestaan negatiivisena.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän pro gradu- tutkielman tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako öljymarkkinoilla tai Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvä epävarmuus päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin, ja minkä suuntaista edellä mainituilta markkinoilla heijastuva epävarmuus on. Lisäksi tutkielmassa tarkasteltiin öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden yhteisvaikutusta päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin. Tutkimuksessa käytettiin GARCH-mallia, koska sen avulla voidaan tutkia volatiliteettia myös silloin, kun satunnaismuuttujat ovat heteroskedastisia. Lisäksi GARCH-mallit kykenevät ARCH-malleista poiketen huomioimaan omaisuuserien tuotoille tyypilliset tilastotieteelliset ominaisuudet eli jakauman huipukkuuden, volatiliteetin klusteroinnin sekä vipuvaikutuksen.

Tutkimuksen hypoteesina oli, että sekä öljy- että Euroopan osakemarkkinoilla vallitseva epävarmuus vaikuttaa päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin. Dutan (2018a) tutkimukseen perustuen hypoteesina oli, että öljymarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden kasvaessa myös päästöoikeuden hinnan epävarmuus kasvaa. Toisaalta Euroopan osakemarkkinoiden osalta hypoteesina oli, että makrotaloudellisen epävarmuuden – ja sen myötä myös osakemarkkinoiden volatiliteetin – kasvaessa päästöoikeuden hinnan volatiliteetti heikkenee yritysten supistaessa tuotantoaan, jolloin päästöoikeuksien kysyntä laskee (Lutz ja muut, 2013). Päästöoikeuksien kysynnän laskiessa myös niiden hinta laskee. Hinnan pysyessä alhaisena volatiliteettia ei ole tai se on erittäin heikkoa.

Tulokset osoittavat, että niin öljy- kuin Euroopan osakemarkkinoilla vallitseva epävarmuus vaikuttaa päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin. Molemmilla markkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus myös säilyy, kun OVX- ja VSTOXX-volatiliteetti-indeksit esiintyvät mallissa yhtä aikaa. Näin ollen voidaan todeta, että epävarmuus reaalitaloudessa heijastuu päästömarkkinoille sekä Euroopan osakemarkkinoiden että öljymarkkinoiden kautta. Lisäksi tulokset osoittavat, että öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatiliteettiin on positiivista ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus puolestaan negatiivista: kun epävarmuus kasvaa

öljymarkkinoilla, päästöoikeuden hinnan volatilitteetti kasvaa, mutta Euroopan osakemarkkinoilla lisääntyvän epävarmuuden myötä päästöoikeuden hinnan volatilitteetti heikkenee. Näin ollen tulokset ovat hypoteesien mukaisia. Öljymarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta koskevat tulokset ovat linjassa Dutan (2018a) sekä Luon & Wun (2016) tutkimusten kanssa. Chevallier (2009) on osoittanut, että hiilifutuuriin hinnan vaihtelun ja makrotaloudellisten shokkien välillä on heikko yhteys. Sitä vastoin tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että reaalityaloudessa vallitseva epävarmuus vaikuttaa päästöoikeuden spot-hintaan osakemarkkinoiden volatilitteetin toimiessa indikaattorina reaalityalouden epävarmuudelle.

Robustisuusanalyysi – jossa tarkasteltiin, vaikuttaako mallin tai virhetermin jakauman vaihtuminen tuloksiin – osoittaa, että öljymarkkinoilla ja Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus päästöoikeuden hinnan volatilitteettiin säilyy tilastollisesti merkitsevästä myös eksponentiaalisella GARCH-mallilla tutkittaessa. Näin ollen edellä mainittujen, perinteisellä GARCH(1,1)-mallilla saatujen tuloksien robustisuus vahvistui. Toisaalta virhetermin jakauman vaihtaminen normaalijakaumasta Studentin t-jakaumaan sekä GED-jakaumaan muutti tuloksia siten, että öljymarkkinoilla vallitsevan epävarmuuden vaikutus ei ollut enää tilastollisesti merkitsevä, mutta Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutus säilyi tilastollisesti erittäin merkitsevästä. Päästöoikeuden hinnan logaritmissen tuottojen aikasarja ei ollut aina stationaarinen, mikä on linjassa Daskalakiksen ja muiden (2009) tutkimustulosten kanssa. Päästöoikeuden hintaprosessin epästationaarisen luonteen vuoksi valittu otosperiodi voi vaikuttaa tuloksiin, minkä vuoksi yhden otosperiodin tuloksia ei voida yleistää muille periodeille.

