



SUOMEN
ILMASTOPANEELI
The Finnish Climate
Change Panel

TIELIIKENTEEN KANSALLISEN PÄÄSTÖKAUPAN
TOTEUTTAMINEN JA VAIKUTUKSET

ANNI SEPPÄNEN, LASSI AHLVIK, SALLY WEAVER, MARKKU
OLLIKAINEN

Suomen ilmastopaneeli

Raportti 4/2022

© Suomen ilmastopaneeli



Raportti on julkaistu [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) -lisenssillä.

Suomen ilmastopaneelin raportti 4/2022

Tieliikenteen kansallisen päästökaupan toteuttaminen ja vaikutukset

Tekijät:

Anni Seppänen, Lassi Ahlvik, Sally Weaver ja Markku Ollikainen

Ruotsinkieliset käännökset: Venni Arra

Englanninkieliset käännökset: Sally Weaver

ISSN: 2737-0666

ISBN: 978-952-7457-14-6

DOI: <https://doi.org/10.31885/9789527457146>


Viittausohje:

Seppänen, A., Ahlvik, L., Weaver, S. ja Ollikainen, M. 2022. Tieliikenteen kansallisen päästökaupan toteuttaminen ja vaikutukset. Suomen ilmastopaneelin raportti 4/2022.

Suomen ilmastopaneeli edistää tieteen ja politiikan välistä vuoropuhelua ilmastokysymyksissä. Se antaa suosituksia hallituksen ilmastopoliittiseen päätöksentekoon ja vahvistaa monitieteellistä otetta ilmastotieteissä. Ilmastopaneelin selvitykset ja kannanotot tehdään tieteellisin perustein.

info@ilmastopaneeli.fi

www.ilmastopaneeli.fi

 [@Ilmastopaneeli1](https://twitter.com/Ilmastopaneeli1)

SISÄLLYS

Tiivistelmä	iii
Summary	iv
Referat	v
1. Johdanto	1
2. Liikenteen päästökaupan toimintaperiaatteet	3
3. Liikenteen päästökaupan käyttäytymisvaikutusten tutkiminen: hintajoustot	6
3.1 Kysynnän hintajousto	6
3.2 Tarjonnan hintajousto	8
4. Päästökaupan mallinnus: rakenne	9
4.1 Säätelypisteen valinta.....	9
4.2 Päästöoikeuksien alkujako	10
4.3 Liikennesektorin liittäminen päästökauppaan.....	10
4.4 Päästökauppajärjestelmien yhdistäminen	11
5. Päästökaupan mallinnus: parametrit ja oletukset	12
5.1 Taustaoletukset	12
6. Päästökaupan toteuttamisskenaariot	14
Skenaario 1: Kansallinen päästökauppamalli: Lineaarinen vähennys yli kauppakauden	14
Skenaario 2: Kansallinen päästökauppamalli: Viivästetty käyttöönotto (päästökauppa "perälautana").....	15
Skenaario 3: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2), ei kansallista päästökauppaa	16
Skenaario 4: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2) ja rinnakkainen päästökauppa.....	17
Skenaario 5: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2) ja päällekkäinen päästökauppa	18
7. Johtopäätökset	20
8. Liitteet	22
9. Lähteet	32

TIIVISTELMÄ

Fossiilisten liikennepolttoaineiden kulutus tuottaa suuren määrän kasvihuonepäästöjä, joten liikennesektorilla on merkittävä rooli Suomen ja maailman siirtyessä kohti hiilineutraaliutta. Useat maat ovatkin asettaneet tavoitteita liikenteen päästöjen vähentämiseksi ja ottaneet käyttöön niihin tähtääviä säädöksiä ja ohjauskeinoja. Suomi on asettanut tavoitteekseen puolittaa liikenteen päästöt vuoden 2005 päästömääriin verrattuna vuoteen 2030 mennessä.

Myös Euroopan unioni on korostanut liikenteen päästöjen vähentämisen tärkeyttä ilmastotavoitteidensa saavuttamiseksi ja tällä hetkellä on neuvottelujen alla, perustetaanko EU:n laajuinen päästökauppa tieliikenteessä ja rakennusten erillislämmityksessä käytettäville polttoaineille. Ehdotettu järjestelmä kohdistuisi polttoaineen jakelijoihin ja päästökattoa kiristettäisiin ajan kuluessa. Suomessa on pohdittu myös liikenteen kansallisen päästökaupan käyttöönottoa.

Kansallisen päästökaupan valmistelua perustelevat monet seikat. Ensinnäkin EU:n liikenteen ja lämmityksen päästökaupan luomisesta vasta neuvotellaan, joten se ei välttämättä ehdi auttamaan Suomen kansallisten päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Lisäksi EU:n tasoinen järjestelmä on tuskin riittävästi mitoitettu auttamaan Suomea saavuttamaan vähennystavoitteitaan, joten lisätoimia tarvitaan joka tapauksessa.

Tässä raportissa analysoidaan, kuinka liikenteen kansallinen päästökauppa voisi toimia, ja kuinka se voidaan liittää mahdolliseen EU:n yhteiseen tieliikenteen ja rakennusten erillislämmityksen päästökauppaan. Tieliikenteen päästökauppaa on sovellettu maailmalla useissa maissa ja ohjelmissa, joten myös sen toimivuudesta on jo tietoa.

Raportissa tarkastellaan viittä eri skenaariota ja niiden vaikutuksia polttoaineen hintaan, päästöoikeuksien hintaan ja tieliikenteen päästöihin. Kansallinen päästökauppa auttaa saavuttamaan Suomen päästötavoitteet varmasti, ja polttoainemarkkinoihin liittyvät epävarmuudet kanavoituvat polttoaineen hinnan kautta skenaarioissa 1 ja 2. Skenaarioita erottaa kuitenkin se, että skenaariossa 2 päästökauppa otetaan käyttöön viiveellä, vasta vuodesta 2025. Se otettaisiin käyttöön vasta myöhemmin perälautana päästövähennysten saavuttamiseksi, jos vaikuttaa siltä, että päästökehitys lähivuosina ei ole riittävä 2030 tavoitteiden saavuttamiseksi.

Skenaariossa 3 pelkkä EU:n tieliikenteen päästökauppa ei todennäköisesti riitä saavuttamaan liikennesektorin kansallisesta tavoitteesta puuttuvaa vähennystä, ellei oikeuden hinta ole huomattavasti Euroopan komission arvioita korkeampi. Jos EU:n päästökauppa toteutuu, yhdistäminen voidaan toteuttaa joko tuomalla kansallinen päästökauppa EU:n päästökaupan rinnalle, jolloin Suomen tavoitteet voidaan varmuudella saavuttaa (Skenaario 4), tai päällekkäisenä järjestelmänä, jolloin päästövähennykseen sisältyy epävarmuutta (Skenaario 5).

Päästökaupan vaikutusten arvioinnissa erityisen oleellista on tieto kysynnän ja tarjonnan hintajoustoista. Hintajoustit kertovat sen, kuinka alttiita toimijat ovat muuttamaan käyttäytymistään, kun ne kohtaavat päästöjen hinnan. Vaikka hintajoustoista on runsaasti tutkimusta viime vuosikymmeniltä, liittyy sen arviointiin ja soveltamiseen Suomen oloihin huomattavaa epävarmuutta. Mitä enemmän on fossiilisille polttoaineille vaihtoehtoja, kuten biopolttoaineita ja sähköautoja, sitä joustavampaa on kysyntä ja vaikutus polttoaineen hintaan lievempi. Päästökauppa kerää myös julkisia varoja, joilla voidaan tasata järjestelmän aiheuttamia tulonjakovaikutuksia. Varojen käyttö ja tulonjakovaikutukset eivät olleet tämän työn keskiössä, mutta niihin on syytä kiinnittää erityistä huomiota, jos järjestelmä otetaan käyttöön.

SUMMARY

Fossil fuels used in the transport sector contribute significantly to climate change, which means their use needs to decrease substantially to continue on the pathway towards net zero, both in Finland and globally. Many countries have set emissions reduction targets for the transport sector and adopted legislation and policies to reach these targets. In Finland, the target is to halve emissions from domestic transport by 2030 compared to 2005 levels.

The European Union has also highlighted the need to decrease emissions from transport to reach climate targets. Negotiations are currently ongoing, whether an EU-wide emissions trading system will be formed for road transport and buildings sectors. The system would concern fuel distributors and the cap on emissions would tighten over time. In Finland, establishing a national emissions trading scheme for the road transport sector has also been under consideration.

There are many reasons a national trading system would be worth setting up in Finland. The EU level emissions trading scheme is still under negotiation, so it might not be implemented soon enough if at all, and its effects will not necessarily help Finland reach its own targets for 2030. In addition, the EU level system will most likely not be stringent enough to push down emissions in Finland, so national policies will be required anyhow.

The potential mechanisms of a national emissions trading system for the transport sector were examined in this report and how a national system could possibly be linked to the EU-wide emissions trading system, if it is established. Emissions trading systems for the transport sector have been set up in several countries, so there is evidence on how they function and what is required.

In this report the results of simulations run on five scenarios are reported, including additional cost of fuel, the emissions permit price and emissions in the transport sector. National systems were looked at in scenarios 1 and 2. A national trading system would ensure that emissions reduction targets are reached and fuel costs would then reflect the uncertainties regarding changes in fuel consumption. The difference between these scenarios is the timing of the system – in scenario 1 the trading system is implemented immediately and in scenario 2 as a backstop mechanism, put into use only if emissions reductions are not sufficient to ensure emissions reductions contribute enough towards the 2030 target.

In scenario 3 only the EU level system is implemented. The analysis shows that in this case, emissions reductions are not sufficient for reaching climate targets, unless the price is high enough. If the EU level system is established, a national system can be built as a parallel or complimentary system. In scenario 4, climate targets are reached but in scenario 5 there is uncertainty.

Price elasticities of supply and demand are key parameters in evaluating the effects of an emissions trading system. Price elasticity factors show how consumers and businesses respond by adjusting their demand, when the price of emissions and thus fuel increases. There are uncertainties regarding the application of price elasticities into the Finnish context, despite extensive research conducted on elasticities in other countries in the past decades. The more alternatives to fossil fuels there are, the more elastic is the demand and thus the cost effect on fuel prices will be lower. Auctioning emissions permits increases government revenues, which can be then used to even out unwelcome income distribution effects or undue cost burdens for businesses. The use of auction revenues to compensate costs was not looked at this analysis, but should be considered if an emissions trading system is established.

REFERAT

Förbrukningen av fossila bränslen inom transportsektorn orsakar en stor del växthusgasutsläpp, vilket innebär att användningen av fossila bränslen måste minska betydligt för att man i Finland och globalt ska kunna uppnå koldioxidneutralitet. Flera länder har fastställt mål för transportsektorns utsläppsminskningar och antagit lagstiftning samt riktlinjer för att nå dessa mål. Målet i Finland är att halvera utsläppen från inrikes transporter fram till 2030 jämfört med utsläppsnivåerna år 2005.

Även Europeiska unionen har betonat vikten av att minska transportutsläpp för att nå sina klimatmål. Förhandlingar om ett system för utsläppshandel för både transport- och byggnadssektorn inom EU pågår för tillfället. Systemet skulle gälla bränsledistributörer och taket för utsläpp skulle skäras med tiden. I Finland har man även övervägt att ta i bruk ett nationellt system för utsläppshandel för transportsektorn.

Det finns många skäl att förbereda ett nationellt system för utsläppshandel. För det första pågår EU:s förhandlingar om systemet för utsläppshandel fortfarande, vilket innebär att systemet troligtvis inte hinner inverka på Finlands möjligheter att nå sina klimatmål. Dessutom är det osannolikt att ett system på EU-nivå kommer att vara tillräckligt omfattande för att hjälpa Finland uppnå sina klimatmål. Nationella åtgärder kommer således att behövas.

Denna rapport presenterar hur ett nationellt system för trafikens utsläppshandel kunde fungera, samt hur den kunde kopplas till ett gemensamt system för utsläppshandel inom EU. System för utsläppshandel för vägtrafik har redan tillämpats i flera länder runtom världen och det finns således en viss kunskap om hur det fungerar.

I rapporten presenteras fem olika scenarier och hur dessa påverkar priset på bränsle och utsläppsrätter samt utsläppen från vägtransporten. I scenarierna 1 och 2 granskas ett nationellt handelssystem som säkerställer att målen för utsläppsminskningarna i Finland uppnås. I dessa scenarier återspeglar bränslekostnaderna osäkerheten kring förändringar i bränsleförbrukningen. Det som skiljer scenarierna 1 och 2 från varandra är tidpunkten då handelssystemet tas i bruk. I scenario 1 införs handelssystemet omedelbart, medan systemet i scenario 2 införs vid ett senare skede som en reservmekanism ifall utsläppstrenderna inte är tillräckliga för att uppnå klimatmålen år 2030.

I scenario 3 tillämpas endast EU:s system för utsläppshandel. Analysen visar att utsläppsminskningarna inte då är tillräckliga för att uppnå de nationella målen, såvida priset på utsläppsrätten inte är betydligt högre än vad den Europeiska kommissionen har beräknat. Om ett system på EU-nivå inrättas kan ett nationellt system byggas upp som ett parallellt (scenario 4) eller kompletterande system (scenario 5). I scenario 4 uppnås klimatmålen, men i scenario 5 råder osäkerhet.

Utbudets och efterfrågans priselasticitet är viktiga parametrar när man utvärderar effekterna av ett handelssystem med utsläppsrätter. Priselasticiteten visar hur konsumenter och företag anpassar sitt beteende när priset på utsläpp och därmed bränsle ökar. Även om det finns en stor mängd forskning om priselasticiteter från de senaste årtiondena, råder det stor osäkerhet om hur de kan utvärderas och tillämpas i Finland. Ju fler alternativ till fossila bränslen det finns, desto mer elastisk är efterfrågan och därmed blir kostnadseffekten på bränslepriserna lägre. Handel med utsläppsrätter ökar även de statliga intäkterna, som sedan kan användas för att jämna ut systemets fördelningseffekter. Användningen av intäkterna för att kompensera kostnader undersöktes inte i denna rapport, men bör övervägas om ett system för handel med utsläppsrätter införs.

1. JOHDANTO

Fossiilisten liikennepolttoaineiden kulutus tuottaa merkittävän määrän kasvihuonepäästöjä. EU:n sisäisen liikenteen päästöt kattoivat noin 27 prosenttia Euroopan unionin kasvihuonepäästöistä vuonna 2017 (European Environment Agency, 2019). Tieliikenteen osuus liikenteen päästöistä oli samana vuonna 72 prosenttia. Suomessa kotimaan liikenteen osuus kasvihuonepäästöistä oli 21 prosenttia vuonna 2019 (Traficom, 2021). Näiden tilastojen valossa liikennesektorilla on merkittävä rooli Suomen ja maailman siirtymässä kohti hiilineutraaliutta. Useat maat ovatkin asettaneet tavoitteita liikenteen päästöjen vähentämiseksi ja ottaneet käyttöön niihin tähtäviä säädöksiä ja ohjauskeinoja.

EU:n ilmastopolitiikassa liikenne kuuluu jäsenmaiden taakanjakosektoriin, jolle EU asettaa sitovat jäsenvaltiokohtaiset päästövähennysvelvoitteet. Uusien ehdotettujen taakanjakosektorin tavoitteiden mukaan Suomen taakanjakosektorin tavoitteeksi on esitetty 50 prosentin vähennys vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Liikenne ja maatalous kattavat yhdessä 60 prosenttia Suomen taakanjakosektorin päästöistä, joten tarve liikenteen päästöjen vähentämiseen on suuri. Suomi on asettanut tavoitteekseen puolittaa liikenteen päästöt vuoden 2005 päästömääriin verrattuna vuoteen 2030 mennessä. Myös Euroopan unioni on korostanut liikenteen päästöjen vähentämisen tärkeyttä ilmastotavoitteidensa saavuttamiseksi. Kesällä 2021 Euroopan komissio ehdotti erillisen päästökauppajärjestelmän muodostamista tieliikenteelle ja rakennusten erillislämmitykseen. Komission ehdotuksen mukaan järjestelmä otettaisiin käyttöön vuonna 2026. Ehdotettu järjestelmä kohdistuisi polttoaineen jakelijoihin ja päästökattoa kiristettäisiin ajan kuluessa (Euroopan komissio, 2021a). Ehdotuksessa mainitaan, että päästöoikeudet jaettaisiin päästöhuutokaupan kautta. Lisäksi komissio on ehdottanut sosiaalisen ilmastorahaston perustamista (*Social Climate Fund*), joka tähtäisi uuden päästökaupan aiheuttamiin kuluttajiin ja mikroyrityksiin kohdistuvien tulonjakovaikutusten korjaamiseen.

Suomessa on pohdittu myös liikenteen kansallisen päästökaupan käyttöönottoa (Liski ym., 2019; LVM, 2021), koska Suomelle ehdotetun suhteellisen korkean taakanjakosektorin tavoitteen täyttäminen edellyttää liikennesektorin kansallisten päästövähennysten vauhdittamista. Kansallisen päästökaupan tutkimusta ja valmistelua perustelevat monet seikat¹. Ensinnäkin EU:n liikenteen ja lämmityksen päästökaupan luomisesta vasta neuvotellaan, joten se ei välttämättä ehdi auttamaan Suomen kansallisten päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Lisäksi EU:n tasoinen järjestelmä on tuskin riittävästi mitoitettu auttamaan Suomea saavuttamaan vähennystavoitteitaan, joten lisätoimia tarvitaan joka tapauksessa. Näistä syistä on tarpeen analysoida, kuinka liikenteen kansallinen päästökauppa voisi toimia, ja kuinka se voidaan liittää EU:n yhteiseen tieliikenteen ja rakennusten erillislämmityksen päästökauppaan.

Raportti tarjoaa samalla yleisempää analyysia kaikille liikenteen päästökaupasta kiinnostuneille. Tieliikenteen päästökauppa on sovellettu maailmalla useissa maissa ja ohjelmissa, joten myös sen toimivuudesta on jo tietoa. Näissä ohjelmissa liikenteen päästökauppa tarkoittaa polttoaineen jakelijoille asetettua velvoitetta hankkia myydyin fossiilisen polttoaineen hiilidioksidipäästöjen verran päästöoikeuksia. Päästöoikeuksia jaetaan vain se määrä, joka liikenteestä sallitaan päästöinä. Annettu päästöoikeuksien määrä rajoittaa fossiilisen polttoaineen myyntimäärää. Jos jakelijat haluavat myydä polttoainetta tätä suuremman määrän, sen olisi

¹ Liikenteen päästökaupalla voi olla suotuisia sivuvaikutuksia myös ilmansaasteisiin, ruuhkiin, onnettomuuksiin sekä terveyteen liittyen (Sulikova ym. 2020, Lehtomäki et al. 2021). Tässä raportissa keskitytään kuitenkin hiilidioksidipäästöihin.

oltava vähäpäästöistä, kuten biopolttoainetta tai sähköpolttoainetta². Päästökauppa luo hinnan CO₂-päästöille ja se kohtaantuu polttoaineen hinnan kautta kuluttajien ja jakelijoiden maksettavaksi. Liikenne on osana päästökauppajärjestelmiä Quebecin ja Kalifornian järjestelmässä, Nova Scotiassa, Saksassa, Koreassa, Uudessa Seelannissa sekä Kiinan Shenzenin ja Pekingin piloteissa. Näitä järjestelmiä on kuvattu tarkemmin liitteessä 2 ja niistä saadut kokemukset auttavat myös eurooppalaisten järjestelmien luomisessa.

Tämä raportti on jäsennetty niin, että luvussa 2 käsitellään päästökaupan periaatetta ja sen suunnitteluun liittyviä kysymyksiä, sekä arvioidaan tutkimustiedon valossa markkinaehtoisen ohjauksen mahdollisuuksia vaikuttaa liikenteen päästöihin. Luvussa 3 määritetään päästökaupan analyysin kannalta keskeiset polttoaineiden kysynnän ja tarjonnan hintajouset. Luvuissa 4 ja 5 esitetään päästökaupamallin keskeiset rakennepiirteet ja oletukset. Simulaatioiden tulokset esitetään luvussa 6.

