

Yhdysvaltain rikkidioksidilupien ominaisuudet varastoitavina hyödykkeinä

Matti Liski*

Akatemiatutkija,

HKKK, Kansantaloustieteen laitos

1. Johdanto

Yhdysvaltain haposadeohjelma on ensimmäinen laajamittainen kaupattavia päästölupia hyödyntävä päästöjen sääntelyohjelma. Ohjelman ensimmäinen vaihe alkoi vuonna 1995, mutta kauppa rikkidioksidiluvilla (SO_2) alkoi jo vuonna 1992. Ohjelmalla on siis 10 vuoden historia kauppvoja, jotka ovat merkittävästi vähentäneet ohjelman kustannuksia.¹ Tässä kirjoituksessa keskustelen SO_2 -lupien ominaisuuksista varastoitavina hyödykkeinä (commodities). Lupia kuluttavat pääsääntöisesti hiilivoimalaitokset, jotka toimivat myös toisilla hyödyke-markkinoilla kuten hiilimarkkinoilla. Hiilivoimalaitos ei voi toimia ilman hiilivarastoa, mutta miksi voimalaitos tarvitsee päästölupien va-

raston? Varastointia kuitenkin tapahtuu jopa siinä määrin, että merkittävä osa kaupankäyntiä on ollut luonteeltaan intertemporaalista.

Selvitän SO_2 -markkinoiden toimintamekanismeja vertaamalla SO_2 -markkinoita perinteisiin hyödykemarkkinoihin, joilla markkinatason lainaaminen tulevasta tuotannosta on mahdollonta. Vastaava lainamisrajoitus on myös osa SO_2 -markkinoita poliittisten ja käytännön syiden vuoksi. Tämä rajoitus yhdessä varastointimahdollisuuden kanssa tuottaa SO_2 -luville hyödykeominaisuudet. Vertaus hyödykemarkkinoihin auttaa ymmärtämään, kuinka lupamarkkinoiden luonne sanellaan lupien määrittelyn kautta. Lupamarkkinoiden tulisi olla sopusuhteissa ei vain ympäristötavoitteen vaan myös säännellyn toimialan ominaispiirteiden kanssa. Onko lupien määrittely varastoitavien hyödykkeiden kaltaisiksi järkevää, kun tiedämme hyödykehintojen yleisesti olevan hyvin volatiileja? Aiheuttaisivathan äärimmäiset heilahdetut säännellyille yrityksille ylimääräisiä kustannuksia. Osoitan, että varastointimahdollisuus on hyvin sopusuhteissa haposadeohjel-

* Kiitän Toni Riipistä ja Hannu Vartiaista arvokkaista kommentteista.

¹ Yksityiskohtainen kuvaus ohjelman toiminnasta on kirjassa: Ellerman D., P. Joskow, R. Schmalensee, J.-P. Montero, ja E. Bailey, "Markets for Clean Air: The U.S. Acid Rain Program", Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

man asteittain kiristyvien päästötavoitteiden kanssa, ja että lainaamiskielto ei todennäköisesti aiheuta suuria kustannuksia Yhdysvaltain sähköntuotantosektorin tapauksessa.²

Keskustelen myös muista päästölupamarkkinoista, joissa luvilla ei ole hyödykeominaisuuksia. Lopuksi hahmottelen lupamarkkinoiden optimaalista suunnittelua, johon sisältyy mahdollisuus markkinatason lainaamiseen.

2. Perinteiset hyödykemarkkinat

Esimerkkejä perinteisistä hyödykkeistä ovat kahvi, sokeri, kaakao, vehnä, lämmitysöljy ja teollisuusmetallit. Näiden tuotteiden hinnoissa tapahtuu usein äkillistä nousua, mikä johtuu useimmiten tuotantopuolen shokeista liittyen esimerkiksi sääoloihin ja poliittiseen epävakauteen. Hintapiikkien vastapainona ei kuitenkaan yleensä ole hintaromahduksia, vaan hintasarjojen ominaisuutena on heilahtelujen vinoutuma ylöspäin. Vinoutuma selittyy varastodynamiikalla: varastokysyntä pitää hintaromahdukset kurissa, mutta varastojen tyhjentäessä hinnat voivat räjähtää ylöspäin. Spekulanttien näkökulmasta juuri hintapiikit pitävät varastoinnin odotetun tuoton siedettävänä. Normaaliaikoina varastoilla spekuloidijat tekevät usein tappiota tarjotessaan markkinoille potentiaalisesti arvokkaan palveluksen hintaheilatteluiden tasauksen kautta.³

² *Lainaamiskielto ei ole täysin ehdoton, sillä yritykset voivat "ostaa" päästölupia maksamalla viranomaiselle ennalta määrätyn sakkosumman. Tämä sakko on kuitenkin liian korkea ollakseen väylä taloudelliseen lainaamiseen.*

³ Deaton A. ja G. Laroque: *On the Behaviour of Commodity Prices*, *Review of Economic Studies*, 59, 1–23 (1992); Williams, J.C. ja Wright B.D., *Storage and Commodity Markets*, Cambridge: Cambridge University Press, 1991