Koska tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että osake- ja öljymarkkinoilla vallitseva epävarmuus vaikuttaa päästöoikeuden hinnan volatilitteettiin eli epävarmuus reaalityaloudessa heijastuu osake- ja öljymarkkinoiden kautta päästömarkkinoille, tulevaisuudessa tulee kehittää riskienhallinnan mekanismeja, joilla yritykset voivat suojautua osake- ja öljymarkkinoilla esiintyvää epävarmuutta vastaan. Toisaalta myös markkinavakaussuoritus on kehitettävä, jotta päästökaupan tehokkuus ei olisi riippuvainen vallitsevasta

makrotaloudellisesta tilanteesta. Markkinavakausvarannon tulisikin suojata päästökauppajärjestelmää tilanteelta, jossa päästöoikeuksien kysyntä laskee merkittävästi tuotannon supistumisen vuoksi, sillä päästöoikeuksien kysynnän laskiessa niiden ylijäämä kasvaa, mikä laskee päästöoikeuden hintaa. Markkinavakausvaranto toimii kuitenkin vain keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä, minkä vuoksi tulisi arvioida esimerkiksi lattia- ja kattohinnan asettamisen toimivuutta hintaepävarmuuden pienentämiseksi päästömarkkinoilla. Edellä mainitut toimenpiteet ovat välttämättömiä EU:n päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi.

Tulevaisuudessa tulee vielä tutkia markkinavakausvarannon vaikutusta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin. Koska markkinavakausvaranto on otettu käyttöön vasta vuoden 2019 tammikuussa, aineistoa on tällä hetkellä vielä liian vähän aikasarja-analyysin toteuttamiseksi. Markkinavakausvarannon tarkoituksena on ollut vähentää päästöoikeuksien ylitarjontaa, joka on ollut yksi merkittävimmistä päästökaupan ongelmista pitäen päästöoikeuden hintaa liian alhaisena. Näin ollen tulevaisuudessa tulisi tutkia, onko markkinavakausvaranto pienentänyt öljy- ja osakemarkkinoilla esiintyvän epävarmuuden vaikutusta päästöoikeuden hinnan volatilitettiin.

Euroopan osakemarkkinoilla esiintyvää epävarmuutta koskevia tuloksia ei voida varmuudella yleistää muille osakemarkkinoille, koska osakemarkkinat eroavat toisistaan niin rakenteeltaan, likviditeetiltään, hallinnointitavoiltaan kuin sääntelyltään (Pati ja muut, 2018). Tämän vuoksi on olennaista vielä tutkia, miten kotimaisilla osakemarkkinoilla valitseva epävarmuus heijastuu kansalliseen päästökauppajärjestelmään: Mielenkiintoista olisi tutkia esimerkiksi, miten USA:n osakemarkkinoilla esiintyvä epävarmuus heijastuu EU ETS -järjestelmään. Lisäksi tulevaisuudessa tulisi tutkia, miten Euroopan ulkopuolisisissa maissa paikallinen volatilitetti-indeksi vaikuttaa päästöoikeuden hintaan kyseessä olevan valtion päästökauppajärjestelmässä.