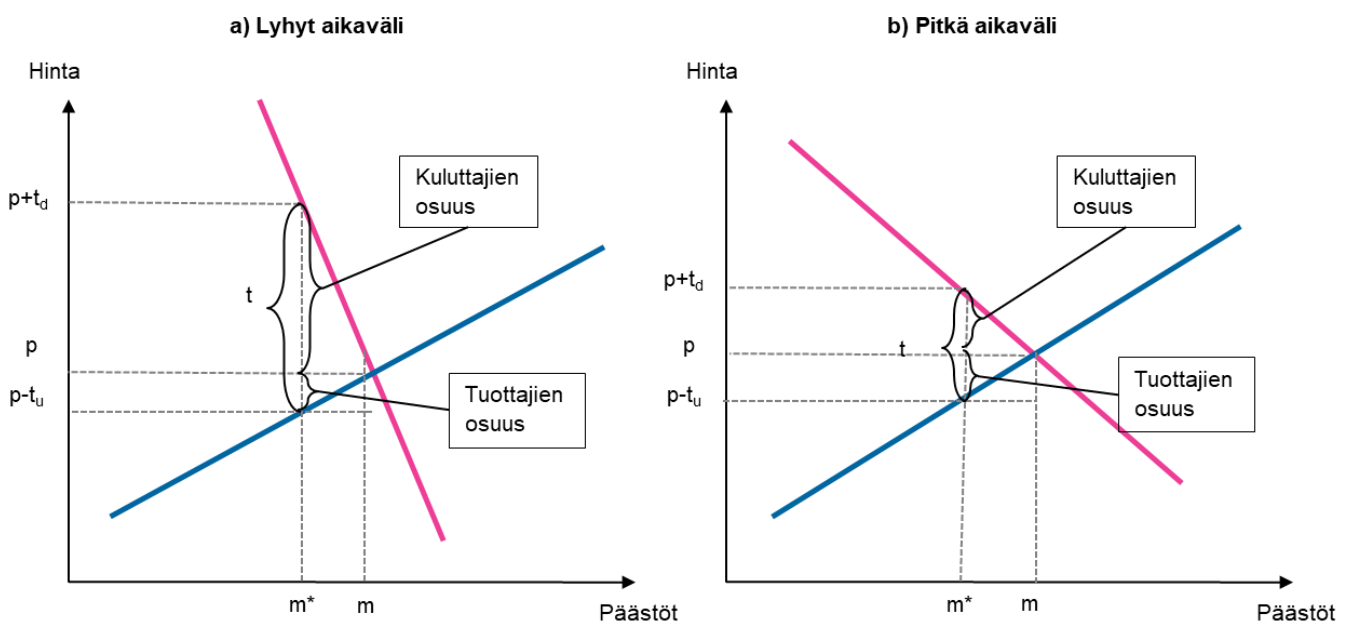
² Sähköpolttoaineella tarkoitetaan hiilidioksidista sähkön avulla valmistettua synteettistä polttoainetta, jolla voidaan suoraan korvata fossiilisia polttoaineita niiden käyttökohteissa esimerkiksi liikenteessä ja teollisuudessa.

2. LIIKENTEEN PÄÄSTÖKAUPAN TOIMINTAPERIAATTEET

Päästökauppa on markkinapohjainen mekanismi, jossa luodaan päästöoikeuksia haluttua päästötavoitetta vastaava määrä. Päästöoikeudet voidaan jakaa toimijoille joko ilmaiseksi tai huutokaupalla. Koska päästökatto asetetaan tiukemmaksi kuin vallitsevat päästöt, niistä syntyy niukkuutta ja päästöoikeuksille muodostuu hinta, joka määräytyy markkinoilla. Päästöjen aiheuttaja joutuu hankkimaan päästöoikeuksia tai vähentämään päästöjä siten, että pystyy kattamaan aiheuttamansa päästöt oikeuksilla. Päästöoikeuksilla voi käydä kauppaa markkinoilla. Tällöin päästöoikeuksia myyvät ne, joilla päästöjen vähentämiskustannus on alhaisempi kuin päästöoikeuksien hinta, ja ostajina toimivat ne, joille puhdistamisen kustannus ylittää oikeuksien hinnan. Päästökaton ollessa sitova päästövähennystavoite saavutetaan pienimmin mahdollisin kustannuksin. Huutokaupan tapauksessa kerätään samalla valtiolle varoja, joilla voidaan kattaa julkisia menoja tai palauttaa ne kotitalouksille ja kuljetusyritykselle kompensatioina.

Keskeiset taloustieteellisen kysymykset ovat, miten päästökauppa vaikuttaa liikenteen polttoaineen hintaan, kuluttajien valintoihin ja toteutuviin päästöihin. Vastauksen ytimessä ovat liikennepolttoaineiden markkinat, eli fossiilisten polttoaineiden kysyntä ja tarjonta, sekä niiden pohjalta syntyvä markkinatasapaino. Päästökaupan vaikutusten analyysin kannalta keskeinen käsite on polttoaineen kysynnän hintajousto, joka kuvaa sitä paljonko prosentuaalinen muutos polttoaineen hinnassa vähentää kulutettua polttoaineen määrää ja sitä myöten päästöjä. Hintajousto tiivistää yhdeksi luvuksi ne eri tavat, joilla autoilijat välttävät hinnan nousun aiheuttamia kustannuksia ja sen myötä päästöjä lyhyellä aikavälillä (ajokilometrit, ajoneuvojen käyttöasteen nosto) tai pitkällä aikavälillä (ajoneuvon käyttövoiman vaihtaminen, autosta luopuminen, muutto).

Päästökauppaa voidaan analysoida yksinkertaistaen kuvan 1 avulla. Siinä kuvataan polttoaineen kysyntää ja tarjontaa ja sitä kautta liikenteen päästöjen kysyntää ja tarjontaa sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Vaaka-akseli kuvaa päästöjen määrää ja pystyakseli polttoaineen hintaa. Pitkä aikaväli (kuva 1b) erottuu lyhyestä (kuva 1a) siinä, että sekä kysyntä- että tarjontakäyrä ovat loivempia, eli hintajoustavampia.



Kuva 1. Esimerkki liikenteen päästökaupan vaikutuksesta polttoainemarkkinoihin (a) lyhyellä aikavälillä ja (b) pitkällä aikavälillä

Symboli m kuvaa päästöjen määrää ja p polttoaineen hintaa ilman päästökauppaa. Ilman sääntelyä polttoaineiden kysyntäkäyrä ja tarjontakäyrä leikkaavat toisensa määrittäen markkinatasapainon, jossa tasapainohinta on p ja tasapainomäärä on m . Kun päästökauppa saatetaan voimaan, päästökatto m^* kuvaa suurinta sallittua liikenteen päästömäärää, jota liikenteen päästöt eivät saa ylittää. Määrän m^* kohdalla kysyntä- ja tarjontakäyrien väliin jäävä ero kuvaa päästöoikeuden hintaa, joka syntyy markkinoilla, jota merkitään symbolilla t . Päästöoikeuden hinta vaikuttaa polttoaineen hintaan kuvan 1 osoittamalla tavalla. Kuvan avulla voidaan hahmottaa, kuinka päästöoikeuksien kustannukset jakaantuvat ostajien (kotitaloudet ja ammattiliikenne) ja myyjien kesken.

Sääntelypisteen valinta. Liikenteen päästökauppa voidaan teoriassa luoda joko liikennepolttoaineiden jakelijoille, jolloin puhutaan *upstream*-sääntelystä tai kuluttajille, jolloin puhutaan *downstream*-sääntelystä. Upstream-päästökaupassa liikennepolttoaineiden jakelijat hankkivat päästöoikeuksia ja kohtaavat hinnan $p - t_u$ (kuva 1), jossa komponentti t_u on upstream-päästökaupan päästöoikeuden hinta. Tarjonnan rajoittaminen nostaa polttoaineen hintaa p , jolloin osa kustannuksista siirtyy kuluttajien maksettavaksi. Sitä, miten suuri prosentuaalinen osuus hiilen hinnoittelusta aiheutuvasta taakasta siirtyy kuluttajille, voidaan mitata myös niin kutsutulla *läpimenoarvolla* (engl. *pass-through rate*). Downstream-päästökaupassa liikennepolttoaineiden kuluttajat maksavat polttoaineesta hinnan $p + t_d$, jossa komponentti t_d vastaa downstream-päästökaupan päästöoikeuden hintaa (kuva 1). Tämä johtaa kysynnän laskuun, mikä puolestaan laskee polttoaineen markkinahintaa p , joten osa päästökaupan kustannuksista lankeaa myyjille. Tätä kutsutaan *verotuksen kohtaannoksi*.

Jos polttoaineiden kauppa rajan yli ei ole merkittävää, päästöjen määrä ja verotuksen kohtaanto riippuvat vain kysynnän ja tarjonnan joustoista, mutta ei siitä, luodaanko päästökauppa downstream-sääntelyyn vai upstream-sääntelyyn perustuen. Koska kysynnän hintajousto on aiemman kirjallisuuden mukaan yleisesti ottaen suhteellisen matala verrattuna tarjonnan hintajousto, kysyntäkäyrän voidaan olettaa olevan jyrkempi kuin tarjontakäyrä. Lisäksi tutkimusten mukaan lyhyellä aikavälillä hintajousto on matalampi kuin pidemmällä aikavälillä, joten lyhyen aikavälin kysyntäkäyrä on jyrkempi kuin pidemmän aikavälin kysyntäkäyrä. Kuva 1 havainnollistaa tämän tilanteen liikennepolttoainemarkkinoilla, sillä *kuluttajien osuus* on suurempi kuin *jakelijoiden osuus*, mutta kuluttajien osuus on matalampi pitkällä aikavälillä (kuva 1b) verrattuna lyhyeen aikaväliin (kuva 1a).

Päästöoikeuksien alkujako. Päästökauppajärjestelmän suunnitteluun liittyy keskeisesti se, millaisin perustein päästöoikeuksia jaetaan järjestelmään osallistuville tahoille. Yleisesti ottaen päästöoikeuksia voidaan jakaa ilmaiseksi (*grandfathering* tai *benchmarking* -periaatteet) tai huutokauppaamalla päästöoikeudet kuormittajille. Koska päästöoikeuksien alkujako ei muuta päästökattoa (m^* kuvassa 1), sillä ei ole vaikutusta markkinatasapainoon, päästöihin tai hintaan. Alkujaolla on kuitenkin merkittäviä tulonjakovaikutuksia: jakamalla ilmaisia päästöoikeuksia valtio menettää huutokauppatuloja, joita se voisi käyttää julkisten menojen kattamiseen tai polttoaineen hinnasta aiheutuneiden kulujen kompensointiin. Antelias alkujako voi luoda polttoaineen jakelijoille ylisuuria voittoja, jos ne hyötyvät sekä ilmaisista oikeuksista että polttoaineen korkeammasta hinnasta (p kuvassa 1).

Liikenteen päällekkäinen päästöohjaus. Tieliikenteen päästöjen hinnoittelun lisäksi päästöjä pyritään alentamaan myös muulla sääntelyllä, kuten polttoaineverolla, uusiutuvien polttoaineiden jakeluvalvoiteella, uusille ajoneuvoille määritellyillä päästöstandardeilla, auto- ja ajoneuvoverotuksella, sähköautojen

hankintatuilla sekä liikenteen infratuella.³ Nämä luovat päästökaupan kanssa päällekkäisen ohjausjärjestelmän ja vaikuttavat päästökauppajärjestelmään. Jos päästökauppajärjestelmässä asetettu päästökatto m^* on sitova, päällekkäisellä ohjauksella ei ole vaikutusta järjestelmätason päästöihin, mutta ne vähentävät päästöoikeuksien kysyntää ja laskevat oikeuksien hintaa. Euroopan unionin päästökaupan tapauksessa päällekkäinen ohjaus vapauttaa Suomelle kohdennettuja päästöoikeuksia, koska päästöjä vähennetään jo, ja mahdollistaa niiden myymisen ulkomaille. Jos päällekkäinen ohjaus vähentää päästöjä niin paljon, ettei päästökatto enää aiheuta päästövähennystarvetta, painuu päästöoikeuden hinta noltaan ja päästökaupan ohjausvaikutus katoaa.⁴

³ Hiilidioksidivero luo hintasignaalin ja kannustaa päästöjen vähentämiseen (Gerlagh ym. 2018), mutta se ei takaa tietyn päästötavoitteen saavuttamista. Uusiutuvien polttoaineiden jakelunelvoite koskee jakelijoita, mutta sillä on vaikutus myös kuluttajiin korkeamman polttoaineen hinnan kautta (AFRY, 2020). Euroopan unionin yhteiseen liikennepolitiikkaan kuuluvat päästöstandardit kannustavat vain uusien ajoneuvojen kehitystä, kun taas päästökauppa kannustimen myös jo tien päällä olevien autojen omistajille (Paltsev ym. 2015). Korkeampi polttoainetehokkuus voi lisätä ajamista (Small ja Van Dender, 2007), mutta päästökauppa estää tämän niin kutsutun rebound-vaikutuksen (Kampman ym 2008, Mock 2014, Achtnicht ym. 2015). Vähäpäästöisen teknologian tuet tai veroedut, sekä liikenteen infratuet, auttavat korjaamaan verkostovaikutukseen liittyvän ulkoisvaikutuksen, jossa kuluttajat hyötyvät tuotteesta sitä enemmän, mitä useampi kuluttaja käyttää tuotetta (Greaker ja Midttømme 2016 ja Springel 2021), mutta ne eivät yksin pysty tehokkaasti korjaamaan päästöihin liittyvää ulkoisvaikutusta.

⁴ World Bankin ja International Carbon Action Partnershipin (2021) raportissa sen sijaan todetaan, että voisi olla suotavaa korvata polttoainevero liikenteen päästökaupalla. Myös Pohjoismaiden näkökulmaan keskittyvä Nordenin (2015) raportti huomauttaa, että Pohjoismaissa käytössä olevat korkeat polttoaineerot voivat vaikuttaa päästökaupasta syntyvään hintasignaaliin ja näin ollen jopa vähentää kustannustehokkuutta. Vollebergh ym. (2020) arvioivat, että mikäli päästökauppa korvaisi olemassa olevat polttoaineerot, olisi todennäköistä, että polttoaineen hinta laskisi, mikäli päästöoikeuden hinta olisi matalampi kuin tämänhetkiset polttoaineerot.

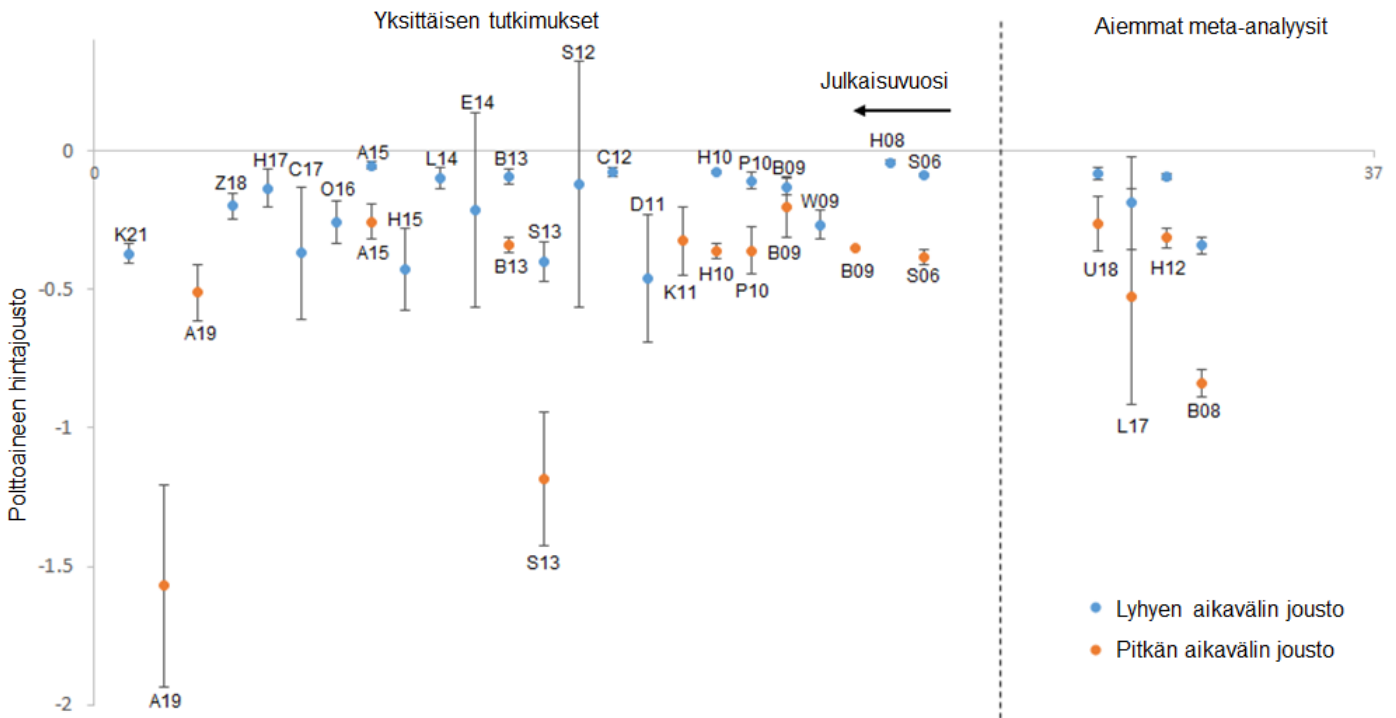
3. LIIKENTEEN PÄÄSTÖKAUPAN KÄYTTÄYTYMISVAIKUTUSTEN TUTKIMINEN: HINTAJOUSTOT

Liikenteen päästökauppa vähentää liikenteen päästöt halutulle tasolle, sillä päästöoikeuksia myönnetään rajoitettu määrä. Yhteiskunnan kannalta keskeinen kysymys on, kuinka suureksi vaikutus polttoaineen hintaan nousee ja kuka kantaa kustannukset. Näiden vaikutusten arviointi on tähdellistä politiikan hyväksyttävyyden ja yhteiskunnallisen oikeudenmukaisuuden kannalta. Kuten edellä todettu, taloustieteessä sovelletaan laajasti hintajouston käsitettä kuvaamaan, kuinka voimakkaasti kysytty tai tarjottu määrä reagoi hinnan nousuun. Hintajousto tiivistää kertyneen hinta- ja kulutustiedon pohjalta kuluttajien ja tuottajien mahdollisuudet sopeutua kohoavaan hintaan yhdeksi luvuksi. Jouston suuruuteen voidaan myös vaikuttaa pitämällä huolta, että vaihtoehtoja on: esimerkiksi mahdollisuus vaihtaa sähköisiin autoihin tai joukkoliikenteeseen kasvattaa hintajoustoja ja täten lisää ohjaukeinojen vaikuttavuutta jo pienemmällä hinnan nousulla.

3.1 Kysynnän hintajousto

Kysynnän hintajousto mittaa prosentuaalista muutosta hyödykkeen kysytyssä määrässä seurauksena yhden prosentin muutoksesta kyseisen hyödykkeen hinnassa. Hintajouston on käytännössä aina negatiivinen, sillä normaaliolosuhteissa korkeampi hinta johtaa kulutuksen pienenemiseen. Hintajouston arvo -1 tarkoittaa, että hinnan noustessa kysyntä vähenee prosentuaalisesti saman verran. Jos hintajousto on vähemmän kuin -1, kysyntä vähenee prosentuaalisesti vähemmän suhteessa hinnan nousuun ja hyödykkeen kysyntää kutsutaan joustamattomaksi. Jos hintajousto on puolestaan korkeampi kuin -1, kysyntä vähenee prosentuaalisesti enemmän verrattuna hinnan nousuun ja hyödykkeen kysyntä on joustavaa.

Hintajoustoja tutkiessa on tärkeää ottaa huomioon tarkasteltava aikaväli. Etenkin lyhyellä aikavälillä polttoaineen hintajousto on matala, sillä kuluttajat voivat muuttaa käytöstään vain rajallisesti polttoaineen hinnan noustessa esimerkiksi vähentämällä ylimääräisiä automatkoja (Knittel, 2013). Tämä on seurausta siitä, että monille kuluttajille liikennepolttoaineet ovat välttämätön hyödyke. Pidemmällä aikavälillä polttoaineen kysyntä on kuitenkin joustavampaa, sillä kuluttajat kykenevät reagoimaan polttoaineen hinnan muutokseen korvaamalla ajoneuvonsa vähäpäästöisemmällä vaihtoehdoilla tai joissain tapauksissa jopa luopumalla autosta kokonaan tai muuttamalla lähemmäs työpaikkaa. Pitkällä aikavälillä voidaan myös saavuttaa muutoksia vähäpäästöistä liikennettä tukevassa teknologiassa. Kuvassa 2 havainnollistetaan empiirisen taloustieteen tutkimuksia, jossa on arvioitu pitkän ja lyhyen aikavälin hintajoustoja. Kuva pohjautuu liitteessä 2 koottuun taulukkoon aiemmasta kirjallisuudesta. Kirjallisuuden arviot lyhyen aikavälin hintajoudesta (siniset merkit) vaihtelevat välillä -0,041 ja -0,427 eli lyhyellä aikavälillä kysyntä on pääosin melko joustamatonta. Pitkän aikavälin estimoidut hintajoustot (oranssit merkit) ovat välillä -0,118 ja -1,570. Pitkän aikavälin kysyntä on joustavampaa kuin lyhyellä aikavälillä, mutta kirjallisuudessa esitettyjen tulosten epävarmuus on myös suurempi.