LÄHDELUETTELO

- Aatola, P., Ollikka, K. & Ollikainen, M. (2013). Informational efficiency of the EU ETS market – a study of price predictability and profitable trading. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 3(1), 92–123. <https://doi.org/10.1080/21606544.2013.865569>
- Abrell, J., Rausch, S. & Yonezawa, H. (2019). Higher Price, Lower Costs? Minimum Prices in the EU Emissions Trading Scheme. *Scandinavian Journal of Economics*, 121(2), 446–481. <https://doi.org/10.1111/sjoe.12279>
- Admati, A. & Pfleiderer, P. (1988). A Theory of Intraday Patterns: Volume and Price Variability. *The Review of Financial Studies*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1093/rfs/1.1.3>
- Ahoniemi, K. (2009). *Modeling and forecasting implied volatility* [väitöskirja, Helsingin kauppakorkeakoulu]. Aaltodoc. Noudettu 2020-03-25 osoitteesta <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/11523?locale-attribute=fi>
- Anderlini, L. & Felli, L. (2006). Transaction Costs and the Robustness of the Coase Theorem. *Economic Journal*, 116(508), 223–245. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2006.01054.x>
- Alberola, E., Chevallier, J. & Cheze, B. (2008). Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005–2007. *Energy Policy*, 36(2), 787–797. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.10.029>
- Andrew, B. (2008). Market failure, government failure and externalities in climate change mitigation: The case for a carbon tax. *Public Administration and Development*, 28(5), 393–401. <https://doi.org/10.1002/pad.517>
- Baumol, W.J. & Oates, W.E. (1988). *The Theory of Environmental Policy* (2. painos). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139173513>
- Becker, R., Clements, A.E. & White, S.I. (2006). Does Implied Volatility Provide Any Information beyond that Captured in Model-Based Volatility Forecasts? *Journal of Banking & Finance*, 31(8), 2535–2549. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2006.11.013>

- Betz, R.A. & Schmidt, T.S. (2016). Transfer patterns in Phase I of the EU Emissions Trading System: a first reality check based on cluster analysis. *Climate Policy*, 16(4), 474–495. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1028319>
- Black, F. & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81, 637–654. <https://doi.org/10.1086/260062>
- Blair, B.J., Poon, S-H. & Taylor, S.J. (2001). Modelling S&P 100 volatility: the information content of stock returns. *Journal of Banking and Finance*, 25(9), 1665–1679. [https://doi.org/10.1016/S0378-4266\(00\)00157-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4266(00)00157-6)
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of econometrics*, 31(3), 307–327. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(86\)90063-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1)
- Brooks, C. (2008). *Introductory Econometrics for Finance* (2. painos). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511841644>
- Böhringer, C. (2013). Two Decades of European Climate Policy: A Critical Appraisal. *Review of Environmental Economics and Policy*, 8(1), 1–17. <https://doi.org/10.1093/reep/ret018>
- Carmona, R., Fehr, M., Hinz, J. & Porchet, A. (2010). Market design for emission trading schemes. *SIAM Review*, 52(3), 403–452. <https://doi.org/110.1137/080722813>
- Carnero, M.A., Peña, D. & Ruiz, E. (2012). Estimating GARCH-volatility in the presence of outliers. *Economic Letters*, 114(1), 86–90. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2011.09.023>
- Chang K. & Chang H. (2016). Cutting CO2 intensity targets of interprovincial emissions trading in China. *Applied Energy* 163, 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.146>
- Charles, A., Darné, O. & Fouilloux, J. (2013). Market efficiency in the European carbon markets. *Energy Policy*, 60, 785–792. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.036>
- Chaton, C., Creti, A. & Sanin, M-E. (2018). Assessing the implementation of the Market Stability Reserve. *Energy Policy*, 118, 642–654. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.027>

- Chen, Y. & Tseng, C-L. (2011). Inducing clean technology in the electricity sector: tradable permits or carbon tax policies? *The Energy Journal*, 32(3), 149–174. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol32-No3-6>
- Chevallier, J. (2009). Carbon futures and macroeconomic risk factors: a view from the EU ETS. *Energy Economics*, 31(4), 614–625. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.02.008>
- Chevallier, J. (2011a). A model of carbon price interactions with macroeconomic and energy dynamics. *Energy Economics*, 33(6), 1295-1312. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.012>
- Chevallier, J. (2011b). Detecting instability in the volatility of carbon prices. *Energy Economics*, 33(1), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.09.006>
- Christiansen, V. & Smith, S. (2015). Emission taxes and abatement regulation under uncertainty. *Environmental and Resource Economics*, 60(1), 17–35. <https://doi.org/10.1007/s10640-013-9755-7>
- Chung, Y.C., Jeong, M. & Young, J. (2018). The Price Determinants of the EU Allowance in the EU Emissions Trading Scheme. *Sustainability*, 10(11), 4009. <https://doi.org/10.3390/su10114009>
- Ciner, C. (2013). Oil and stock returns: frequency domain evidence. *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, 23, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2012.09.002>
- Cló, S. (2010). Grandfathering, auctioning and Carbon Leakage: Assessing the inconsistencies of the new ETS Directive. *Energy Policy*, 38(5), 2420–2430. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.035>
- Coase, R.H. (2013). The Problem of Social Cost. *The Journal of Law & Economics*, 56(4), 837–877. <https://doi.org/10.1086/674872>
- Coase, R.H. (1960). The Problem of Social Cost. *The Journal of Law & Economics*, 3, 1–44. <https://doi.org/10.1002/sres.3850090105>
- Conrad, C., Rittler, D. & Rotfuß, W. (2012). Modeling and explaining the dynamics of European Union Allowance prices at high-frequency. *Energy Economics*, 34(1), 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.02.011>