Kuva 2. Kirjallisuuden arviot polttoaineen kysynnän hintajoustoista.

Kukin piste kuvastaa yksittäisen tutkimuksen lyhyen (sininen) ja pitkän aikavälin (oranssi) piste-estimaattia ja keskivirhettä. Uusimmat julkaisut ovat kuvassa vasemmalla. Aiemmat meta-analyysit on kuvattu erikseen kuvan oikeassa reunassa. Lyhenteet kirjoittajan sukunimen alkukirjaimen mukaan. Lähteet on kuvattu liitteessä 2.

Meta-analyysin perusteella lyhyen aikavälin painotetuksi keskiarvoksi saatiin -0,161. Pitkän aikavälin keskiarvoksi laskettiin -0,448. Hintajousto on matala lyhyellä aikavälillä, koska autoilijat reagoivat lähinnä ajamalla vähemmän, mutta korkeampi pitkällä aikavälillä, jolloin autoilijat esimerkiksi investoivat vähäpäästöisempiin ajoneuvoihin. Tässä raportissa ei keskitytä vain keskiarvojoustoihin, vaan pyritään myös kuvaamaan joustoihin liittyvää epävarmuutta siten, että mallia ajetaan kunkin tutkimuksen piste-estimaatilla (kuvan 2 pisteet), ja mallin tulokset täten kuvaavat päästökaupan vaikutusten epävarmuutta.⁵

Meta-analyysin arviot ovat todennäköisesti ala-arvioita joustoille kahdesta syystä. Ensinnäkin useimmat tutkimukset käyttävät öljyn hinnasta johtuvaa vaihtelua polttoaineen hinnassa jouston estimointiin. Veromuutoksia käyttävät tutkimukset tuottavat hieman korkeampia joustoja kuin hintamuutoksia käyttävät, viitaten siihen, että kuluttajat reagoivat voimakkaammin veron aiheuttamiin hintamuutoksiin, jolloin polttoaineverosta tai päästökaupasta johtuva polttoaineen hinnannousu voi aiheuttaa suuremman

⁵ Toinen mallinnusvaihtoehto olisi ollut käyttää meta-analyysin tuottamia keskivirheitä, olettaen että on olemassa yksi "oikea" hintajousto, jota eri tutkimuksissa estimoidaan. Tämä lähestymistapa olisi todennäköisesti aliarvioinut oikeaa epävarmuutta johtuen siitä, että hintajousto voi olla hyvin erilainen eri otoksissa, eli eri maissa ja eri ajanjaksoilla.

vaikutuksen kuluttajien käyttäytymisessä.⁶ Lisäksi historialliset tutkimukset todennäköisesti aliarvioivat jouston, sillä sähkö- ja kaasuautovaihtoehtojen markkinoille tulo on luultavasti tehnyt kysynnästä joustavampaa. Uudemmat tutkimukset tuottavat hieman itseisarvoltaan suurempia joustoja, mikä saattaa viitata vaihtoehtojen käyttövoimien määrän kasvuun. Näin ollen tämän raportin tulokset päästökaupan vaikutuksesta päästöihin ovat todennäköisesti konservatiivisia. Toisaalta pitkän aikavälin hintajousto voi vaikuttaa polttoaineen kuluttajien, etenkin kotitalouksien, lyhytnäköisyys ("consumer myopia" -ilmiö), jonka mukaan kuluttajat aliarvioivat pitkän aikavälin säästöjä ajoneuvon elinkaaren kokonaiskustannuksissa.⁷ Meta-analyysin tarkemmat tulokset on taulukoitu liitteessä 3.

3.2 Tarjonnan hintajousto

Polttoaineiden tarjonnan hintajousto tarjotun määrän prosenttikasvua suhteessa hinnan prosenttikasvuun. Sitä ei ole tutkittu yhtä laajasti kuin kysynnän hintajousto. Kirjallisuudessa on kuitenkin muutamia arvioita myös tarjonnan hintajoustoille. Polttoaineen tarjonnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä liikennepolttoaineiden myyntiä, ei öljyntuotantoa tai öljyn jalostusta. Austin ja Dinan (2005) olettavat polttoaineen tarjonnan hintajoustoksi jopa 2.0 pitkällä aikavälillä. Tämä on kuitenkin vain kirjoittajien aiemman kirjallisuuden pohjalta oletettava arvo. Coyle ym. (2012) puolestaan analysoivat polttoaineen tarjonnan hintajoustoja lyhyellä aikavälillä. Tutkimuksessa tarjonnan hintajoustoksi arvioitiin 0,29 ja kysynnän hintajoustoksi -0,07. Nämä tulokset viittaisivat siihen, että tarjonnan hintajousto on noin neljä kertaa joustavampaa kuin kysynnän hintajousto ja lisäksi matalampi lyhyellä aikavälillä kuin pitkällä aikavälillä.

Tässä raportissa hintajoustoja haarakoidaan yhdistämällä arvioita polttoaineeveron läpimenoarvosta ja kysynnän hintajoustoista. Harju ym. (2022) arvioivat Suomen kontekstiin kohdistuvassa tutkimuksessaan polttoaineeveron läpimenoarvoa ja keskiarvoksi kirjoittajat saivat noin 80 prosenttia. Läpimenoarvoa voidaan hyödyntää tarjonnan hintajousto arvioimisessa. Esimerkiksi läpimenoarvon keskiarvon 80 pohjalta kysynnän hintajousto ollessa -0,448 olisi tarjonnan hintajousto noin 1,790.⁸ Tämä tulos on yhdenmukainen Coyle ym. (2012) kanssa, sillä tarjonta olisi noin neljä kertaa kysyntää joustavampaa.

⁶ Esimerkiksi Li ym. (2014) havaitsivat, että kuluttajat reagoivat polttoaineen hinnan verokomponenttiin muuta vaihtelua voimakkaammin. Samanlaisen tulokseen päätyi myös Andersson (2019), joka mukaan polttoaineeveron jousto oli ruotsalaisella aineistolla jopa 3,1–,5 kertaa korkeampi kuin polttoaineen hintajousto. Myös Davis ja Kilian (2011) sekä Rivers ja Schaufele (2015) ovat löytäneet tutkimuksissaan arvioita korkeammasta polttoaineeveron joustosta suhteessa polttoaineen hinnan joustoon. Mahdollisia syitä näihin löydöksiin on, että veromuutoksia pidetään pysyvämpinä tai vähemmän riskipitoisina kuin hetkellisiä hintavaihteluita. On myös mahdollista, että kuluttajat vähentävät päästöjä voimakkaammin, jos tietävät sen olevan myös valtion verottamisen tavoite (Rasul ym. 2012).

⁷ Tutkimuskirjallisuus on yksimielinen siitä, että polttoaineen kuluttajat ottavat polttoaineen hinnan jollain tavoin huomioon päätöksissään. Sen sijaan yhteisymmärrystä ei ole siitä, ottavatko kuluttajat kokonaiskustannukset huomioon täysin. Gillinghamin ym. (2019) mukaan kuluttajat kokevat yhden dollarin nousun polttoaineen hinnassa ja 15–38 sentin nousun ajoneuvon hinnassa yhdentekevänä. Faberin ym. (2014) raportissa arvioidaan, että kuluttajat usein harkitsevat polttoaineen kulutuksen kustannuksia vain seuraavien 3–5 vuoden päähän. Busse ym. (2013) löysivät vain vähän todisteita siitä, että kuluttajat aliarvioivat polttoaineen hintoja tulevaisuudessa. Mikäli lyhytnäköisyys arvioidaan merkittäväksi ongelmaksi, päästökaupan lisäksi olisi syytä käyttää muita säädöksiä, kuten polttoainestandardeja tai sähköautojen suorita tukia.

⁸ Läpimenoarvo voidaan laskea joustoista kaavalla $1,790 / (1,790 + 0,448) = 0,8$.

4. PÄÄSTÖKAUPAN MALLINNUS: RAKENNE

Liikenteen päästökaupan suunnittelussa tulee ottaa kantaa järjestelmän luonteeseen liittyviin kysymyksiin. Pitäisikö päästöoikeuksien ostovelvoite koskea polttoaineen jakelijoita, ajoneuvojen valmistajia vai polttoaineen ostajia? Pitäisikö päästöoikeudet jakaa toimijoille ilmaiseksi vai huutokaupata? Pitäisikö päästökauppa olla yhteinen muiden sektoreiden kanssa, vai kattaisiko se vain tieliikennesektorin? Ja miten päästökauppa voidaan yhdistää EU-tasoiseen sääntelyyn?

Tässä raportissa päästökaupaa mallinnetaan simuloimalla markkinoiden kysynnän ja tarjonnan kehitystä. Tutkittavasta päästökauppajärjestelmässä tehdään seuraavat oletukset: päästökauppa järjestetään upstream-periaatteella, jossa velvoite päästöoikeuksien hankkimiseen koskee polttoaineen jakelijoita; valtio huutokaupaa kaikki päästöoikeudet ja päästökauppa koskee vain tieliikennesektoria. Tutkimme myös eri tapoja yhdistää Suomen kansallinen päästökauppa Euroopan unionin laajuiseen tieliikenteen ja rakennusten erillislämmityksen päästökauppaan (EU ETS 2).

4.1 Sääntelypisteen valinta

Sääntelypiste määrittää, mikä taho on velvollinen osallistumaan päästökauppaan eli hankkimaan ja luovuttamaan päästöoikeuksia. Aiemman kirjallisuuden sekä jo olemassa olevien päästökauppajärjestelmien mukaan liikenteen sääntelypistevaihtoehdot voidaan jakaa kolmeen menetelmään: downstream-, midstream- ja upstream-sääntely.

Downstream-sääntely kohdistuu suoraan saastuttavaan tahoon eli polttoaineen käyttäjiin. Raux ja Marlot (2005), Raux (2011) ja Enzmann ja Ringel (2020) ovat kehittäneet ajatusta tällaisen sääntelyn toteuttamisesta. Toistaiseksi downstream-sääntely liikennesektorilla on otettu käyttöön Pekingin ja Shenzhenin päästökauppajärjestelmissä, jossa se kuitenkin kohdistuu vain julkisen liikenteen ajoneuvoille ja ei näin ollen sisällä yksityisautoilua. Downstream-järjestelmän etuna autoilijat kohtaisivat hiilen hinnan suoremmin (Enzmann ja Ringel 2020) ja päästöoikeusmarkkina olisi likvidimpi (Santos ym. 2010). Käytännössä tällainen järjestelmä olisi kuitenkin monimutkainen sekä teknisesti ja hallinnollisesti vaikea toteuttaa ja transaktiokustannukset olisivat todennäköisesti korkeat (Klooster ja Kampman 2006, Abrell 2010, Winkelmann ym. 2020).

Midstream-sääntely kohdistuu ajoneuvojen valmistajiin, jotka olisivat velvollisia luovuttamaan päästöoikeuksia esimerkiksi myytyjen ajoneuvojen elinkaarten arvioitujen päästöjen perusteella. Näin midstream-sääntely luo kannustimia innovaatiolle ja kannustaisi autoteollisuutta osallistumaan polttoainetehokkaampien ajoneuvojen kehittämiseen (Santos ym. 2010).⁹ Koska sääntelypiste ei olisi varsinaisesti polttoaineen jakeluketjun varrella, sillä ei olisi suoraa vaikutusta ajoneuvojen elinkaaripäästöihin. Valmistajat eivät voi vaikuttaa siihen, miten paljon ajoneuvoilla ajetaan. Näin ollen midstream-sääntely ei olisi tehokas tapa vähentää liikenteen päästöjä (Winkelmann ym. 2000, Gibbs ja Retallack 2006).

Tässä mallinnuksessa keskitytään upstream-sääntelyyn, jossa sääntelypiste on jakeluketjun alkupäässä. Päästökaupan hintasignaali kulkeutuu kuluttajille, kun jakelijat siirtävät päästöoikeuksien kustannukset osin

⁹ EU:ssa on käytössä järjestelmä, joka muistuttaa midstream-sääntelyä. Jos valmistajan (tai usean valmistajan ryhmittymän) autokannan keskimääräiset hiilidioksidipäästöt ylittävät ennalta säädetyn raja-arvon, valmistaja joutuu maksamaan preemion 95 euroa per g/km raja-arvon ylityksestä jokaisesta rekisteröidystä autosta (Euroopan komissio, 2022).

polttoaineen hintaan kuvan 1 mukaisesti. Achtnicht ym. (2015), Paltsev ym. (2015) sekä Gibbs ja Retallack (2006) huomauttavat, että Euroopan unionin maissa polttoaineita verotetaan jo nyt polttoaineiden jakelijoiden tasolla. Koska polttoaineiden myyntiä seurataan verotuksen takia, näitä rekistereitä voitaisiin hyödyntää päästöjen seuraamisessa ja päästöoikeuksien jakamisen suunnittelussa myös liikenteen päästökaupassa.

4.2 Päästöoikeuksien alkujako

Päästökauppajärjestelmän suunnitteluun liittyy keskeisesti se, millaisin perustein päästöoikeuksia jaetaan järjestelmään osallistuville tahoille. Yleisesti ottaen päästöoikeuksia voidaan jakaa ilmaiseksi (grandfathering- tai benchmarking -menetelmillä) tai myydä huutokaupalla. On myös mahdollista käyttää useita menetelmiä samanaikaisesti esimerkiksi niin, että tietty prosentuaalinen osuus päästöoikeuksista jaetaan ilmaiseksi ja loput myydään huutokaupalla. Olemassa olevat liikennesektorin sisältävät päästökaupat sisältävät esimerkkejä kaikista edellä mainituista menetelmistä jakaa päästöoikeuksia.

Grandfathering- ja benchmarking-menetelmissä päästöoikeuksia jaetaan ilmaiseksi. ”Grandfathering”-menetelmässä jakaminen perustuu säänneltävien tahojen historiallisiin päästöihin. ”Benchmarking”-menetelmässä jakaminen puolestaan määrittellään tietyn rajan, esimerkiksi sektorin päästöjen perusteella. Varomaton ilmaisjako voi kuitenkin kumota päästökaupan kustannustehokkuudesta saatavia hyötyjä. Esimerkiksi jos ilmaisia päästöoikeuksia jaetaan suhteessa myytyyn polttoaineen määrään, se luo eräänlaisen tuotantotuen liikennesektorille, ja voi näin ollen madaltaa kannustinta päästövähennyksille (Knittel 2013, Achtnicht ym. 2015).

Seuraavassa oletetaan, että päästökauppaan osallistuvat tahot ovat velvollisia ostamaan kaikki tarvittavat päästöoikeudet markkinoilta. Päästöhuutokaupan keskeinen hyöty verrattuna ilmaiseen jakamiseen olisi sen avulla kerättävät julkiset varat (Faber ym. 2014, Achtnicht ym. 2015, Winkelman ym. 2000, Pollit ja Dolphin 2020). Nämä päästöhuutokaupan tuotot voitaisiin käyttää useisiin tarkoituksiin, kuten vähäpäästöiseen liikenteeseen kohdistetun teknologian tukemiseen sekä kotitalouksille aiheutuvien tulonjakovaikutusten korjaamiseen. Tarkempi kompensatiojärjestelmän suunnittelu jää tämän tutkimuksen ulkopuolelle.¹⁰

4.3 Liikennesektorin liittäminen päästökauppaan

Euroopan unionin kontekstissa liikenteen päästökauppa voidaan jakaa kolmeen eri vaihtoehtoon: 1) liikenne luetaan osaksi Euroopan unionin päästökauppajärjestelmää (EU ETS), 2) luodaan osittain erillinen päästökauppa liikenteelle tai 3) luodaan täysin erillinen päästökauppa liikenteelle.

Jos liikennesektorin sisällytetään osaksi muuta päästökauppaa, liikennesektorin toimijat kohtaisivat saman päästökaton ja päästöoikeuden hinnan kuin muut päästökauppaan kuuluvat sektorit. Lisäksi liikennesektorin voisi käydä kauppaa päästöoikeuksista muiden sektoreiden kanssa ostamalla tai myymällä ylimääräisiä

¹⁰ Kompensointijärjestelmän tulisi säilyttää kannustimet päästöjen vähentämiseen, joten kompensatio ei voi perustua todellisiin kustannuksiin eikä toteutuneisiin ajokilometreihin. Tämän vuoksi täydellistä kompensatiojärjestelmää ei ole, vaan päästökaupalla on väistämättä tulonjakovaikutuksia. Polttoaineen hinnannousun tulonjakovaikutusta ja kompensointijärjestelmää on tarkasteltu Suomessa (ks. Ahonen ym. 2020, Palanne ja Sahari, 2021). Euroopan Unionin laajuisella päästökaupalla olisi tulonjakovaikutuksia myös jäsenvaltioiden välillä (ks. Edenhofer ym. 2021, Graichen ym. 2021). Quebecin, Nova Scotian ja Kalifornian järjestelmissä on olemassa rahastot, jonne päästöhuutokauppojen tuotot ohjataan. Kalifornian päästöhuutokaupan rahastossa, Greenhouse Gas Reduction Fundissa, on määritely, että vähintään 35 prosenttia tuotoista ohjataan vähäosaisten yhteisöjen tukemiseen. Nova Scotian rahaston, Green Fundin, tuotot ohjataan osittain päästökaupasta aiheutuvien taloudellisten vaikutusten korjaamiseen. Lisäksi osa Saksan suunnitellun päästöhuutokaupan tuotoista tullaan tulevaisuudessa ohjaamaan tulonjakovaikutusten korjaamiseen.

päästöoikeuksia jälkimarkkinoilla. Saksaa lukuun ottamatta muissa tämänhetkisissä päästökauppajärjestelmissä liikennesektori on osana yhteistä päästökauppajärjestelmää muiden sektoreiden kanssa. Järjestelmä ohjaisi päästövähennykset sinne, missä ne ovat halvinta toteuttaa, ja johtaisi kustannustehokkuuteen koko unionin tasolla (Achnicht ym. 2015). Liikenteen sisällyttäminen yhteiseen järjestelmään ei kuitenkaan takaa sitä, että päästövähennyksiä tapahtuisi juuri liikennesektorilla. Tämä voi muodostua ongelmaksi maakohtaisten kansallisesti asetettujen liikennesektorin päästötavoitteiden saavuttamiselle. Päästövähennystoimien kustannukset ovat todennäköisesti korkeammat liikennesektorilla suhteessa muihin sektoreihin (Blom ym. 2007). Näin ollen liikennesektorin toimijat todennäköisesti ostavat päästöoikeuksia markkinoilta päästövähennysten sijaan (Klooster ja Kampman 2006, Heinrichs ym. 2014). Vaikutukset päästöoikeuden hintaan ja kokonaispäästöihin riippuvat olennaisesti siitä, luodaanko yhdistämisen yhteydessä uusia päästöoikeuksia enemmän vai vähemmän kuin liikennesektori vaatii.

Tieliikenteen päästökauppajärjestelmä voitaisiin muodostaa osittain erillisenä päästökauppana (Graichen ym. 2021, Paltsev ym. 2015, Achnicht ym. 2015). Esimerkiksi Euroopan sisäinen lentoliikenne sisällytettiin unionin päästökauppajärjestelmään vuodesta 2012 niin kutsutulla gateway-menetelmällä, jossa lentoliikenne voi ostaa päästöoikeuksia muilta Euroopan unionin päästökaupan sektoreilta, mutta muut sektorit eivät voineet ostaa päästöoikeuksia lentoliikennesektorilta. Näin ollen järjestelmien välillä oli yksisuuntainen yhteys. Tämä menetelmä eristäisi muun päästökaupan mahdolliselta matalalta päästöoikeuden hinnalta, jos päästöoikeuden hinta liikennesektorilla laskisi verrattuna muuhun päästökauppaan, ja se voi toimia ensimmäisenä vaiheena, jos liikennesektori liitetään yleiseen päästökauppaan (Achnicht ym. 2015).

Tässä raportissa keskistytään liikenteen erilliseen päästökauppaan, jossa päästökatto koskisi vain liikennesektoria ja kaupankäynti tapahtuisi ainoastaan liikennesektorin toimijoiden välillä. Tämä keino varmistaisi Suomen liikenteen ja taakanjakosektorin vähennystavoitteiden toteutumisen (Holmgren ym., 2006, Liski ym. 2019). Lisäksi erillinen päästökauppa eristäisi muut Euroopan unionin laajempaan päästökauppaan kuuluvat sektorit mahdollisista päästöoikeuksien korkeammasta kysynnästä aiheutuvista vaikutuksista päästöoikeuden hintaan (Graichen ym., 2021).