- Daskalakis, G., Psychoyios, D. & Markellos, R.N. (2009). Modeling CO2 emission allowance prices and derivatives: Evidence from the European trading scheme. *Journal of Banking and Finance*, 33(7), 1230–1241. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2009.01.001>
- Day, T.E. & Lewis, C.M. (1992). Stock Market Volatility and the Information Content of Stock Index Options. *Journal of Econometrics*, 52(1), 267–287. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90073-Z](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90073-Z)
- Devi, N. (2016). Macroeconomic Variables Uncertainty and Stock Market Volatility. *International Journal on Global Business Management & Research*, 5(2), 54-72. Noudettu 2020-2-13 osoitteesta <https://search-proquest-com.proxy.uwasa.fi/docview/1861064856?accountid=14797>
- Dong, J., Ma, Y. & Sun, H. (2016). From Pilot to the National Emissions Trading Scheme in China: International Practice and Domestic Experiences. *Sustainability*, 8(6), 522. <https://doi.org/10.3390/su8060522>
- Dutta, A. (2017). Oil price uncertainty and clean energy stock returns: new evidence from crude oil volatility index. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1157–1166. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.050>
- Dutta, A. (2018a). Modeling and forecasting the volatility of carbon emission market: The role of outliers, time-varying jumps and oil price risk. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2773–2781. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.135>
- Dutta, A. (2018b). Oil and energy sector stock markets: An analysis of implied volatility indexes. *Journal of Multinational Financial Management*, 44, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.mulfin.2017.12.002>
- Dutta, A., Nikkinen, J. & Rothovius, T. (2017). Impact of oil price uncertainty on Middle East and African stock markets. *Energy*, 123, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.126>
- Ebert, U. & von dem Hagen, O. (1998). Pigouvian taxes under imperfect competition if consumption depends on emissions. *Environmental and Resource Economics*, 12(4), 507–513. <https://doi.org/10.1023/A:1008215019489>

- Ederington, L.H. & Lee, J.H. (1996). The creation and resolution of market uncertainty: The impact of information releases on implied volatility. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 31(4), 513–539. <https://doi.org/10.2307/2331358>
- Egenhofer, C. (2007). The Making of the EU Emissions Trading Scheme: Status, Prospects and Implications for Business. *European Management Journal*, 25, 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2007.07.004>
- Ellerman, D. & Buchner, B. (2008). Over-allocation or abatement? A preliminary analysis of the EU ETS based on 2005 emissions data. *Environmental and Resource Economics*, 41(2), 267–287. <https://doi.org/10.1007/s10640-008-9191-2>
- Engle, R.F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 50(4), 987–1007. <https://doi.org/10.2307/1912773>
- Ermolieva, T., Ermoliev, Y., Jonas, M., Obersteiner, M., Wagner, F. & Winiwarter, W. (2014). Uncertainty, cost-effectiveness and environmental safety of robust carbon trading: integrated approach. *Climatic Change*, 124(3), 633–646. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0824-2>
- Euroopan komissio. (2015). Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC to enhance cost-effective emission reductions and low-carbon investments. Noudettu 2020-2-3 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015PC0337>.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A Review of Theory and Empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417. <https://doi.org/10.2307/2325486>
- Fleming, M.J. & Remolona, E.M. (1999). Price formation and liquidity in the U.S. treasury market: The response to public information. *Journal of Finance*, 54(5), 1901–1915. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00172>
- Hansen, P.R. & Lunde, A. (2005). A forecast comparison of volatility models: does anything beat a GARCH(1,1)? *Journal of Applied Economics*, 20, 873–889. <https://doi.org/10.1002/jae.800>