4.4. Päästökauppajärjestelmien yhdistäminen

Euroopan komissio on esittänyt erillistä EU-tason päästökauppajärjestelmää tieliikenteelle ja rakennusten erillislämmitykselle. EU-tason tieliikenteen päästökauppa ei kuitenkaan sulje pois kansallisen päästökaupan mahdollisuutta, sillä kansallisella politiikalla voidaan pyrkiä myös EU-tason ohjausta tiukempaan sääntelyyn kansallisten tavoitteiden ja velvoitteiden saavuttamiseksi. Böhringer ja Fischer (2020) tutkivat kolmea tapaa yhdistää kansallinen ja ylikansallinen päästökauppa: rinnakkainen päästöjen hinnoittelu, päästöoikeuksien mitätöinti ja päällekkäinen järjestelmä. Rinnakkaisessa järjestelmässä luodaan kansallinen päästöjen hinta, joka kattaa tavoitehinnan ja EU:n päästöoikeuksien erotuksen. Hieman vastaava on malli, jossa Suomeen tuoduille päästöoikeuksille asetetaan kiintiö, joka muodostaa niille korkeamman hinnan (Liski ja Vehviläinen, 2022). Rinnakkaisen järjestelmän avulla voidaan kontrolloida jäsenvaltion omia päästöjä, mutta se vähentää EU-tason päästöoikeuksien kysyntää ja kasvattaa päästöjä muissa maissa niin kutsutun vesisänkyvaikutuksen kautta (Rosendahl 2019). Suomi voi varmistaa kansallisen päästökaupan täysimääräisen vaikutuksen EU:n tasolla kumoamalla vastaavan määrän unionin yhteisiä päästöoikeuksia. Toinen vaihtoehto päästökauppojen yhdistämiselle on päällekkäinen järjestelmä, joka velvoittaa jäsenmaan omia toimijoita ylikompensoimaan päästönsä, eli ostamaan useamman päästöoikeuden jokaista päästötonnia kohti. Tämä järjestelmä kasvattaa EU:n päästöoikeuksien kysyntää eikä siten aiheuta vesisänkyvaikutusta. Päällekkäinen järjestelmä ei ole kuitenkaan tehokas keräämään julkisia varoja nimenomaan toimeenpanevalla jäsenmaalla, sillä päästöoikeudet ostetaan EU-järjestelmän kautta ja osin muilta jäsenvaltioilta. Päällekkäisen järjestelmän toimeenpanossa täytyy varmistaa, että se on direktiivin mukaan mahdollinen.

5. PÄÄSTÖKAUPAN MALLINNUS: PARAMETRIT JA OLETUKSET

Tässä luvussa rakennetaan yksinkertainen ja läpinäkyvä päästökaupamalli, jolla voidaan kuvata päästöjen hinnoittelun ja päästöjen välistä yhteyttä.

5.1 Taustaoletukset

Meta-analyysistä löydettyjen hintajoustojen arvioiden avulla on mahdollista mallintaa liikenteen päästökauppaa Suomen kontekstissa ja arvioida päästökaupan sääntelystä aiheutuvaa polttoaineen hinnan nousua. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää niin kutsuttua vakiojoustoista kysyntäkäyrää, jossa jousto pysyy samana kysyntäkäyrän jokaisessa pisteessä riippumatta kulutuksen määrästä. Kysynnän taso kalibroidaan niin, että se kuvaa alkuhetkellä vuoden 2019 tasoa: Autoalan tiedotuskeskuksen tilastojen mukaan polttoaineen hinnan keskiarvo oli noin 1,516 € litralta vuonna 2019.¹¹

Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien mukaan vuonna 2019 tieliikenteestä aiheutuvat päästöt olivat 10,45 megatonnia. Kysyntäkäyrän kaava ja sen muuttujat on kuvattu tarkemmin liitteessä 4. Polttoaineen hinnannousun avulla voidaan arvioida markkinoille muodostuvaa päästöoikeuden hintaa ja muutokset verokertymässä. Mallinnuksessa tutkitaan vain päästökaupan vaikutusta polttoaineen hintoihin, joka tulee muiden toimien, kuten biopolttoaineen tai biokaasun jakeluvaihtoehdon noston, vaikutusten lisäksi.

Suomen tavoite puolittaa liikenteen päästöt vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä tarkoittaa, että liikenteen päästömäärä saisi olla korkeintaan 6,25 megatonnia vuonna 2030. Liikenne- ja viestintäministeriön syyskuussa 2021 julkaiseman arvion mukaan päästövähennystavoitteesta on saavutettu jo 1,6 megatonnia. Lisäksi jo olemassa olevilla toimenpiteillä saavutettaisiin arviolta noin 3,4 megatonnin vähennykset. Päästökauppaskenaarioita tarkastellaan olettaen, että muut liikenteen ohjauskeinot, kuten verot ja biopolttoaineiden sekoitevelvoite, ovat voimassa tehtyjen päätösten mukaisesti. Verot säilyvät ennallaan tarkasteluperiodin ajan, mutta sekoitevelvoite kasvaa ja nostaa polttoaineiden hintaa, johon päästökauppa tuo lisänsä. Kansallisen liikenteenpäästökaupan päästökatoiksi asetetaan 0,6 megatonnia.

Analyysissä polttoaineen kysyntänä käytettiin isoelastista funktiota, (ks. liite 4), jonka hintajousto on vakio kaikilla hinnan tasoilla. Meta-analyysin tulosten pohjalta lyhyen aikavälin keskimääräinen hintajousto on -0,161 ja pitkän aikavälin keskimääräinen hintajousto on -0,448. Lyhyen aikavälin hintajouston oletettiin kattavan noin yhden vuoden ja pitkän hintajouston ajaksi oletettiin kymmenen vuotta. Analyysissä oletetaan, että hintajousto muuttuu joustavammaksi lineaarisesti vuosittain, jolloin hintajouston itseisarvo kasvaa siten että hintajousto saavuttaa pitkän aikavälin arvon vuonna 2030. Päästökaupan analyysissä vuosittaiset päästövähennykset oletetaan laskevan lineaarisesti vuoden 2019 tasosta, 10,45 megatonnia, aina vuoden 2030 tavoitetasoon, 6,25 megatonnia. Hintajouston avulla tälle lineaariselle päästövähennykselle voidaan laskea vuosittainen hintapolku. Hintajoustolla on merkittävä rooli siinä, miten paljon päästökato vaikuttaa polttoaineen hintaan.

Hintajouston epävarmuus otetaan huomioon analyysissä Monte Carlo -simulaation avulla. Tällöin mallia ajetaan tekemällä useita toistoja, joissa sekä pitkän että lyhyen aikavälin hintajousto vaihtelee satunnaisesti aiempien tutkimusten tulosten antamien piste-estimaattien mukaisesti. Tutkimuksissa, joissa joko pitkän tai

¹¹ Analyysiä tehtäessä tuoreimmat tilastot sekä polttoaineen vuosittaisesta hinnan keskiarvosta että tieliikenteen kasvihuonepäästöistä löytyivät vuodelta 2019 ja näin ollen kyseistä vuotta käytetään lähtötasona analyysissä. Vuodet 2020–2022 olivat koronaviruspandemian ja Ukrainan sodan vuoksi poikkeuksellisia, eivätkä todennäköisesti kuvaa edustavasti pandemia-ajan jälkeistä kehitystä.

lyhyen aikavälin hintajoustoa ei arvioitu käytettiin näiden välistä keskiarvoista suhdetta, 2,67. Malliajojen antamien tulosten hajonnasta voidaan päätellä, miten suurta epävarmuutta markkinavaikutusten arviointi pitää sisällään. Liitteessä 5 on kuvailtu tarkemmin, kuinka Monte Carlo -analyysi toteutettiin. Analyysissä käsitellään ”edustavaa polttoainetta”, eli bensiini ja diesel yhdistetään olettaen, että niiden suhteelliset osuudet pysyvät muuttumattomina. Hinnat muunnettiin yksikköön €/tCO₂ olettaen, että yksi litra edustavaa polttoainetta sisältää noin 2,1 kilogrammaa hiilidioksidia (Tilastokeskus, 2022). Päästöoikeuden hinnat laskettiin olettamalla, että polttoaineen hinnan läpimenoarvo on vakio ja Harjun ym. (2022) tutkimuksen keskiarvon perusteella 80 prosenttia.

Vuosittaista verokertymää laskettaessa otettiin huomioon muutos Suomen omien päästöoikeuksien myynnistä, ja veropohjan kaventumisen vaikutus polttoaineen verotukseen (energiasisältövero, hiilidioksidivero ja huoltovarmuusmaksu), joka on bensiinille 72,6 senttiä/litra ja dieselille 55,1 senttiä/litra eli painotettuna keskiarvona 61,3 senttiä/litra (LVM, 2022). Analyysissä huomioitiin myös arvonlisävero, mutta ei muuta verotusta kuten sähkövero. Myöskään Euroopan unionin päästöoikeuksien myyntituloja ei huomioitu, sillä on toistaiseksi epäselvää, miten ne jyvittyvät jäsenmaiden ja mahdollisen sosiaalisen ilmastorahaston kesken.

Skenaariot päästökaupan vaihtoehtoisiksi arkkitehtuureiksi kuvataan alla. Työssä tarkasteltiin kahta skenaariota, jossa Euroopan unionin päästökauppa ei toteudu (Skenaariot 1 ja 2), ja kolmea skenaariota, jossa EU:n päästökauppa toteutuu (Skenaariot 3 ja 4). Skenaariot ovat:

Skenaario 1: Kansallinen päästökauppamalli: lineaarinen vähennys

Suomi ottaa kansallisen päästökaupan käyttöön pikimmiten, siten että päästökatto sitoo vuodesta 2023 alkaen ja vähenee lineaarisesti niin, että 0,6 Mt CO₂ vähennys saavutetaan vuonna 2030. Euroopan unionin päästökauppaa ei oteta käyttöön.

Skenaario 2: Kansallinen päästökauppamalli: viivästetty käyttöönotto (”perälauta”)

Suomi jatkaa kansallisen päästökaupan valmistelua ja ottaa sen käyttöön vuonna 2026. Euroopan unionin päästökauppaa ei oteta käyttöön.

Skenaario 3: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2), ei kansallista päästökauppaa

Suomi ei jatka kansallisen päästökaupan valmistelua, vaan luottaa Euroopan unionin päästökauppaan. EU:n päästökauppa tulee voimaan vuonna 2026 ja luo päästöille hinnan 50 €/tCO₂.

Skenaario 4: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2) ja rinnakkainen päästökauppa

EU:n päästökauppa tulee voimaan vuonna 2026 ja luo päästöille hinnan 50 €/tCO₂. Tämän lisäksi Suomi ottaa kansallisen päästökaupan käyttöön rinnakkaisena järjestelmänä.

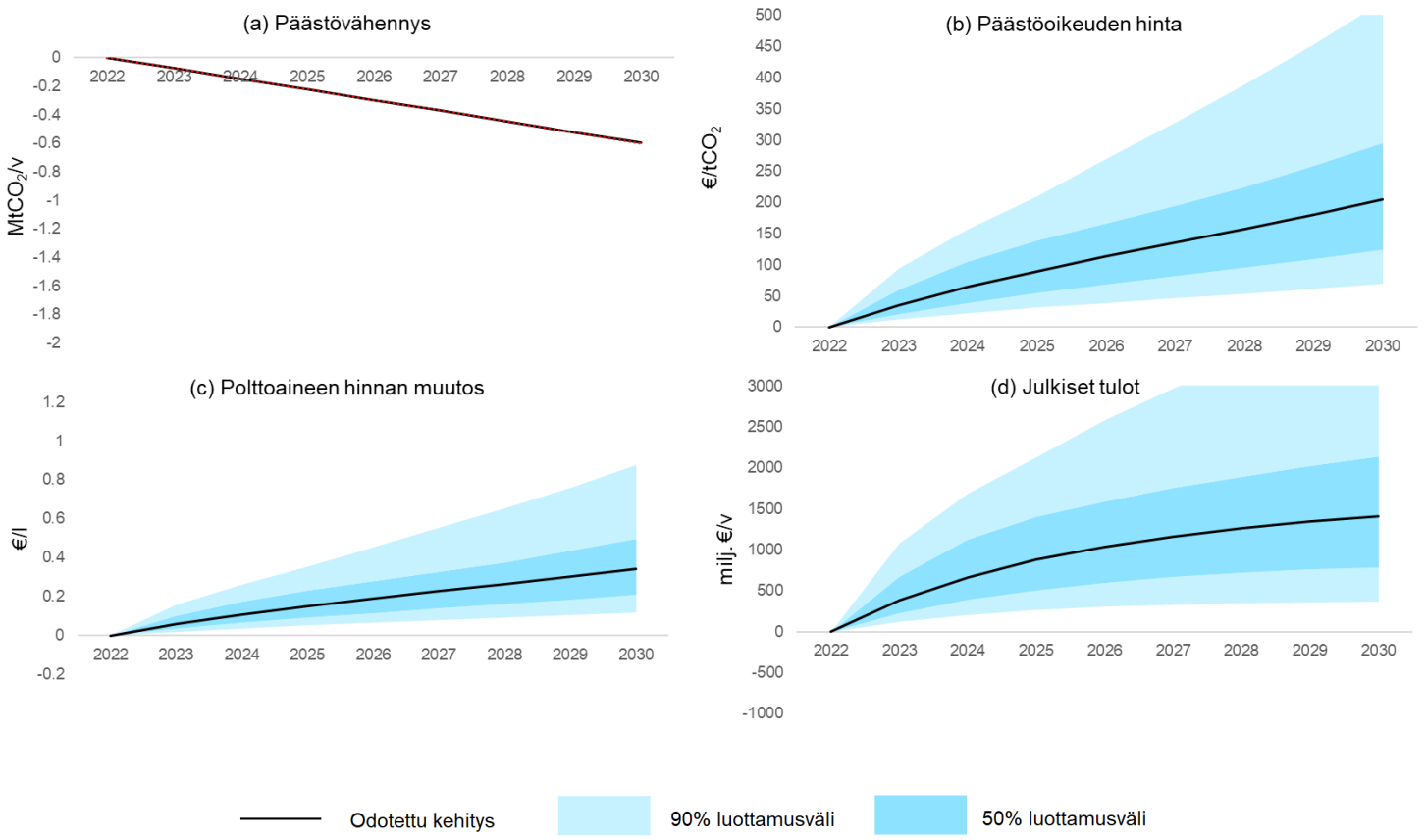
Skenaario 5: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2) ja päällekkäinen päästökauppa

EU:n päästökauppa tulee voimaan vuonna 2026 ja luo päästöille hinnan 50 €/tCO₂. Tämän lisäksi Suomi ottaa kansallisen päästökaupan käyttöön päällekkäisen järjestelmänä.

6. PÄÄSTÖKAUPAN TOTEUTTAMISSKENAARIOT

Skenaario 1: Kansallinen päästökaupparamalli: Lineaarinen vähennys yli kauppakauden

Ensimmäisessä skenaariossa Suomi ottaa kansallisen päästökaupan käyttöön siten, että päästökatto on voimassa vuodesta 2023 alkaen, ja tiukkenee lineaarisesti niin, että päästökaupalle jyvitetty tavoite $-0,6$ Mt CO_2 täyttyy vuoteen 2030 mennessä (kuva 3a). Kun päästökatto on sitova ja oikeuksia jaetaan markkinoille ennalta päätetty määrä, ei päästötavoitteen saavuttamiseen liity epävarmuutta. Sitova päästökatto luo päästöoikeusmarkkinoilla positiivisen päästöoikeuden hinnan, joka keskiarvoisen hintajouston tapauksessa saavuttaa hinnan 205 €/t CO_2 vuoteen 2030 mennessä (kuva 3b). Päästöoikeuden hintaan liittyy epävarmuutta, koska polttoaineen kysynnän hintajousto on epävarmaa. Vaihteluväli kuvataan sinisellä alueella odotetun hintakehityksen ympärillä. Päästöoikeuden hinta kasvaa tasaisesti ja asettuu 90 prosentin todennäköisyydellä 70 – 522 €/t CO_2 väliin vuonna 2030. Tämä päästöoikeuden hinta kasvattaa polttoaineen hintaa 12 – 88 senttiä per litra vuonna 2030 (kuva 3c). Päästöoikeuksien huutokauppa kerää 370 – $3\,880$ miljoonaa euroa tuloja valtion budjettiin vuonna 2030, kun vaikutus muiden polttoaineverojen veropohjan kaventumiseen on otettu huomioon (kuva 3d). Työssä käytettyjen hintajousten perusteella Suomi on vielä niin kutsutun Lafferin käyrän huipun vasemmalla puolella, joten veronkorotus suora vaikutus kasvattaa yhä verotuloja enemmän kuin veropohjan kaventuminen syö niitä. Näillä varoilla voidaan kattaa julkisia menoja tai ne voidaan palauttaa kompensatioina takaisin kuluttajille tai kuljetusyrityksille. Julkisiin tuloihin liittyy kuitenkin huomattavaa epävarmuutta. Suuren hintajouston tapauksessa kuluttajat vähentävät polttoaineen käyttöä voimakkaasti hintojen noustessa.



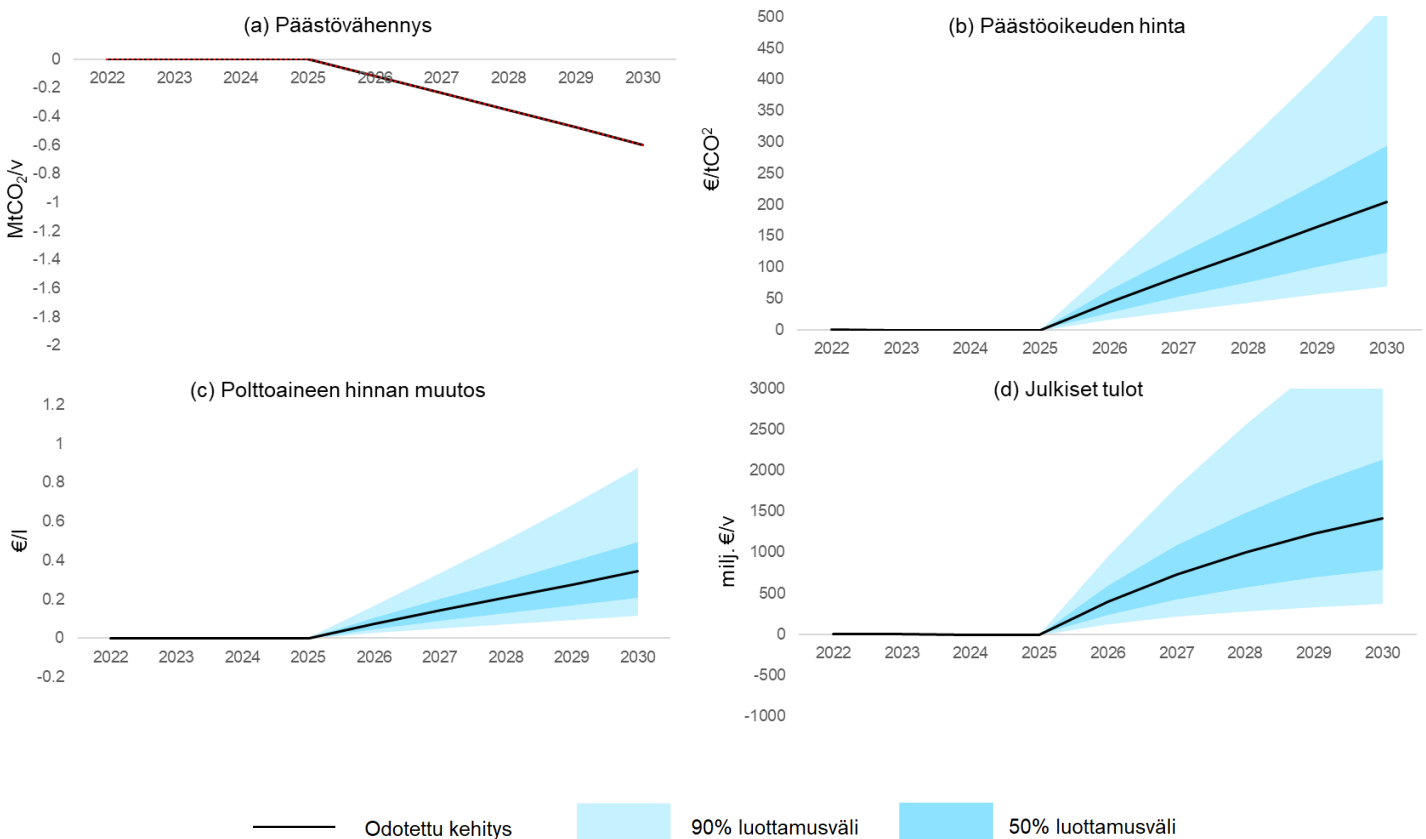
Kuva 3. Kansallinen päästökaupparamalli: Lineaarinen vähennys

Paneeli (a): Odotettu päästövähennys (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (b): Suomen kansallisten päästöoikeuden odotettu hinta (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (c):

Päästökaupan aiheuttama polttoaineen odotettu hinnan muutos (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (d): Päästökaupan odotettu vaikutus julkisiin tuloihin (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Kuva sisältää Suomen kansallisten päästöoikeuksien myyntitulot ja muutokset polttoaineveroissa.