- Heindl, P. (2017). The impact of administrative transaction costs in the EU emissions trading system. *Climate Policy*, 17(3), 314–329. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1110108>
- Heynen, R., Kemna, K. & Vorst, T. (1994). Analysis of the term structure of implied volatilities. *Journal of Finance*, 29(1), 31-56. <https://doi.org/10.2307/2331189>
- Hintermann, B. (2010). Allowance price drivers in the first phase of the EU ETS. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59(1), 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2009.07.002>
- Hitzemann, S., Uhrig-Homburg, M. & Ehrhart, K-M. (2015). Emission permits and the announcement of realized emissions: Price impact, trading volume, and volatilities. *Energy Economics*, 51, 560–569. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.07.007>
- Holt, C.A. & Shobe, W.M. (2016). Reprint of: Price and quantity collars for stabilizing emission allowance prices: Laboratory experiments on the EU ETS market stability reserve. *Journal of Environmental Economics and Management*, 80, 69–86. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.01.003>
- Hood, C. (2010). *Reviewing existing and proposed emissions trading systems*. International Energy Agency. Noudettu 2020-1-29 osoitteesta https://www.oecd-ilibrary.org/energy/reviewing-existing-and-proposed-emissions-trading-systems_5km4hv3mlg5c-en
- Ibikunle, G., Gregoriou, A., Hoepner, A.G.F. & Rhodes, M. (2016). Liquidity and market efficiency in the world's largest carbon market. *The British Accounting Review*, 48(4), 431–447. <https://doi.org/10.1016/j.bar.2015.11.001>
- Jacoby, H.D. & Ellerman, A.D. The safety valve and climate policy. *Energy Policy*, 32(4), 481–491. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00150-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00150-2)
- Jaraitė-Kažukauskė, J. & Kažukauskas, A. (2015). Do Transaction Costs Influence Firm Trading Behaviour in the European Emissions Trading System? *Environmental and Resource Economics*, 62(3), 583–613. <https://doi.org/10.1007/s10640-014-9831-7>
- Krylova, E., Nikkinen, J. & Vähämaa, S. (2009). Cross-dynamics of volatility term structures implied by foreign exchange options. *Journal of Economics and Business*, 6(5)1, 355–375. <https://doi.org/10.1016/j.jeconbus.2009.01.002>

- Kuechle, G. & Rios, D. (2012). The Coase theorem reconsidered: The role of alternative activities. *International Review of Law & Economics*, 32(1), 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.irlle.2011.10.001>
- Kyle, A.S. (1985). Continuous Auctions and Insider Trading. *Econometrica*, 53(6), 1315. <https://doi.org/10.2307/1913210>
- Lashof, D.A. & Ahuja, D.R. (1990). Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. *Nature*, 344(6266), 529. <https://doi.org/10.1038/344529a0>
- Liski, M. (2001). Thin versus thick CO2 market. *Journal of Environmental Economics and Management*, 41(3), 295–311. <https://doi.org/10.1006/jeem.2000.1144>
- Liu, M-L., Ji, Q. & Fan, Y. (2013). How does oil market uncertainty interact with other markets? An empirical analysis of implied volatility index. *Energy*, 55, 860–868. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.037>
- Luo, C. & Wu, D. (2016). Environment and economic risk an analysis of carbon emission market and portfolio management. *Environmental Research*, 149, 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.02.007>
- Lutz, B.J., Pigorsch, U. & Rotfuß, W. (2013). Nonlinearity in cap-and-trade systems: The EUA price and its fundamentals. *Energy Economics*, 40, 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.05.022>
- Maghyereh, A.I., Awartani, B. & Bouri, E. (2016). The directional volatility connectedness between crude oil and equity markets: New evidence from implied volatility indexes. *Energy Economics*, 57, 78–93. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.04.010>
- Mansanet-Bataller, M., Angel, P. & Enric, V. (2007). CO₂ Prices, Energy and Weather. The *Energy Journal*, 28(3), 73–92. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol28-No3-5>
- Maskin, E.S. (1994). The invisible hand and externalities. *American Economic Review*, 84(2), 333.
- Meade, J. (1952). External Economies and Diseconomies in a Competitive Situation. *Economic Journal*, 62(245), 54–67. <https://doi.org/10.2307/2227173>