Skenaario 2: Kansallinen päästökaupamalli: Viivästetty käyttöönotto (päästökauppa ”perälautana”)

Suomen kansallinen päästökauppa voidaan ottaa käyttöön myös myöhemmin, jos vaikuttaa siltä, että muut toimet eivät riitä kansallisen tavoitteen saavuttamiseksi. Jos liikenteen päästökauppa tarvitaankin perälautana, on sen kustannusvaikutus alhaisempi, koska vähäpäästöistä käyttövoimaa on jo markkinoilla. Tämä perälautamalli antaa myös työkalun päästöohjaukseen vuoden 2030 jälkeiselle ajalle, jos käyttövoimien kehitys on hidasta. Kuvassa 4 tarkastellaan perälautamallia, jossa sitova päästökatto astuu voimaan vuosille 2026–2030 ja kasvaa lineaarisesti siten, että päästövähennys 0,6 Mt CO₂ saavutetaan vuoteen 2030 mennessä (kuva 4a). Vaikka lopulliseen tavoitteeseen päästään, johtaa tämä malli suurempiin kumulatiivisiin päästöihin kuin Kuvassa 4 esitetty lineaarinen vähennys, sillä ohjausvaikutus vuosille 2023–2025 jää puuttumaan. Samoin kuin aiemmassa skenaariossa, päästöoikeuden hinta kasvaa tasaisesti ja asettuu 90 prosentin todennäköisyydellä 70–522 €/tCO₂ väliin (kuva 4b), ja vaikutus polttoaineen hintaan on 12–88 senttiä per litra (kuva 4c), ja julkiset tulot kasvavat 370–3 880 miljoonalla eurolla vuonna 2030 (kuva 4d).



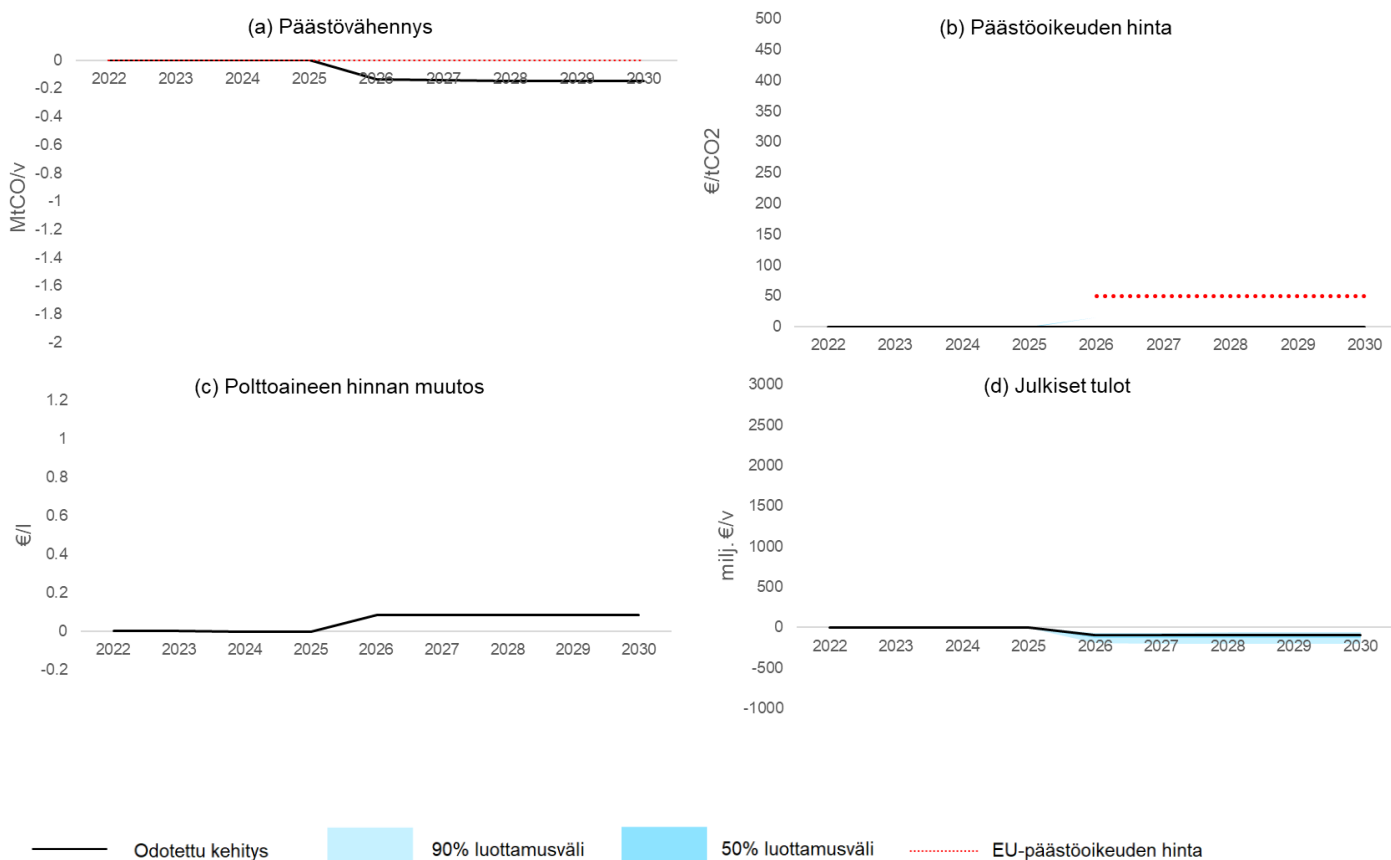
Kuva 4. Kansallinen päästökaupamalli: Viivästetty käyttöönotto

Paneeli (a): Odotettu päästövähennys (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (b): Suomen kansallisten päästöoikeuden odotettu hinta (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (c): Päästökaupan aiheuttama polttoaineen odotettu hinnan muutos (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen

alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (d): Päästökaupan odotettu vaikutus julkisiin tuloihin (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Kuva sisältää Suomen kansallisten päästöoikeuksien myyntitulot ja muutokset polttoaineveroissa.

Skenaario 3: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2), ei kansallista päästökauppaa

Komission ehdotuksen mukaan Euroopan unionin laajuinen liikenteen päästökauppa astuu voimaan vuonna 2026. Koko järjestelmän päästöoikeuden hintaa on vaikea arvioida etukäteen. Tässä tarkastelussa käytämme komission esittämää arviota päästöoikeuden hinnasta, joka on noin 50 €/tCO₂ (Euroopan komissio, 2021b) vuodesta 2026 lähtien. Koska Suomen liikenne muodostaa koko unionin liikenteestä pienen osan, oletetaan tämä hinta Suomen kannalta ulkoapäin annetuksi. Tässä skenaariossa Suomen omaa päästökauppaa ei oteta käyttöön. Tämän johdosta päästövähennys Suomessa on epävarma, ja ne vähenevät unionin päästökaupan ohjausvaikutuksen vuoksi 0,07–0,40 Mt CO₂ odotusarvon ollessa 0,15 Mt CO₂ (kuva 5a). Epävarmuus päästövähennyksessä johtuu siitä, että Suomi kohtaa unionin päästöoikeuden hinnan annettuna, eli vaikka päästökauppa johtaa päästötavoitteeseen koko unionin tasolla, se ei välttämättä johda tavoitteiden saavuttamiseen jokaisessa yksittäisessä jäsenvaltiossa. Kun päästöoikeuden hinta oletetaan vakioiksi, (kuva 5b) myös vaikutus polttoaineen hintaan on vakio (kuva 5c). Unionin päästökauppa vähentää polttoaineen käyttöä ja syö polttoaineverojen tuottoa (kuva 5d), joskin se kasvattaa arvonlisäverokertymää. Mahdolliset EU:n päästöoikeuksien myyntitulot on jätetty tämän kuvan tarkastelun ulkopuolelle.

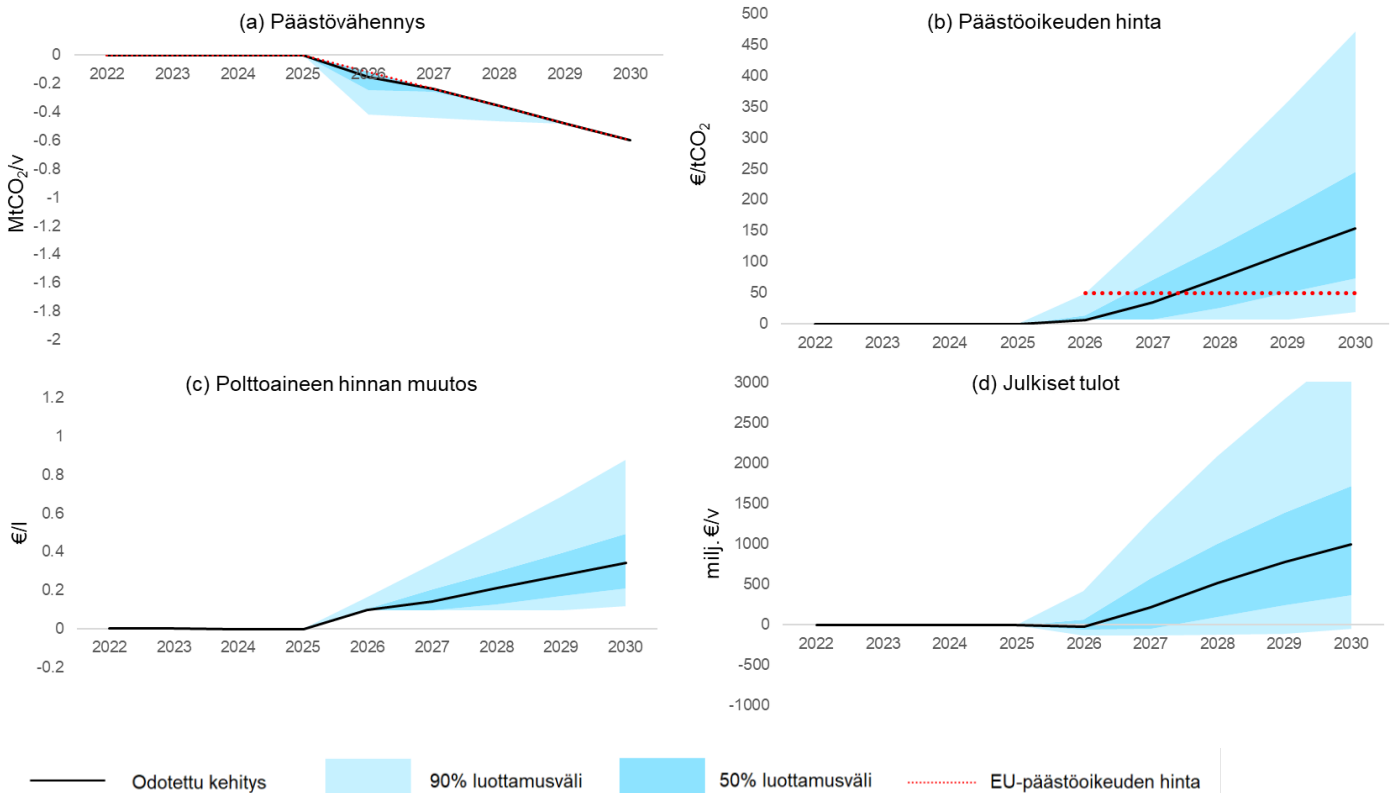


Kuva 5. Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2), ei kansallista päästökauppaa

Paneeli (a): Odotettu päästövähennys (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (b): Suomen kansallisten päästöoikeuden odotettu hinta (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (c): Päästökaupan aiheuttama polttoaineen odotettu hinnan muutos (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (d): Päästökaupan odotettu vaikutus julkisiin tuloihin (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Kuva sisältää Suomen kansallisten päästöoikeuksien myyntitulot ja muutokset polttoaineveroissa.

Skenaario 4: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2) ja rinnakkainen päästökauppa

Suomen kansallinen päästökauppa voidaan järjestää myös rinnakkaisesti Euroopan unionin päästökaupan kanssa. Tässä järjestelyssä jokaista tuotettua päästöä kohden veloitetaan hankkimaan sekä EU:n päästöoikeus, että Suomen oma päästöoikeus. Päästökauppa on "rinnakkainen", koska siinä vaaditaan tietty osuus kansallisia päästöoikeuksia Euroopan unionin veloitteen rinnalla. EU:n oikeuksien hinta määräytyy kansainvälisillä markkinoilla, ja on Suomelle ulkoapäin annettu, tässä tarkastelussa 50 €/tCO₂. Suomen omien oikeuksien hinta määräytyy kansallisilla markkinoilla kysynnän ja tarjonnan mukaan. Suomen päästöoikeuksien tarjonta laskee lineaarisesti ja varmistaa kansallisen päästövähennystavoitteen täyttymisen vuonna 2030 (kuva 6a). EU:n päästöoikeuden täyttävät osan Suomen kansallisesta päästökatoista, ja laskevat Suomen omien oikeuksien kysyntää ja siten päästöoikeuden hintaa (kuva 6b). Suomen kansallisten päästöoikeuksien hinnan arvioidaan olevan 20–471 €/tCO₂ vuonna 2030. Jos Euroopan unionin päästökauppa riittää täyttämään Suomen kansallisen tavoitteen, Suomen oikeuksien hinta painuu nolnaan ja päästöt laskevat alle Suomen kansallisen tavoitteen. Polttoaineen hinnan muutokseen vaikuttaa sekä EU:n että Suomen kansallinen päästökauppa (kuva 6c). EU:n kansallinen päästökauppa luo polttoaineen hinnan muutokselle ikään kuin lattiahinnan, jonka alle hinnan muutos ei voi jäädä. Hintavaikutuksen 90 prosentin luottamusväli on vuodelle 2030 12–88 senttiä. EU:n päästökauppa laskee Suomen veropohjaa, mutta Suomen omien päästöoikeuksien myynnistä kertyy myyntituloja (kuva 6d). Kokonaisvaikutus on todennäköisesti positiivinen, ja arviolta -50 miljoonasta 3 460 miljoonaan vuonna 2030. On kuitenkin huomattava, että Suomen päästökauppa laskee EU-lupien kysyntää, ja osa päästöistä valuu niin kutsutun vesisänkyvaikutuksen johdosta ulkomaille, ellei vastaavaa määrää päästöoikeuksia kumota. Päästöoikeuksien kumoamisen kustannuksia ei ole otettu kuvassa 6 huomioon. Jos Suomi päättäisi kuolettaa oman päästötavoitteensa (0,6 Mt CO₂) vastaavan määrän päästöoikeuksia hintaan 50 €/tCO₂, siitä koituisi noin 30 miljoonaa euroa vuosittain lisäkustannuksina.

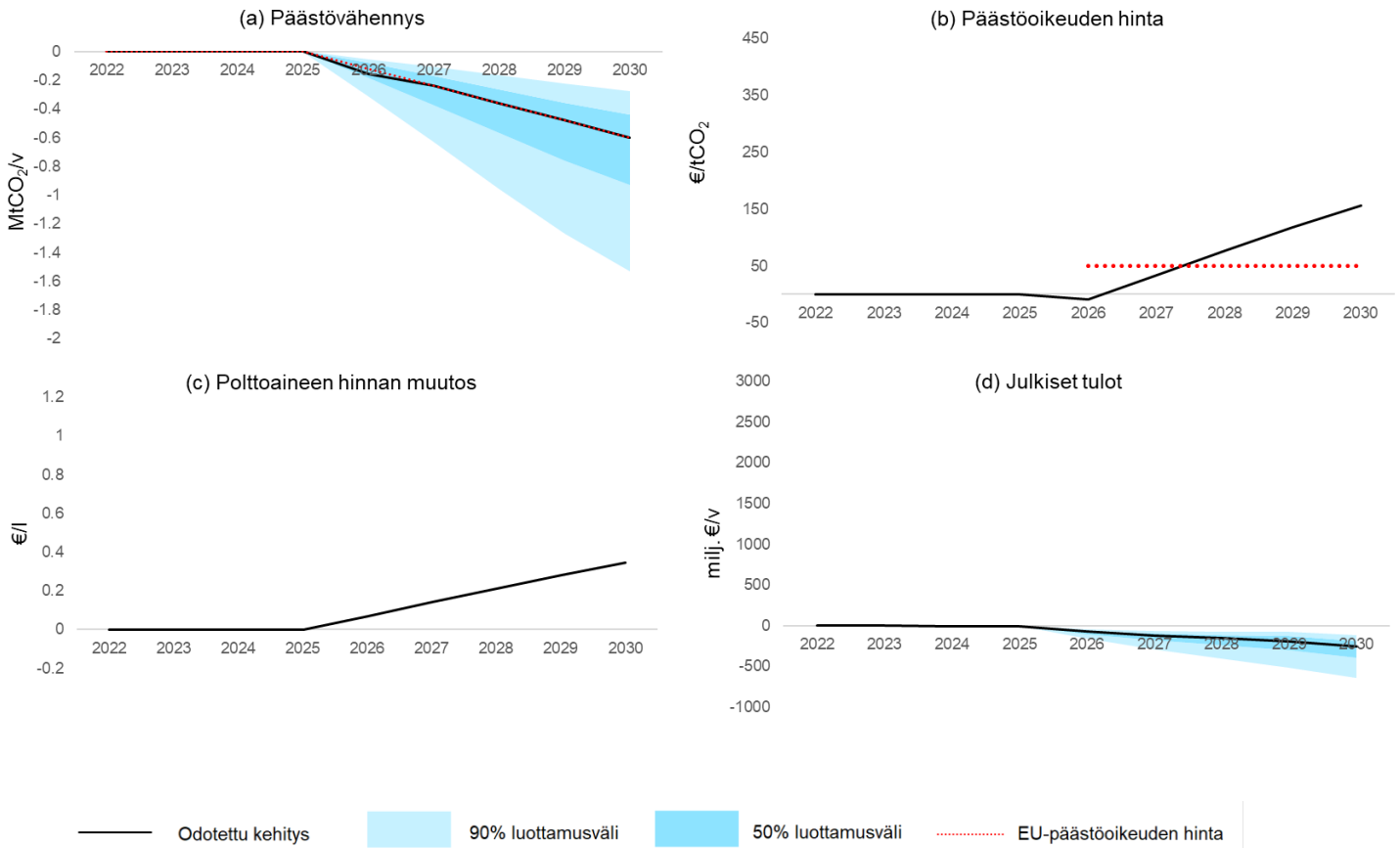


Kuva 6. Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2) ja rinnakkainen päästökauppa

Paneeli (a): Odotettu päästövähennys (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (b): Suomen kansallisten päästöoikeuden odotettu hinta (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (c): Päästökaupan aiheuttama polttoaineen odotettu hinnan muutos (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (d): Päästökaupan odotettu vaikutus julkisiin tuloihin (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Kuva sisältää Suomen kansallisten päästöoikeuksien myyntitulot ja muutokset polttoaineveroissa.

Skenaario 5: Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2) ja päällekkäinen päästökauppa

Suomen kansallinen päästökauppa voidaan järjestää päällekkäisesti Euroopan unionin päästökaupan kanssa. Tällöin Suomi vaatii jokaista tuotettua päästöyksikköä kohden päästöoikeuksien ylikompensaation. Päästökauppa on ”päällekkäinen”, koska siinä vaaditaan tietty osuus päästöoikeuksia Euroopan unionin veloitteen päälle. Vaadittu ylikompensaatio valitaan siten, että sen avulla päästään Suomen omalle tavoiteuralle (kuva 7a). Tässä järjestelmässä toteutunut päästmäärä on epävarma ja Suomen kansalliseen tavoitteeseen päästään vain keskimäärin, vuoden 2030 päästövähennyksen 90 prosentin luottamusvälin ollessa 0,27–1,52 Mt CO₂. Päällekkäisen järjestelmän etuna on kuitenkin se, että se lisää, eikä vähennä EU:n päästöoikeuksien kysyntää, ja johtaa täten aitoihin päästövähennyksiin koko järjestelmän tasolla ilman päästöoikeuksien kumoamista. Epävarmuus ei tässä järjestelmässä heijastu päästöoikeuden hintaan (kuva 7b) tai polttoaineen hintaan (kuva 7c), jos EU:n päästöoikeuksien hinta osataan arvioida. Päällekkäisen päästökaupan huonona puolena voidaan pitää sitä, että ylikompensaatiot ostetaan EU:n päästökaupasta Suomen omien oikeuksien sijaan. Näin ollen järjestelmä ei tuota verotuloja, vaan päinvastoin se syö polttoaineverojen veropohjaa (kuva 7d), joskaan analyysi ei huomio Suomen mahdollisesti saamaa osuutta EU:n päästöoikeuksien myyntituloista.



Kuva 7. Euroopan unionin päästökauppa (EU ETS 2) ja päällekkäinen päästökauppa

Paneeli (a): Odotettu päästövähennys (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (b): Suomen kansallisten päästöoikeuden odotettu hinta (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (c): Päästökaupan aiheuttama polttoaineen odotettu hinnan muutos (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Paneeli (d): Päästökaupan odotettu vaikutus julkisiin tuloihin (musta viiva), 90 prosentin luottamusväli (vaaleansininen alue) ja 50 prosentin luottamusväli (tummansininen alue). Kuva sisältää Suomen kansallisten päästöoikeuksien myyntitulot ja muutokset polttoaineveroissa.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kansallinen tieliikenteen päästökauppa tarjoaa kustannustehokkaan mekanismin päästötavoitteiden saavuttamiseksi, mutta toimeenpanon ajoitukseen ja yhdistämiseen Euroopan unionin ehdotetun uuden tieliikenteen ja rakennusten erillislämmityksen kattavan päästökaupan kanssa liittyy kysymyksiä, joita tässä raportissa on analysoitu. Tulokset kansallisen päästökaupan vaikutuksista päästöihin, päästöoikeuden hintaan ja polttoaineen hintaan ja verotuloihin on koottu taulukkoon 1. Kansallinen päästökauppa auttaa saavuttamaan Suomen päästötavoitteet varmasti, ja polttoainemarkkinoihin liittyvät epävarmuudet kanavoituvat polttoaineen hinnan kautta (Skenaariot 1 ja 2). Liikenne- ja viestintäministeriön syyskuussa 2021 julkaiseman arvion mukaan päästövähennystavoitteesta on saavutettu jo 1,6 megatonnia. Lisäksi jo olemassa olevilla toimenpiteillä saavutettaisiin arviolta noin 3,4 megatonnin vähennykset, joten verrattuna nykypäästötasoon tavoiteltava päästövähennys on 0,6 megatonnia. Euroopan unionin tieliikenteen päästökauppa ei todennäköisesti riitä saavuttamaan liikennesektorin kansallisesta tavoitteesta puuttuvaa vähennystä, ellei oikeuden hinta ole huomattavasti Euroopan komission arvioita korkeampi (Skenaario 3).

EU:n tieliikenteen päästökaupan toteutuminen ei tarkoita, ettei kansallista päästökauppaa voisi ottaa käyttöön. Yhdistäminen voidaan toteuttaa joko tuomalla kansallinen päästökauppa EU:n päästökaupan rinnalle, jolloin Suomen tavoitteet voidaan varmuudella saavuttaa (Skenaario 4), tai päällekkäisenä järjestelmänä, jolloin päästövähennykseen sisältyy epävarmuutta (Skenaario 5).

Taulukko 1. Kooste päästökaupan vaikutuksista skenaarioissa 1–5.

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	Skenaario 5
	Kansallinen päästökauppa, Lineaarinen vähennys	Kansallinen päästökauppa Viivästetty käyttöönotto	EU ETS 2, ei kansallista päästökauppaa	EU ETS 2 ja rinnakkainen päästökauppa	EU ETS 2 ja päällekkäinen päästökauppa
Päästövähennys vuonna 2030 (Mt)	0,60	0,60	0,15 (0,07–0,40)	0,60	0,60 (0,27–1,52)
Kumulatiiviset päästövähennykset, 2022–2030 (Mt)	2,70	1,80	0,70 (0,32–1,93)	1,80 (1,78–2,40)	1,80 (0,81–4,70)
Suomen kansallisen päästöoikeuden hinta 2030 (€/tCO₂)	205 (70–522)	205 (70–522)	-	155 (20–471)	155
EU:n päästöoikeuden hinta 2030 (€/tCO₂)	-	-	50	50	50
Päästökaupan aiheuttama polttoaineen hinnan nousu vuonna 2030 (€/l)	0,34 (0,12–0,88)	0,34 (0,12–0,88)	0,08	0,34 (0,12–0,88)	0,34
Verotulojen muutos vuonna 2030 (milj. €)	1 410 (370–3 880)	1 410 (370–3 880)	-100 (-200 – -60)	990 (-50–3460)	-250 (-650 – -120)

Lukuarvot kuvaavat odotusarvoja ja sulkeissa olevat arvot kuvaavat 90 prosentin luottamusväliä.

Päästökauppa kerää myös julkisia varoja, joilla voidaan tasata järjestelmän aiheuttamia tulonjakovaikutuksia. Varojen käyttö ja tulonjakovaikutukset eivät olleet tämän työn keskiössä, mutta niihin on syytä kiinnittää

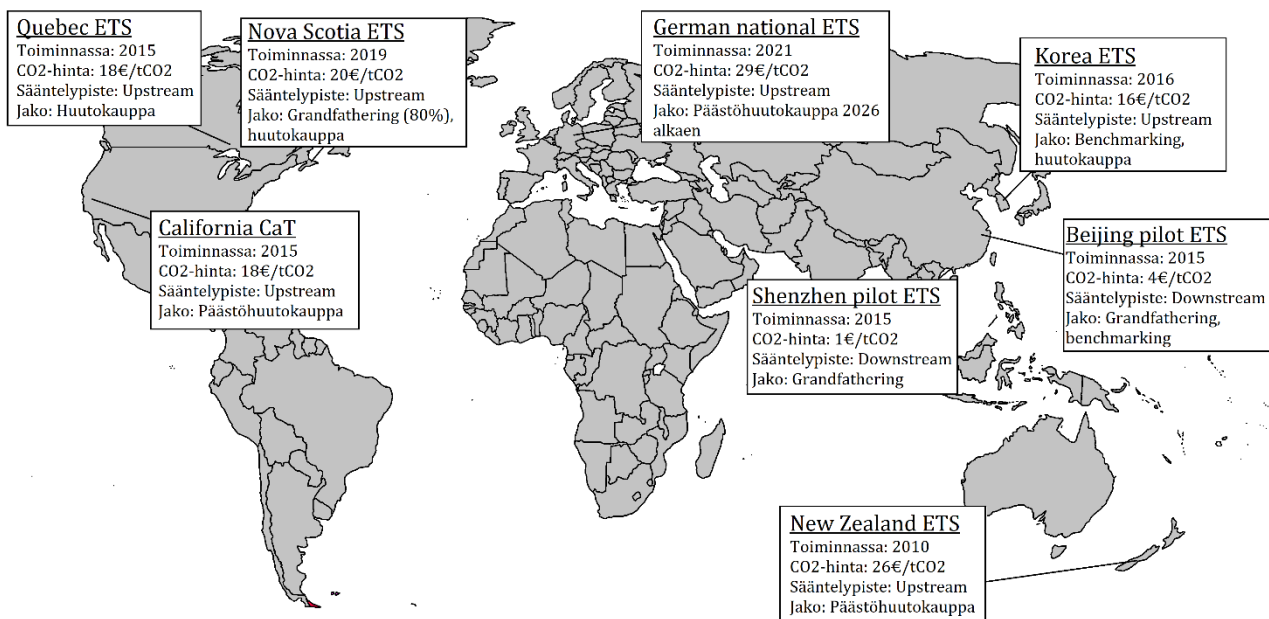
erityistä huomiota, jos järjestelmä otetaan käyttöön. Päästökauppa voi olla tulonjakovaikutuksiltaan regressiivinen, jolloin pienituloiset maksavat veroa suuremman osuuden tuloistaan kuin suurituloiset. Päästökaupasta voidaan tehdä progressiivinen palauttamalla verotuloja kotitalouksille tasajakona tai kohdentamalla niitä erityisesti pienituloisille (Ahonen ym., 2020). Verotuloja voidaan kohdistaa myös ammattiliikenteelle, ja näin ollen torjua niille koituvaa kustannusrasitusta, jos ne eivät voi siirtää kohonneita kustannuksia hintoihin.

Päästökaupan vaikutusten arvioinnissa erityisen oleellista on tieto kysynnän ja tarjonnan hintajoustoista. Hintajoustopot kertovat sen, kuinka alttiita toimijat ovat muuttamaan käyttäytymistään, kun ne kohtaavat päästöjen hinnan. Vaikka hintajoustoista on runsaasti tutkimusta viime vuosikymmeniltä, liittyy niiden arviointiin ja soveltamiseen Suomen oloihin huomattavaa epävarmuutta. Aiempi tutkimus hintajoustoista on myös tehty olosuhteissa, joissa ei ole aitoa vaihtoehtoista käyttövoimaa laajasti läytettävissä, esimerkiksi sähköautoja, kuten nyt on. Hintajousto voivatkin olla suurempia nykyään kuin aiemman tutkimuksen valossa. Tämä tutkimus pyrkii kuitenkin arvioimaan hintajoustoja, joustoihin liittyvää epävarmuutta ja demonstroimaan, miten päästökaupan suunnittelu vaikuttaa tämän epävarmuuden toteutumiseen. Poliitiikan paremman suunnittelun tueksi erityisen arvokasta olisi tutkimus suomalaisen liikenteen hintajoustoista sekä lyhyellä aikavälillä (ajosuorite) että pitkällä aikavälillä (uudet investoinnit). Vuoden 2022 poikkeuksellinen vaihtelu polttoaineen hinnassa luo jatkotutkimukseen hyvät mahdollisuudet.

8. LIITTEET

Liite 1. Liikenteen päästökauppajärjestelmät maailmalla

Tällä hetkellä liikennesektorin päästöt ovat mukana kahdeksassa päästökauppajärjestelmässä. Toistaiseksi polttoaineen verotus on yleisempi tapa säännellä liikenteen päästöjä, mutta yhä useammat maat harkitsevat liikennesektorin sisällyttämistä päästökauppaan. Tässä kappaleessa käydään läpi eri maiden liikenteen sisältäviä päästökauppajärjestelmiä yksityiskohtaisemmin. Kuvassa A1 on annettu yleiskatsaus tällä hetkellä liikenteen sisältävistä päästökauppajärjestelmistä sekä koottu tietoa niiden alkamisesta, päästöoikeuden hintatasosta, sääntelypisteistä, päästöoikeuksien jaosta sekä päästöhuutokaupan tulojen jakamisesta. Nämä tiedot ovat myös taulukossa A1.



Kuva A1. Liikenteen sisältävät päästökauppajärjestelmät

Kalifornia

Kalifornian päästökauppa, *California Cap-and-Trade*, perustettiin vuonna 2012. Päästökaupassa on mukana noin 500 tahoa. Järjestelmä yhdistettiin Quebecin päästökaupan kanssa vuonna 2014 (International Carbon Action Partnership, 2021a). Näin ollen sekä Kalifornian että Quebecin päästökauppaan osallistuvat tahot voivat käydä kauppaa päästöoikeuksista keskenään, mikä on johtanut yhteisen päästöoikeusmarkkinan muodostumiseen ja yhteen päästöoikeuden hintaan.

Liikennepolttoaineet sisällytettiin lämmityspolttoaineiden kanssa järjestelmään vuonna 2015, minkä lisäksi järjestelmässä on mukana teollisuus ja sähköntuotanto (International Carbon Action Partnership, 2021a). Kalifornian järjestelmä on toistaiseksi ainoa päästökauppajärjestelmä Yhdysvalloissa, johon kuuluu myös liikennesektorin osalta päästökauppaan osallistuvat polttoaineiden jakelijat, joiden vuosittaiset päästöt ylittävät 25,000 tonnin rajan (Center for Climate and Energy Solutions). Liikennesektorille ei jaeta ollenkaan ilmaisia päästöoikeuksia, joten polttoaineiden jakelijat ostavat päästöoikeuksia päästöhuutokaupasta tai jälkimarkkinoilta (California Environmental Protection Agency). Liikenne- ja lämmityspolttoaineiden järjestelmään lisäämisen myötä päästökaupan kattavuus nousi 85 prosenttiin koko päästöistä, kun ennen sitä kattavuus oli 35 prosenttia (World Bank, 2016). Päästöhuutokaupan tuotot ohjataan "Greenhouse Gas Reduction Fund"-nimiseen rahastoon, josta vähintään 35 prosenttia rahaston

tuotoista ohjataan tukemaan vähätuloisia yhteisöjä. Lisäksi rahastoa käytetään päästövähennystoimien tukemiseen (International Carbon Action Partnership, 2021a).

Quebec

Quebecin päästökauppajärjestelmä, *Québec Cap-and-Trade System*, perustettiin vuonna 2013. Päästökauppa yhdistettiin Kalifornian päästökaupan kanssa vuonna 2014. Quebecin järjestelmässä on mukana noin 150 tahoja, joista 46 tahoja on liikennepolttoaineiden jakelijoita (International Carbon Action Partnership, 2021b).

Liikennepolttoaineet sisällytettiin järjestelmään vuonna 2015 (International Carbon Action Partnership, 2021b). Päästökaupan kattavuus nousi 30 prosentista 85 prosenttiin polttoaineiden sisällyttämisen myötä (World Bank, 2016). Bensiinin ja dieselpolttoaineiden jakelijat, jotka myyvät yli 200 litraa polttoainetta vuosittain osallistuvat päästöhuutokauppaan riippumatta päästöjen määrästä (Gouvernement du Québec, 2018). Liikennesektorille ei jaeta lainkaan ilmaisia päästöoikeuksia, joten polttoaineiden jakelijat ovat velvollisia ostamaan kaikki päästöoikeudet päästöhuutokaupasta (Gouvernement du Québec). Quebecin päästöhuutokaupan tuotot ohjataan "*Electrification and Climate Change Fund*"-rahastoon. Rahaston tuotot ohjataan päästövähennystoimiin, esimerkiksi julkisen liikenteen tukemiseen (International Carbon Action Partnership, 2021b).

Nova Scotia

Nova Scotian päästökauppa, *Nova Scotia Cap-and-Trade Program*, perustettiin vuonna 2019. Järjestelmään on sisällytetty alusta asti teollisuus, sähköntuotanto, rakennus sekä liikenne. Päästökauppaan osallistuu yhteensä 27 tahoja (International Carbon Action Partnership, 2021c). Liikenteen osalta öljytuotteiden jakelijat, jotka myyvät vähintään 200 litraa polttoainetta vuosittain ovat velvollisia osallistumaan päästökauppaan. Polttoaineiden jakelijat saavat 80 prosenttia ilmaisista päästöoikeuksistaan edellisvuotisten päästöjensä mukaan grandfathering-menetelmällä (International Carbon Action Partnership, 2021c).

Järjestelmän ensimmäinen päästöhuutokauppa pidettiin vuonna 2020 (International Carbon Action Partnership, 2020). Päästöhuutokaupan tuottoja varten perustettiin "*Green Fund*"-rahasto, jonka tuotot ohjataan sekä päästövähennysten tukemiseen että vähennystoimista aiheutuvien haitallisten taloudellisten ja sosiaalisten vaikutusten vähentämiseen (International Carbon Action Partnership, 2021c).

Uusi-Seelanti

Uuden-Seelannin päästökauppa, *New Zealand Emissions Trading Scheme*, perustettiin vuonna 2008. Päästökauppa on keskeinen ilmastomuutoksen torjuntaan tähtäävä instrumentti ja se kattaa 2398 saastuttavaa tahoja. Uuden-Seelannin päästökauppa poikkesi useista muista päästökaupoista siten, että varsinaista päästökattoa ei kiinnitetty vuoteen 2021 asti. Vuodesta 2021 eteenpäin Uusi-Seelanti kuitenkin otti käyttöön selkeän päästökaton järjestelmässään (International Carbon Action Partnership, 2021d).

Liikenne sisällytettiin järjestelmään vuonna 2010 ja näin ollen Uuden-Seelannin järjestelmä oli ensimmäinen päästökauppa, joka kattoi myös liikennesektorin päästöt. Nestemäisten polttoaineiden jakelijat ja maahantuojat, jotka jakelevat yli 50000 litraa polttoainetta ovat velvollisia luovuttamaan päästöoikeuksia (Ministry for the Environment, 2009). Myös suuret polttoaineiden ostajat voivat osallistua järjestelmään vapaaehtoisesti (Environmental Protection Authority).

Päästöoikeuksia ei jaeta ilmaiseksi liikennesektorille, vaan osallistuvat tahot ostavat päästöoikeuksia päästöhuutokaupan kautta. Päästöhuutokauppa otettiin käyttöön vuonna 2021. Tätä ennen liikennesektorin tahot pystyivät ostamaan päästöoikeuksia Uuden-Seelannin hallitukselta kiinteällä hinnalla sekä käymään kauppaa jälkimarkkinoilla muiden sektoreiden kanssa (Ministry for the Environment, 2021). Toistaiseksi

päästöhuutokaupan tuottojen tarkkoja kohteita ei ole korvamerkitty, vaan ne menevät yleiseen budjettiin (Ministry for the Environment, 2021).

Shenzhen

Shenzhenin pilottipäästökauppa perustettiin vuonna 2013 ja se on ensimmäinen Kiinassa käyttöön otettu pilottipäästökauppajärjestelmä. Päästökauppaan ovat velvollisia osallistumaan tahot, joiden vuosittaiset päästöt ylittävät 3000 tonnia. Päästökauppajärjestelmään kuuluu 706 tahoa ja se sisältää liikennesektorin lisäksi energia-, teollisuus- ja rakennussektorin (International Carbon Action Partnership, 2021e). Shenzhenin päästökauppaan sisällytettiin julkinen liikennesektori vuonna 2014. Aluksi vain taksi- ja linja-autoyritykset sisällytettiin mukaan päästökauppaan (Shenzhen Research Center for Urban Development, 2015). Nykyään tieliikenteen osalta linja-autoyhtiöt ovat mukana päästökaupassa (International Carbon Action Partnership, 2021e). Näin ollen sääntelypiste on jakeluketjun loppupäässä. Tällä tavoin Shenzhenin kaupunki pyrkii kannustamaan julkisen liikenteen sähköistämistä (Shenzhen Research Center for Urban Development, 2015). Julkiselle liikenteelle määrätään oma päästökatto. Näin yhtiöt voivat joko korvata ajoneuvonsa vähäpäästöisemmällä vaihtoehdoilla tai ostaa päästöoikeuksia kattamaan päästönsä (Shenzhen Research Center for Urban Development, 2015). Liikennesektori saa päästöoikeuksia ilmaiseksi grandfathering-menetelmällä, eli toimijoiden historiallisiin päästöihin perustuen (International Carbon Action Partnership, 2021e). Toistaiseksi järjestelmässä on pidetty vain yksi päästöhuutokauppa vuonna 2014. Julkisen liikenteen lisäksi Shenzhen on myös harkinnut yksityisen liikenteen lisäämistä päästökauppaan jollain tavalla (Shenzhen Research Center for Urban Development, 2015).

Peking

Pekingin pilottipäästökauppa on järjestyksessä toinen Kiinassa käyttöön otettu, osin liikennesektorin sisältävä päästökauppajärjestelmä. Järjestelmä perustettiin vuonna 2013 ja se kattaa 831 tahoa. Tahot, jotka saastuttavat yli 5000 tonnia vuodessa ovat velvollisia osallistumaan päästökauppaan (International Carbon Action Partnership, 2021f). Julkinen liikenne sisällytettiin järjestelmään vuonna 2016, mutta yksityinen liikenne ei ole mukana päästökaupassa (Qian ym., 2021). Shenzhenin järjestelmän tavoin myös Pekingin päästökauppajärjestelmässä sääntelypiste on näin ollen jakeluketjun loppupäässä ja saastuttavat julkisen liikenteen yhtiöt ovat velvollisia luovuttamaan päästöoikeuksia.