- Metcalf, G. & Stock, J. (2015). The Role of Integrated Assessment Models in Climate Policy: A User's Guide and Assessment. *Discussion Paper 2015-68*. Harvard Project on Climate Agreements, Belfer Center. Noudettu 2020-1-13 osoitteesta https://www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/dp68_metcalf-stock.pdf
- Montagnoli, A. & de Vries, F.P. (2010). Carbon trading thickness and market efficiency. *Energy Economics*, 32(6), 1331–1336. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.04.001>
- Montgomery, D. (1972). Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs. *Journal of Economic Theory*, 5(3), 395–418. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(72\)90049-X](https://doi.org/10.1016/0022-0531(72)90049-X)
- Mukherjee, T.K. & Naka, A. (1995). Dynamic relations between macroeconomic variables and the Japanese stock market: an application of a vector error correction model. *Journal of Financial Research*, 18(2), 223–237. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6803.1995.tb00563.x>
- Muller, N.Z. & Mendehlson, R. (2009). Efficient pollution regulation: Getting the prices right. *American Economic Review*, 99(5), 1714–1739. <https://doi.org/10.1257/aer.99.5.1714>
- Narayan, P. K. & Narayan, S. (2007). Modelling Oil Price Volatility. *Energy Policy* 35(2), 6549–6553. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.020>
- Nash, J.R. (2000). Too much market? Conflict between tradable pollution allowances and the 'Polluter Pays' principle. *Harvard Environmental Law Review*, 24(2), 1–59.
- Nelson, D.B. (1991). Conditional heteroskedasticity in asset returns: a new approach. *Econometrica*, 59(2), 347–370. <https://doi.org/10.2307/2938260>
- Nicholson, W. (1989). *Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions* (10. painos). Dryden Press.
- Nikkinen, J. & Rothovius, T. (2019). Energy sector uncertainty decomposition: New approach based on implied volatilities. *Applied Energy*, 248, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.095>

- Nikkinen, J. & Sahlström, P. (2001). Impact of scheduled U.S. macroeconomic news on stock market uncertainty: A multinational perspective. *Multinational Finance Journal*, 5(2), 129–148. <https://doi.org/10.17578/5-2-3>
- Nikkinen, J. & Sahlström, P. (2004). International transmission of uncertainty implicit in stock index option prices. *Global Finance Journal*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2003.10.007>
- Noor, H. & Dutta, A. (2017). On the Relationship between oil and equity markets: evidence from South Asia. *International Journal of Managerial Finance*, 13(3), 287–303. <https://doi.org/10.1108/IJMF-04-2016-0064>
- Nordhaus, W.D. (2006). After Kyoto: Alternative Mechanisms to Control Global Warming. *American Economic Review*, 96(2), 31–34. <https://doi.org/10.1257/000282806777211964>
- Nordhaus, W.D. (2011a). Designing a friendly space for technological change to slow global warming. *Energy Economics*, 33(4), 665–673. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.08.005>
- Nordhaus, W.D. (2011b). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(7), 1518–1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- Oberndorfer, U. (2009). EU Emission Allowances and the stock market: Evidence from the electricity industry. *Ecological Economics*, 68(4), 1116–1126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.026>
- Padhi, P. & Shaikh, I. (2014). On the relationship of implied, realized and historical volatility: evidence from NSE equity index options. *Journal of Business Economics and Management*, 15(5), 915–934. <https://doi.org/10.3846/16111699.2013.793605>
- Pati, P.C., Barai, P. & Rajib, P. (2018). Forecasting stock market volatility and information content of implied volatility index. *Applied Economics*, 50(23), 2552–2568. <https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1403557>
- Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J. & Common, M. (2003). *Natural Resource and Environmental Economics* (3. painos). Pearson Education Limited.
- Pigou, A.C. (1924). *The economics of welfare* (2. painos). McMillan and Co. Limited.