Päästöoikeuksia jaetaan liikennesektorille historiallisten päästöjen mukaan eli grandfathering-menetelmällä sekä käytössä olevan teknologian mukaan eli benchmarking-menetelmällä uusille tulokkaille. Toistaiseksi Pekingin päästökaupassa ei ole järjestetty päästöoikeushuutokauppoja (International Carbon Action Partnership, 2021f).

Saksa

Saksa on tällä hetkellä ainoa Euroopan unionin maa, jossa on käytössä erillinen päästökauppajärjestelmä. Saksan järjestelmä, *Nationales Emissionshandelssystem*, otettiin käyttöön tammikuussa 2021. Toistaiseksi järjestelmä toimii polttoaineveron kaltaisesti, sillä päästöoikeuden hinta on kiinteä ja päästökatto on joustava (International Carbon Action Partnership, 2021g). Saksan päästökauppajärjestelmä sisältää liikennesektorin sekä lämmityssektorin, jotka eivät toistaiseksi ole mukana Euroopan unionin päästökaupassa. Kaikki polttoaineiden tukkumyyjät, polttoaineiden tuottajat, joilla on tukkumyyntiä sekä yritykset, jotka maahantuovat tiettyjä polttoaineita ovat velvollisia osallistumaan päästökauppaan (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2020).

Päästöoikeuden hinta on aluksi kiinteä ja kasvaa vuosittain, mutta tämänhetkisten suunnitelmien mukaan hinta tullaan vapauttamaan markkinaehtoiseksi viimeistään vuonna 2026 (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2020). Vuodesta 2026 eteenpäin järjestelmässä otetaan käyttöön päästöhuutokauppa (International Carbon Action Partnership, 2021g). Järjestelmässä ei jaeta lainkaan ilmaisia päästöoikeuksia, joten osallistuvat tahot

ovat velvollisia ostamaan päästöoikeuksia. Päästökattoa määrittäessä Saksa ottaa huomioon Euroopan unionin kyseisiä sektoreita koskevat päästötavoitteet (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2020). Lisäksi suunnitelmissa on yhdistää päästökauppa Euroopan unionin tasoiseen päästökauppaan tulevaisuudessa (International Carbon Action Partnership, 2021g). Suunnitelman mukaan päästöoikeuden hintojen nostamisesta tulevat lisätuotot ohjataan tulonjakovaikutusten korjaamiseen esimerkiksi verokevennysten muodossa (International Carbon Action Partnership, 2021g).

Transportation and Climate Initiative

Yhdysvaltojen koillisvaltioilla on suunnitteilla perustaa päästökauppajärjestelmä, joka kohdistuisi liikennesektorille. Tämä suunniteltu sopimus, *Transportation and Climate Initiative*, kattaa tällä hetkellä 14 osavaltiota. Sopimuksen järjestely aloitettiin vuonna 2010 (Transportation and Climate Initiative, 2020). Järjestelmä olisi suunnitelman mukaan tarkoitus ottaa käyttöön tammikuussa 2023 (International Carbon Action Partnership, 2021h). Suunnitelmien mukaan päästökauppa sisältäisi laskevan päästökaton liikenteen tuottamille kasvihuonepäästöille. Polttoaineiden toimittajat olisivat velvollisia ostamaan päästöoikeuksia päästöhuutokaupasta. Lisäksi suunnitelmaan sisältyy päästöhuutokaupasta muodostuvien tuottojen investointi vähäpäästöisempiin liikennemuotoihin sekä liikenneinfrastruktuurin kehittämiseen (Transportation and Climate Initiative, 2020).

Euroopan unionin päästökauppa

Liikenteen omaa päästökauppaa tai sen sisällyttämistä jo olemassa olevaan Euroopan unionin päästökauppaan, *European Union Emissions Trading Systemiin*, on suunniteltu Euroopan unionissa useita vuosia. Heinäkuussa 2021 Euroopan komissio ehdotti, että liikenne- sekä lämmityspolttoaineille otettaisiin käyttöön erillinen Euroopan unionin kattava päästökauppajärjestelmä.

Komissio ehdottaa, että järjestelmä otettaisiin käyttöön vuonna 2026. Komission ehdotuksen mukaan järjestelmä kohdistuisi polttoaineen jakelijoihin ja päästökattoa kiristettäisiin ajan kuluessa (Euroopan komissio, 2021a). Ehdotuksessa mainitaan, että päästöoikeudet jaettaisiin päästöhuutokaupan kautta. Ehdotuksen mukaan järjestelmässä otettaisiin myös käyttöön niin kutsuttu sosiaalinen ilmatorahasto, joka tähtäisi kuluttajiin kohdistuvien tulonjakovaikutusten korjaamiseen.

Taulukko A1. Yleistietoa liikenteen sisältävistä päästökauppajärjestelmistä

Alue	Päästökauppa	Toiminnassa	Liikenne mukana	Päästöoikeiden hinta 01.04.2021 (US\$/tCO ₂)	Säätely	Päästöoikeuksien jakaminen liikennesektorille	Päästöhuutokaupan tulojen käyttö
Etelä-Korea	Korea ETS	2015	2016	15,89	Upstream	Benchmarking, päästöhuutokauppa	(Kohteita ei määritelty)
Kanada	Québec CaT	2013	2015	17,94	Upstream	Päästöhuutokauppa	Electrification and Climate Change Fund: julkisen liikenteen, energiatehokkuden ja sähköistymisen tukeminen
Kanada	Nova Scotia CaT	2019	2019	19,66	Upstream	Grandfathering (80 %), päästöhuutokauppa	Green Fund: päästövähennysten tukeminen, teknologiainvestointien kannustaminen, negatiivisten taloudellisten vaikutusten vähentäminen
Kiina	Beijing pilot ETS	2013	2016	4,32	Downstream	Grandfathering, benchmarking uusille tulokkaille	-
Kiina	Shenzhen pilot ETS	2013	2015	1,12	Downstream	Grandfathering	-
Saksa	German National ETS	2021	2021	29,36	Upstream	(Päästöhuutokauppa 2026 alkaen)	(Tullaan käyttämään osittain ilmastoystävällisen liikenteen sekä energiatehokkaiden rakennusten tukemiseen, ja osittain tulojakovaikutusten korjaamiseen)
Uusi-Seelanti	New Zealand ETS	2008	2010	25,76	Upstream	Päästöhuutokauppa	Yleinen budjetti (kohteita ei määritelty)
Yhdysvallat	California CaT	2012	2015	17,94	Upstream	Päästöhuutokauppa	Greenhouse Gas Reduction Fund: vähäosaisten yhteisöjen tukeminen (väh. 35%), päästövähennysten tukeminen
Yhdysvallat	Transportation and Climate Initiative	(Suunnitteilla)					
Eurooppa	Euroopan unionin liikenteen päästökauppa	(Suunnitteilla)					

Liite 2. Aiemmat tutkimukset hintajoustoista

Meta-analyysissä käytettiin taulukossa **A2** ja kuvassa 2 esitettyjen tutkimusten tuloksia. Taulukon tutkimukset ja meta-analyysiin valitut tutkimukset on julkaistu vuonna 2000 tai sen jälkeen. Tästä poikkeuksena ovat Uría-Martínezin ym. (2018), Labaindeiran ym. (2017), Havranekin ym. (2012) ja Bronsin ym. (2008) tutkimukset, jotka sisältävät ennen vuotta 2000 julkaistusta tutkimuksista koottuja meta-analyysyjä. Lisäksi kaikki valitut tutkimukset on julkaistu jossain akateemisessa julkaisussa, lukuun ottamatta Uría-Martínezin ym. (2018) työpaperissa julkaistua meta-analyysia. Näin ollen harmaan kirjallisuuden, kuten työpapereiden tai raporttien arvioimia hintajoustoja ei sisällytetty meta-analyysiin.

Painotetun keskiarvon laskemiseksi meta-analyysiin otettiin mukaan vain tutkimukset, jotka sisälsivät hintajoustoarvion keskivirheen, otoskoon, maantieteellisen sijainnin sekä kuvauksen hintajoustoarvon laskemiseen käytetystä tilastollisesta menetelmästä. Painotuksessa käytettiin varianssin käänteislukua. Keskivirhearvot ovat välttämättömiä painotetun keskiarvon laskemisessa. Lisäksi otoskoon, maantieteellisen sijainnin sekä tilastollisen menetelmän huomioon ottamisella voidaan kontrolloida tutkimusten yleistettävyyttä Suomen tapaukseen. Meta-analyysissa mukana olevissa tutkimuksissa onkin vaihtelua maantieteellisen sijainnin ja tilastollisten menetelmien suhteen.

Taulukko A2. Meta-analyysin taustalla olevat yksittäiset tutkimukset.

Yksittäiset tutkimukset									
Tutkimus	Vuosi	Jousto, lyhyt aikaväli	Keskivirhe	Jousto, pitkä aikaväli	Keskivirhe	Hinta/vero	Alue	Metodi	Julkaisu
Knittel & Tanaka	2021	-0,371	0,0348			Hinta	Japani	IV	Journal of Public Economics
Andersson	2019			-1,57	0,3646	Vero	Ruotsi	Synteettienn kontrolli	American Economic Journal: Economic Policy
Andersson	2019			-0,51	0,1018	Hinta	Ruotsi	Synteettienn kontrolli	American Economic Journal: Economic Policy
Zhao ym.	2018	-0,199	0,045			Hinta	Kiina	VAR	Journal of Cleaner Production
Hössinger ym.	2017	-0,135	0,069			Hinta	Itävalta	OLS	Transportation Research Part A
Coglianesse ym.	2016	-0,368	0,239			Vero	Yhdysvallat	IV	Journal of Applied Econometrics
Odeck & Johansen	2016	-0,257	0,078			Hinta	Norja	OLS	Transportation Research Part A
Arzaghi & Squalli	2015	-0,052	0,0145	-0,255	0,064	Hinta	Useita	Random effects	Energy Economics
Hasanov	2015	-0,427	0,149			Hinta	Turkki	ARDL	Energy Economics
Li ym.	2014	-0,097	0,037			Vero	Yhdysvallat	FGLS	American Economic Journal: Economic Policy
Erdogdu	2014	-0,213	0,35			Hinta	Turkki	OLS	Energy Policy
Baranzini & Weber	2013	-0,092	0,028	-0,339	0,027	Hinta	Sveitsi	Cointegration	Energy Policy
Santos	2013	-0,399	0,07	-1,186	0,241	Hinta	Brasilia	GMM-Arellano-Bond	Energy Economics
Sene	2012	-0,121	0,444			Hinta	Senegal	Box-Cox regression	Energy Economics
Coyle ym.	2012	-0,075	0,018			Vero	Yhdysvallat	3SLS	Energy Economics
Davis & Kilian	2011	-0,46	0,23			Vero	Yhdysvallat	IV	Journal of Applied Econometrics
Kim ym.	2011			-0,325	0,122	Vero	Etelä-Korea	OLS	Energy Policy
Hymel ym.	2010	-0,075	0,005	-0,361	0,029	Hinta	Yhdysvallat	3SLS	Transportation Research Part B
Pock	2010	-0,106	0,029	-0,36	0,085	Hinta	Useita	Within	Energy Economics
Breunig & Gisz	2009	-0,13	0,03	-0,2	0,11	Hinta	Australia	MLE	The Economic Record
Wadud ym.	2009	-0,266	0,0526			Hinta	Yhdysvallat	OLS	Applied Energy
Bento ym.	2009			-0,35		Hinta	Yhdysvallat	Structural model	American Economic Review
Hughes ym.	2008	-0,041	0,009			Hinta	Yhdysvallat	OLS	The Energy Journal

Small & Van Dender	2007	-0,087	0,006	-0,381	0,0278	Hinta	Yhdysvallat	3SLS	Energy Journal
Aiemmat meta-analyysit									
Tutkimus	Vuosi	Jousto (lyhyt aikaväli)	Keskivirhe	Jousto (pitkä aikaväli)	Keskivirhe	Hinta/vero	Alue	Metodi	Julkaisu
Uria Martinez ym.	2018	-0,0809	0,0224	-0,2621	0,1012		Useita	Meta-analyysi	Working paper
Labaindeira ym.	2017	-0,186	0,168	-0,524	0,39		Useita	Meta-analyysi	Energy Policy
Havranek ym.	2012	-0,091	0,012	-0,314	0,0334		Useita	Meta-analyysi	Energy Economics
Brons ym.	2008	-0,34	0,03	-0,84	0,05		Useita	Meta-analyysi	Energy Economics
Painotettu keskiarvo		-0,1607	0,024	-0,448	0,084				

Liite 3. Taustatietoa mallinnuksesta ja polttoaineen kysyntäkäyrän johtamisesta

Isoelastisen kysynnän kaava voidaan kirjoittaa muodossa

$$Q = kP^e$$

missä Q mittaa polttoaineen kulutusta, k on vakio muuttuja, P on polttoaineen hinta ja e on polttoaineen hintajousto. Koska liikenteestä aiheutuvat päästöt kasvavat polttoaineen kulutuksen kasvaessa, Q voidaan vaihtoehtoisesti mitata myös polttoaineen kulutuksesta aiheutuvina päästöinä. Tämä auttaa havainnollistamaan päästöjen muutosta kuvaajien avulla.

Kun polttoaineen hinta asetetaan riippumattomaksi muuttujaksi, kaava kuvastaa niin kutsuttua käänteistä kysyntäkäyrää. Käänteinen kysyntäkäyrä voidaan kirjoittaa muodossa

$$P = \left(\frac{Q}{k}\right)^{\frac{1}{e}}$$

Hyödyntäen meta-analyysin hintajoustoarvioita ja tilastoja polttoaineen keskimääräisestä hinnasta vuonna 2019 sekä liikenteen päästöistä vuonna 2019, lyhyen aikavälin käänteinen kysyntäkäyrä on

$$P = \left(\frac{Q}{k_{2021}}\right)^{\frac{1}{e_{2021}}} = \left(\frac{Q}{k_{2021}}\right)^{-0.1607} = \left(\frac{Q}{k_{2021}}\right)^{-6.22}$$

Pitkän aikavälin kysyntäkäyrä voidaan laskea samalla periaatteella. Pitkän aikavälin käänteinen kysyntäkäyrä on

$$P = \left(\frac{Q}{k_{2030}}\right)^{\frac{1}{e_{2030}}} = \left(\frac{Q}{k_{2030}}\right)^{-0.448} = \left(\frac{Q}{k_{2030}}\right)^{-2.232}$$

Liite 4. Kuvaus Monte Carlo-simulaatiosta

Monte Carlo -simulaatiossa tehtiin seuraavat oletukset:

Hintajouaston itseisarvo kasvaa lineaarisesti vuosittain. Toisin sanoen hintajousto muuttuu joustavammaksi joka vuosi.

Päästökaupan ulkopuolelle jäävät liikenteen päästövähennystavoitteet saavutetaan ja päästöt vähenevät näiden instrumenttien seurauksena saman verran joka vuosi.

Lyhyen aikavälin oletetaan alkavan ”nykyhetkestä”, eli vuodesta 2021. Pitkäksi aikaväliksi oletettiin 10 vuotta, jolloin vuonna 2030 hintajousto vastaisi pitkän aikavälin hintajousto.

Analyysia varten hintajouaston vuosittainen polku toistettiin 28 kertaa. Jokaiselle toistolle asetettiin meta-analyysin tutkimuksista lyhyen ja pitkän aikavälin joustot niin, että jokainen meta-analyysissä arvioitu jousto sisällytettiin analyysiin yhden kerran. Joistain meta-analyysin tutkimuksista puuttui joko lyhyen tai pitkän aikavälin jousto. Nämä oli mahdollista laskea käyttäen keskimääräistä lyhyen ja pitkän aikavälin suhdetta, joka on 2.67. Näin esimerkiksi puuttuva lyhyen aikavälin jousto oli mahdollista arvioida jakamalla pitkän aikavälin jousto kyseisellä luvulla, tai vaihtoehtoisesti puuttuva pitkän aikavälin jousto oli mahdollista löytää kertomalla lyhyen aikavälin jousto kyseisellä luvulla. Näin jokainen analyysin toisto vastasi yhtä meta-analyysin tutkimusta ja mahdollisti hintajouaston arviointiin liittyvän epävarmuuden huomioon ottamisen.

Vuosien 2021 ja 2030 välissä oleville vuosille hintajousto laskettiin niin, että se nousee lineaarisesti vuosittain käyttäen kaavaa

$$e_t = e_{t-1} + \frac{(e_{2030} - e_{2021})}{9}$$

Simulaatiossa oletettiin, että päästökaupan ulkopuolisten instrumenttien päästövähennykset jakautuvat vuosien 2022 ja 2030 välille vaikuttamatta polttoaineen hintaan. Näin ollen vakiomuuttuja k laskettiin jokaiselle vuodelle vastaamaan muutosta sekä hintajoustoissa että päästöjen määrässä niin, että hinta säilyi vakiona. Tämä mahdollisti niin kutsutun perusuran päästövähennyksien huomioon ottamisen analyysissä. Vakimuuttujan kaava kirjoitettiin seuraavasti

$$k_t = \frac{QZ_t}{1.516^{e_t}}$$

missä QZ_t vastaa vuosittaista päästömäärää perusuran päästövähennyksien seurauksena eli päästökaupan ulkopuolelle jääviä liikenteen päästövähennyksiä.

Jokaiselle 28 toistolle laskettiin isoelastisen kysynnän kaavaa käyttäen vuosittainen hintapolku polttoaineen litrahinnalle. Laskettu hinta on näin ollen funktio vuosittaisesta päästövähennyksestä, johon sisältyy sekä perusuran että päästökaupan vähennykset. Koska vuosittainen vakiomuuttuja k ottaa jo huomioon muutokset hintajoustoissa ja perusuran vähennyksissä, kuvastaa vuosittainen hinnan muutos nimenomaan päästökaupan päästökaton vaikutusta polttoaineen hintaan. Vuosittainen polttoaineen hinta määriteltiin kaavalla

$$P_t = \left(\frac{Q_t}{k_t} \right)^{\frac{1}{e_t}}$$

Näiden 28 eri hintapolun perusteella oli mahdollista arvioida yksi hintapolku laskemalla tulosten keskiarvo. Tämä hintapolku on kuvattu Taulukossa 3.

9. LÄHTEET

- Abrell, J. (2009). Regulating CO₂ Emissions of Transportation in Europe: A CGE-Analysis Using Market Based Instruments. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1418008>
- Achtnicht, M., Von Graevenitz, K., Koesler, S., Löschel, A., Schoeman, B. & Reanos, M. A. T. (2015). *Including road transport in the EU-ETS – An alternative for the future?* Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung
- AFRY, 2020. Jakeluelvoitteen laajentaminen. VN/336/2020.
https://tem.fi/documents/1410877/2132212/Jakeluelvoitteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf/732b8c4d-c07d-b6ca-d4a7-8af1f2a00b37/Jakeluelvoitteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf?t=1599738665281
- Ahonen, A., Liski, M., Nokso-Koivisto, O., Nurmi, E. & Vehviläinen, I. (2020). *AEI-raportti: Kohti hiiletöntä liikennettä – analyysi tulonjakovaikutuksista*. Aalto Economic Institute. https://www.aaltoei.fi/wp-content/uploads/2020/10/AEI_raportti.pdf
- Andersson, J. J. (2019). Carbon Taxes and CO₂ Emissions: Sweden as a Case Study. *American Economic Journal: Economic Policy*, 11(4), 1–30. <https://doi.org/10.1257/pol.20170144>
- Arzaghi, M., & Squalli, J. (2015). How price inelastic is demand for gasoline in fuel-subsidizing economies? *Energy Economics*, 50, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.04.009>
- Austin, D., & Dinan, T. (2005). Clearing the air: The costs and consequences of higher CAFE standards and increased gasoline taxes. *Journal of Environmental Economics and Management*, 50(3), 562–582. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2005.05.001>
- Baranzini, A., & Weber, S. (2013). Elasticities of gasoline demand in Switzerland. *Energy Policy*, 63, 674–680. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.084>
- Bento, A. M., Goulder, L. H., Jacobsen, M. R., & von Haefen, R. H. (2009). Distributional and Efficiency Impacts of Increased US Gasoline Taxes. *American Economic Review*, 99(3), 667–699. <https://doi.org/10.1257/aer.99.3.667>
- Blom, M. J., Kampman, B. E. & Nelissen, D. (2007). *Price effects of incorporation of transportation into EU ETS* (September 2007). CE Delft. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/07_4553_37.pdf
- Bragadóttir, H., Magnusson, R., Seppänen, S., Sundén, D. & Yliheljo, E. (2015). *Sectoral expansion of the EU ETS*. Norden. <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:893105/FULLTEXT06.pdf>
- Breunig, R. V., & Gisz, C. (2009). An Exploration of Australian Petrol Demand: Unobservable Habits, Irreversibility and Some Updated Estimates. *Economic Record*, 85(268), 73–91. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.2008.00530.x>
- Brons, M., Nijkamp, P., Pels, E., & Rietveld, P. (2008). A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand. A SUR approach. *Energy Economics*, 30(5), 2105–2122. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.08.004>
- Böhringer, C., & Fischer, C. (2020). Kill Bill or Tax: An Analysis of Alternative CO₂ Price Floor Options for EU Member States.

Building Performance Institute Europe. (2021). Introducing a carbon price on heating fuels: An effective signal for faster decarbonisation in the buildings sector? (BPIE Policy Briefing June 2021). https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2021/06/Introducing-a-carbon-price-on-heating-fuels_07.pdf.

Busse, M. R., Knittel, C. R., & Zettelmeyer, F. (2013). Are Consumers Myopic? Evidence from New and Used Car Purchases. *American Economic Review*, 103(1), 220–256. <https://doi.org/10.1257/aer.103.1.220>

California Environmental Protection Agency. Information for Entities That Take Delivery of Fuel for Fuels Phased into the Cap-and-Trade Program Beginning on January 1, 2015. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/cap-and-trade/guidance/faq_fuel_purchasers.pdf

Center for Climate and Energy Solutions. *California Cap and Trade*. Center for Climate and Energy Solutions . <https://www.c2es.org/content/california-cap-and-trade/>

Coglianesi, J., Davis, L. W., Kilian, L., & Stock, J. H. (2016). Anticipation, Tax Avoidance, and the Price Elasticity of Gasoline Demand. *Journal of Applied Econometrics*, 32(1), 1–15. <https://doi.org/10.1002/jae.2500>

Coyle, D., DeBacker, J., & Prisinzano, R. (2012). Estimating the supply and demand of gasoline using tax data. *Energy Economics*, 34(1), 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.011>

Davis, L. W., & Kilian, L. (2010). Estimating the effect of a gasoline tax on carbon emissions. *Journal of Applied Econometrics*, 26(7), 1187–1214. <https://doi.org/10.1002/jae.1156>

Deutsche Emissionshandelsstelle. (2020). *National Emissions Trading System* (Background Paper). https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/EN/nehs/nehs-backgroundpaper.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Edenhofer, O., Kosch, M., Pahle, M. & Zachmann, G. (2021). *A whole-economy carbon price for Europe and how to get there* (Policy Contribution Issue n°06/21). Bruegel. <https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2021/03/PC-06-2021-090321.pdf>.

Environmental Protection Authority. *Liquid fossil fuels*. Environmental Protection Authority. <https://www.epa.govt.nz/industry-areas/emissions-trading-scheme/industries-in-the-emissions-trading-scheme/liquid-fossil-fuels/>

Enzmann, J., & Ringel, M. (2020). Reducing Road Transport Emissions in Europe: Investigating A Demand Side Driven Approach. *Sustainability*, 12(18), 7594. <https://doi.org/10.3390/su12187594>

Erdogdu, E. (2014). Motor fuel prices in Turkey. *Energy Policy*, 69, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.075>

Euroopan Komissio. (2008). Commission staff working document - Accompanying document to the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the EU greenhouse gas emission allowance trading system - Impact assessment. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52008SC0052>

Euroopan Komissio. (2021a). *Questions and Answers - Emissions Trading – Putting a Price on carbon*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3542

Euroopan Komissio (2021b). Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission

allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757. Brussels, 14.7.2021

Euroopan komissio (2022). CO₂ emission performance standards for cars and vans
https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en

European Environment Agency. (2019). *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12>

Faber, J., Schrotten, A., Nelissen, D., Aarnink, S., Bystricky, E., Van Iersel, S., Harmelink, M., Phylipsen, D., Swinkels, V., Voogt, M & Pollitt, H. (2014). *Analysis of the options to include transport and the built environment in the EU ETS* (January 2014). CE Delft. https://ec.europa.eu/clima/system/files/2020-09/ets_for_transport_and_built_environment_en.pdf

Fabra, N., & Reguant, M. (2014). Pass-Through of Emissions Costs in Electricity Markets. *American Economic Review*, 104(9), 2872–2899. <https://doi.org/10.1257/aer.104.9.2872>

Flachsland, C., Brunner, S., Edenhofer, O., & Creutzig, F. (2011). Climate policies for road transport revisited (II): Closing the policy gap with cap-and-trade. *Energy Policy*, 39(4), 2100–2110. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.053>

Gerlagh, R., van den Bijgaart, I., Nijland, H., & Michielsen, T. (2015). Fiscal Policy and CO₂ Emissions of New Passenger Cars in the EU. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2597588>

German, J. (2007). Reducing Vehicle Emissions Through Cap-and-Trade Schemes. *Driving Climate Change*, 89–105. <https://doi.org/10.1016/b978-012369495-9/50007-5>

Gibbs, T. & Retallack, S. (2006). *Trading Up: Reforming the European Union's Emissions Trading Scheme*. (December 2006). The Institute for Public Policy Research. https://www.ippr.org/files/images/media/files/publication/2011/05/Trading_up_eu_1551.pdf

Gillingham, K. T., Houde, S., & van Benthem, A. A. (2021). Consumer Myopia in Vehicle Purchases: Evidence from a Natural Experiment. *American Economic Journal: Economic Policy*, 13(3), 207–238. <https://doi.org/10.1257/pol.20200322>

Gouvernement du Québec. (2018). *Québec cap-and-trade system for greenhouse gas emission allowances (C&T) Technical Overview*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/carbone/documents-spede/technical-overview.pdf>

Gouvernement du Québec. *A BRIEF LOOK AT THE QUÉBEC CAP-AND-TRADE-SYSTEM FOR EMISSION ALLOWANCES*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/carbone/documents-spede/in-brief.pdf>

Graf, A., Görlach, B. & Umpfenbach, K. (2021). *A "Fit for 55" Package Based on Environmental Integrity and Solidarity*. Agora Energiewende. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_03_Silver_Buckshot/A-EW_206_Fit-for-55-Package_WEB.pdf

Graichen, J., Graichen, V., Jakob, M. & Wissner, N. (2021). *Including transport sectors in the EU ETS* (Background paper for the ENVI Committee). Öko-Institut e.V.

https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/233840/Extension-ETS-transport_background-paper_edited.pdf

Grayling, T., Gibbs, T. & Castle, B. (2006). *Tailpipe Trading - How to include road transport in the EU Emissions Trading Scheme* (June 2006). The Institute for Public Policy Research.

https://www.ippr.org/files/images/media/files/publication/2011/05/tailpipe_trading_1516.pdf

Greaker, M., & Midttømme, K. (2016). Network effects and environmental externalities: Do clean technologies suffer from excess inertia? *Journal of Public Economics*, 143, 27–38.

<https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2016.08.004>

Harju, J., Kosonen, T., Laukkanen, M., & Palanne, K. (2022). The heterogeneous incidence of fuel carbon taxes: Evidence from station-level data. *Journal of Environmental Economics and Management*, 102607.

<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102607>

Harju, J., Kosonen, T., Laukkanen, M. & Palanne, K. (2019). *Tax incidence in the fuel market: Evidence from station-level data*. https://ntanet.org/wp-content/uploads/2020/02/Jarkko-Harju-Session1489_Paper2942_FullPaper_1.pdf

Hasanov, M. (2015). The demand for transport fuels in Turkey. *Energy Economics*, 51, 125–134.

<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.05.023>

Havranek, T., Irsova, Z., & Janda, K. (2012). Demand for gasoline is more price-inelastic than commonly thought. *Energy Economics*, 34(1), 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.09.003>

Heinrichs, H., Jochem, P., & Fichtner, W. (2014). Including road transport in the EU ETS (European Emissions Trading System): A model-based analysis of the German electricity and transport sector. *Energy*, 69, 708–720. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.061>

Holmgren, K., Belhaj, M., Gode, J., Särholm, E., Zetterberg, L. & Åhman, M. (2006). *Greenhouse Gas Emissions Trading for the Transport Sector* (IVT Report B1703). IVL Swedish Environmental Research Institute. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20843887>

Hughes, J., Knittel, C. R., & Sperling, D. (2008). Evidence of a Shift in the Short-Run Price Elasticity of Gasoline Demand. *The Energy Journal*, 29(1). <https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol29-no1-9>

Hymel, K. M., Small, K. A., & Dender, K. V. (2010). Induced demand and rebound effects in road transport. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(10), 1220–1241.

<https://doi.org/10.1016/j.trb.2010.02.007>

Hössinger, R., Link, C., Sonntag, A., & Stark, J. (2017). Estimating the price elasticity of fuel demand with stated preferences derived from a situational approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 154–171. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.06.001>

International Carbon Action Partnership. (2020). *Nova Scotia holds first cap-and-trade auction*. International Carbon Action Partnership. <https://icapcarbonaction.com/fr/news-archive/716-nova-scotia-holds-first-cap-and-trade-auction>

International Carbon Action Partnership. (2021a). *USA - California Cap-and-Trade Program* (ETS Detailed Information).

https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=45

International Carbon Action Partnership. (2021b). *Canada - Québec Cap-and-Trade System* (ETS Detailed Information).

https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=73

International Carbon Action Partnership. (2021c). *Canada - Nova Scotia* (ETS Detailed Information).

https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=88

International Carbon Action Partnership. (2021d). *New Zealand Emissions Trading Scheme* (ETS Detailed Information).

https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=48

International Carbon Action Partnership. (2021e). *China - Shenzhen pilot ETS* (ETS Detailed Information).

https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=63

International Carbon Action Partnership. (2021f). *China - Beijing pilot ETS* (ETS Detailed Information).

https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=53

International Carbon Action Partnership. (2021g). *German National Emissions Trading System* (ETS Detailed Information).

[https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems\[\]=108](https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems[]=108)

International Carbon Action Partnership. (2021h). *USA - Transportation and Climate Initiative Program (TCI-P)* (ETS Detailed Information).

[https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems\[\]=106](https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems[]=106)

Kampman, B., Davidson, M. D. & Faber, J. (2008). *Emissions trading and fuel efficiency in road transport* (Report 5896). Swedish Environmental Protection Agency. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1623745/FULLTEXT01.pdf>

Kasten, P., Schumacher, K., Zimmer, W. & Cook, V. (2015). *Policy mix in the transport sector: What role can the EU ETS play for road transport?*. Öko-Institut e.V. <https://www.oeko.de/oekodoc/2221/2015-006-en.pdf>

Kim, Y. D., Han, H. O., & Moon, Y. S. (2011). The empirical effects of a gasoline tax on CO2 emissions reductions from transportation sector in Korea. *Energy Policy*, 39(2), 981–989.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.026>

Klooster, J. & Kampman, B. (2006). *Dealing with transport emissions - An emission trading system for the transport sector, a viable solution?* (Report 5550). Swedish Environment Protection Agency.

https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/4096_Defrapport_gedownload_Naturvards.pdf

Knittel, C. R. (2013). *The Importance of Pricing Transportation Fuels within California's Cap-and-Trade Program*. Massachusetts Institute of Technology.

<http://web.mit.edu/knittel/www/papers/CATransportationFuels.pdf>

Knittel, C. R., & Tanaka, S. (2021). Fuel economy and the price of gasoline: Evidence from fueling-level micro data. *Journal of Public Economics*, 202, 104496. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2021.104496>

Labandeira, X., Labeaga, J. M., & López-Otero, X. (2017). A meta-analysis on the price elasticity of energy demand. *Energy Policy*, 102, 549–568. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.002>

Lehtomäki, H., Karvosenoja, N., Paunu, V. V., Korhonen, A., Hänninen, O., Tuomisto, J., Karppinen, J., Kukkonen, A., Tainio, J. & Tainio, M. (2021). Liikenteen terveysvaikutukset Suomessa ja suurimmissa kaupungeissa.

Li, S., Linn, J., & Muehlegger, E. (2014). Gasoline Taxes and Consumer Behavior. *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(4), 302–342. <https://doi.org/10.1257/pol.6.4.302>

Liski & Vehviläinen (2022). National and EU climate policies in conflict? Lessons from three sectors in Finland. Manuscript.

Liski, M., Nokso-Koivisto, O., Nurmi, E. & Vehviläinen, I. (2019). *AEI-raportti: Kohti hiiletöntä liikennettä - ehdotus mekanismiksi* (Aalto-yliopiston julkaisusarja KAUPPA + TALOUS 2/2019). Aalto Economic Institute. http://www.aaltoei.fi/wp-content/uploads/2019/10/AEI-raportti_Kohti-hiilet%C3%B6nt%C3%A4-liikennett%C3%A4.pdf.

LVM (2021). Kansallinen tieliikenteen päästökauppa Arviomuistioluonnos 28.10.2021

LVM (2022). EU:n 55-valmiuspaketin tieliikenteen ehdotusten kustannusvaikutukset. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2022:10

Marion, J., & Muehlegger, E. (2011). Fuel tax incidence and supply conditions. *Journal of Public Economics*, 95(9–10), 1202–1212. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2011.04.003>

Ministry for the Environment. (2009). Reporting Guidance for the Stationary Energy and Industrial Processes and Liquid Fossil Fuels sectors under the New Zealand Emissions Trading Scheme. <https://environment.govt.nz/assets/Publications/Files/seip-reporting-guidelines.pdf>

Ministry for the Environment. (2021). *How New Zealand emission units enter the market*. Ministry for the Environment. <https://environment.govt.nz/what-government-is-doing/key-initiatives/ets/a-tool-for-climate-change/how-nz-emission-units-enter-market/>

Mock, P., Tietge, U., German, J. & Bandivadekar, A. (2014). *Road transport in the EU Emissions Trading System: An engineering perspective* (ICCT Working Paper 2014-11). The International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-ETS-perspective_20141204.pdf

Naegele, H., & Zaklan, A. (2019). *Does the EU ETS cause carbon leakage in European manufacturing?*. *Journal of Environmental Economics and Management*, 93, 125-147.

Nordhaus, R. R. & Danish, K. W. (2003). *Designing a mandatory greenhouse gas reduction program for the U.S.* *Pew Center on Global Climate Change*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.462.8106&rep=rep1&type=pdf>

Odeck, J., & Johansen, K. (2016). Elasticities of fuel and traffic demand and the direct rebound effects: An econometric estimation in the case of Norway. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 83, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.10.003>

Palanne, K. ja Sahari, A. (2021). *Henkilöautoliikenteen CO₂-päästöt ja päästöjen vero-ohjaus*. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. <https://www.doria.fi/handle/10024/180896>

Paltsev, S., Chen, T.-H. H., Karplus, V., Kishimoto, P., Reilly, J., Loeschel, A., Von Graevenitz, K. & Koesler, S. (2015). *Reducing CO₂ from Cars in the European Union: Emission Standards or Emission Trading?* (CAWM Discussion Paper, No. 84). Westfälische Wilhelms-Universität Münster. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/111663/1/82859290X.pdf>

Pock, M. (2010). Gasoline demand in Europe: New insights. *Energy Economics*, 32(1), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.04.002>

Pollitt, M. & Dolphin, G. (2020). *Feasibility and impacts of EU ETS scope extension: Road transport and buildings*. (December 2020). Centre on Regulation in Europe. <https://cerre.eu/publications/feasibility-impacts-eu-emissions-trading-system-ets-extension/>.

Qian, H., Chang, Y.-T., Yang, Y., Liu, J. & Sun, F. (2021). *Beijing's Pilot Emission Trading System*. Local Governments for Sustainability. <http://eastasia.iclei.org/upload/portal/20210324/35e7fe9d34b0654d4d4951014e37d36f.pdf>

Raux, C. (2011). Downstream Emissions Trading for Transport. W. Rothengatter, Y. Hayashi & W. Schade (Ed.). *Transport Moving to Climate Intelligence: New Chances for Controlling Climate Impacts of Transport after the Economic Crisis* (pp.209-226). Springer.

Raux, C., & Marlot, G. (2005). A system of tradable CO₂ permits applied to fuel consumption by motorists. *Transport Policy*, 12(3), 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.02.006>

Rasul, I., Leicester, A., & Levell, P. (2012). *Tax and Benefit Policy: Insights from Behavioral Economics*. London: The Institute for Fiscal Studies.

Rivers, N., & Schaufele, B. (2015). Salience of carbon taxes in the gasoline market. *Journal of Environmental Economics and Management*, 74, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.07.002>

Rosendahl, K. E. (2019). EU ETS and the waterbed effect. *Nature Climate Change*, 9(10), 734-735.

Santos, G. F. (2013). Fuel demand in Brazil in a dynamic panel data approach. *Energy Economics*, 36, 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.08.012>

Santos, G., Behrendt, H., Maconi, L., Shirvani, T., & Teytelboym, A. (2010). Part I: Externalities and economic policies in road transport. *Research in Transportation Economics*, 28(1), 2–45. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.11.002>

Sene, S. O. (2012). Estimating the demand for gasoline in developing countries: Senegal. *Energy Economics*, 34(1), 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.04.014>

Shenzhen Research Center for Urban Development (2015). *THE ANNUAL REPORT ON FIRST-YEAR OPERATION OF SHENZHEN ETS*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. <https://tuewas-asia.org/wp-content/uploads/2017/05/6-Annual-report-on-first-Year-SZ-ETS.pdf>

Small, K. A., & van Dender, K. (2007). Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect. *The Energy Journal*, 28(1). <https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol28-no1-2>

Springel, K. (2021). Network Externality and Subsidy Structure in Two-Sided Markets: Evidence from Electric Vehicle Incentives. *American Economic Journal: Economic Policy*, 13(4), 393–432. <https://doi.org/10.1257/pol.20190131>

Stenning, J., Bui, H. & Pavelka, A. 2020. *Decarbonising European transport and heating fuels - Is the EU ETS the right tool?* (Final Report June 2020). Cambridge Econometrics. <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2020/06/01-07-2020-decarbonising-european-transport-and-heating-fuels-full-report.pdf>

Sulikova, S., van den Bijgaart, I., Klenert, D., & Mattauch, L. (2020). Optimal fuel taxation with suboptimal health choices. Available at SSRN 3712557.

Tilastokeskus (2022). Polttoaineluokitus. https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html

Traficom. (2021). *Liikenteen kasviuonekaasupäästöt ja energiankulutus*. Liikennefakta. <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/liikenteen-kasviuonekaasupaastot-ja-energiankulutus>

Transportation and Climate Initiative. (2020). *Timeline of the Transportation and Climate Initiative*. https://www.transportationandclimate.org/sites/default/files/TCI%20Timeline_formatted_10.20.pdf

Uría-Martínez, R., Leiby, P. N., Oladosu, G., Bowman, D. C. & Johnson, M. M. (2018). *Using Meta-Analysis to Estimate World Crude Oil Demand Elasticity*. Oak Ridge National Laboratory. <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub120229.pdf>

Verhoef, E., Nijkamp, P., & Rietveld, P. (1997). Tradeable permits: their potential in the regulation of road transport externalities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(4), 527–548. <https://doi.org/10.1068/b240527>

Vero.fi (2022). Nestemäisten polttoaineiden verotaulukot. <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/nestemaiset-polttoaineet/verotaulukot/>

Vollebergh, H. R. J. & Brink, C. (2020). *What Can We Learn from EU ETS?*. (ifo DICE Report, 1/2020 Spring, Volume 18). ifo Institute. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/ifo-dice-2020-1-vollebergh-brink-what-can-we-learn-from-eu-ets-spring.pdf>

Wadud, Z., Graham, D. J., & Noland, R. B. (2009). Modelling fuel demand for different socio-economic groups. *Applied Energy*, 86(12), 2740–2749. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.011>

Winkelman, S., Hargrave, T. & Vanderlan, C. (2000). *TRANSPORTATION AND DOMESTIC GREENHOUSE GAS EMISSIONS TRADING* (April 2000). The Center for Clean Air Policy. https://www.researchgate.net/profile/Steve-Winkelman-2/publication/265158302_Transportation_and_Domestic_Greenhouse_Gas_Emissions_Trading/links/55195f650cf273292e7160d1/Transportation-and-Domestic-Greenhouse-Gas-Emissions-Trading.pdf

World Bank & International Carbon Action Partnership. (2021). *Emissions Trading in Practice: A Handbook on Design and Implementation*. Second edition. https://energycentral.com/system/files/ece/nodes/476548/2104_ets_handbook_2021_web.pdf

World Bank. (2016). *State and Trends of Carbon Pricing* (October 2016). <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25160/9781464810015.pdf>

Zhao, L. T., He, L. Y., Cheng, L., Zeng, G. R., & Huang, Z. (2018). The effect of gasoline consumption tax on consumption and carbon emissions during a period of low oil prices. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1429–1436. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.117>