- Pindyck, R.S. (2004a). Volatility in natural gas and oil markets. *The Journal of Energy and Development*, 30(1), 1–19. Noudettu 2020-2-13 osoitteesta http://ceepr.mit.edu/files/papers/Reprint_172_WC.pdf
- Pindyck, R.S. (2004b). Volatility and commodity price dynamics. *Journal of Futures Market*, 24(11), 1029–1047. <https://doi.org/10.1002/fut.20120>
- Rannou, Y. & Barneto P. (2016). Futures trading with information asymmetry and OTC predominance: Another look at the volume/volatility relations in the European carbon markets. *Energy Economics*, 53, 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.10.010>
- Regan, D.H. (1972). The problem of social cost revisited. *The Journal of Law and Economics*, 15(2), 427–437. <https://doi.org/10.1086/466745>
- Rickels, W., Görlich, D. & Peterson, S. (2015). Explaining European Emission Allowance Price Dynamics: Evidence from Phase II. *German Economic Review*, 16(2), 181–202. <https://doi.org/10.1111/geer.12045>
- Roberts, M.J. & Spence, M. (1976). Effluent charges and licenses under uncertainty. *Journal of Public Economics*, 5(3), 193–208. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(76\)90014-1](https://doi.org/10.1016/0047-2727(76)90014-1)
- Samuelson, P.A. (1954). The pure theory of public expenditure. *The Review of Economics and Statistics*, 36, 387–389. <https://doi.org/10.2307/1925895>
- Sandmo, A. (2011). Atmospheric externalities and environmental taxation. *Energy Economics*, 33, S4–S12. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.021>
- Segnon, M., Lux, T. & Gupta, R. (2017). Modeling and forecasting the volatility of carbon dioxide emission allowance prices: A review and comparison of modern volatility models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 692–704. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.060>
- Shu, H-C. & Chang, J-H. (2019). Spillovers of volatility index: evidence from U.S., European, and Asian stock markets. *Applied Economics*, 51(19), 2070–2083. <https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1540846>
- Singh, T., Gupta, M. & Sharma, A. (2015). Stock market liquidity and firm performance. *Accounting*, 1, 29–36. <https://doi.org/10.5267/j.ac.2015.11.003>

- SopS 13/2005. Ilmastonmuutosta koskevan yhdistyneiden kansakuntien puitesopimuksen Kioton pöytäkirja. Noudettu 2020-1-13 osoitteesta http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2005/20050013/20050013_2
- Stavins, R.N. (1995). Transaction costs and tradeable permits. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 133–148. <https://doi.org/10.1006/jeem.1995.1036>
- Stern, N. (2007). *Stern Review: Economics of Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge. Noudettu 2019-11-13 osoitteesta http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf
- Tan, X-P. & Wang, X-Y. (2017). Dependence changes between the carbon price and its fundamentals: A quantile regression approach. *Applied Energy*, 190, 306–325. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.116>
- Tietenberg, T. & Lewis, L. (2012). *Environmental and Natural Resource Economics* (9. painos). Pearson Education.
- Tietenberg, T. (1980). Transferable Discharge Permits and the Control of Stationary Source Air Pollution: A Survey and Synthesis. *Land Economics*, 56(4), 391–416. <https://doi.org/10.2307/3146217>
- Ventura, A., Cafiero, C. & Montibeller, M. (2016). Pareto Efficiency and the Coase Theorem, and Externalities: A Critical View. *Journal of Economic Issues*, 50(30), 872–895. <https://doi.org/10.1080/00213624.2016.1213595>
- Vo, M.T. (2011). Oil and stock market volatility: a multivariate stochastic volatility perspective. *Energy Economics*, 33, 956–965. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.03.005>
- Watanabe R. & Robinson G. (2005). The European Union Emissions Trading Scheme (EU ETS). *Climate Policy*, 5(1), 10–14. <https://doi.org/10.1080/14693062.2005.9685537>
- Weitzman, M.L. (1974). Prices vs. quantities. *The review of economic studies*, 41(4), 477–491. <https://doi.org/10.2307/2296698>

- Woerdman, E., Arcuri, A. & Cló, S. (2008). Emissions trading and the polluter-pays principle: do polluters pay under grandfathering? *Review of Law and Economics*, 4(2), 565–590. <https://doi.org/10.2202/1555-5879.1189>
- Xu, L., Deng, S-J. & Thomas, V.M. (2016). Carbon emission permit price volatility reduction through financial options. *Energy Economics*, 53, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.06.001>
- Zhang, Y., Zhang, B., Bi, J. & He, P. (2013). Modeling the impact of uncertainty in emissions trading markets with bankable permits. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 7(2), 231–241. <https://doi.org/10.1007/s11783-012-0431-x>