Hyödykemarkkinoiden perusominaisuus on, että markkinatasolla varastot eivät voi olla negatiivisia eli tulevasta tuotannosta ei voi lainata tämän hetken shokin aiheuttamaan tarpeeseen. Shokkeihin on varauduttava varastoinnilla, mikä yhdessä vinoutuneen hintajakauman ohella leimaa hyödykemarkkinoita. Varastopitämisen arvostusta voi mitata suoraan spot- ja futuurihintojen erosta, mikäli hyödykkeellä on futuurimarkkinat. Tämä "Convenience Yield" (CY) voi helposti merkitä jopa 10–15 % kuu-kausikustannusta varastointi- ja korkokustannusten lisäksi pelkästään siitä, että hyödyke on hallussa nyt.⁴ CY-tekijä on suoraan verrattavissa osakkeen tuottamaan osinkoon, joten hyödykkeen nykyhintaa on vain tulevien CY-tekijöiden diskontattu summa, mikäli hyödykkeen varastot eivät markkinatasapainossa eksplisiittisesti tyhjenny.

3. SO₂-luvat hyödykkeinä

Tarkastelen seuraavaksi, miksi voimme rinnastaa SO₂-markkinat hyödykemarkkinoihin. SO₂-luvilla on kolme perusominaisuutta: (i) luvat ovat varastoitavissa, (ii) yritys ei voi käyttää tulevia lupavuosisikertojaan ennen luvan määrittelyvuotta, ja (iii) lupien vuosittaiset allokaatio- ja kulutusohjeet ovat täsmälleen samat koko toimialalle.

Varastointi toimii tarkemmin seuraavasti. Luvat oleilevat elektronisilla tileillä, jonne niitä luodaan kullekin yritykselle vuoden alussa yrityksen allokaatiota vastaava määrä.⁵ Tätä

⁴ Pindyck, R.S., *The Present Value Model of Rational Commodity Pricing*, *The Economic Journal* 103, 511–530, 1993

⁵ *Yritykset saavat luvat ilmaiseksi poliittisesti päätetyn jakosäännön mukaisesti. Lupien jakotavalla ei ole vaikutusta*

voisi kutsua yrityksen vuosivarastoksi, sillä luvilla ei ole suoranaista käyttöä ennen vuoden loppua, jolloin vuoden aikana kertyneet päästöt lasketaan yhteen ja tätä vastaava määrä lupia vähennetään tililtä. Jos lupia jää yli, ne ovat myytävissä tai siirrettävissä seuraavan vuoden allokaation päälle. Käytännössä tilejä ei suljeta vuoden lopussa, vaan yrityksille annetaan 30 päivän ”grace period”, jolloin käydään suuri osa yritysten välisestä kaupasta. Tässä vaiheessa kaupankäynnin edellytykset ovat hyvät, sillä kaikki osapuolet tietävät vuoden aikana tuotetun sähkön ja sitä kautta päästöjen määrän. Lupien varastointipäätökset sen sijaan täytyy tehdä hyvissä ajoin jo ennen vuoden loppua, sillä varasto syntyy vuosittaisen lupa-allokaation ja varsinaisten vuoden aikana syntyneiden päästöjen välisestä erosta. Päästöihin vaikuttavat päätökset tehdään pitkälle jo vuoden alussa. Näitä päätöksiä ovat esimerkiksi hiilitoimistussopimukset, joiden uudelleenjärjestely vaatii helposti vähintään kolmen kuukauden viipeen, tai investointi hiilenpuhdistuslaitokseen, mikä on yli vuosikymmenen ajan vaikuttava tekijä. Päästöihin vaikutetaan myös tuotantomäärillä, mutta tämä ei ole yleensä taloudellinen tapa kontrolloida päästöjä. Näiden päätösten summana yrityksellä on vuoden lopussa ei-negatiivinen varasto, jolla se voi käydä kauppaa tai lisätä seuraavaa allokaatiotaan.⁶

*kaupankäynnin tehokkuusominaisuuksiin, jos markkinat toimivat ideaalisti. Käytännössä kitkattomalla vaihdannalla voi olla minivolyymi, jolloin jaolla on tehokkuusmerkitys (M. Liski, *Thin versus Thick CO₂ Market*, *Journal of Environmental Economics and Management* 41, 295–311, 2001).*

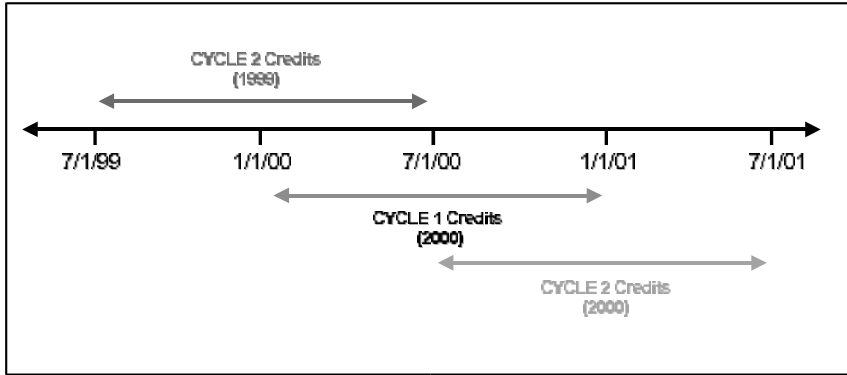
⁶ *Jos hallussa olevat luvat eivät kata vuoden päästöjä, joutuu yritys maksamaan sakon, joka on tällä hetkellä noin 2800 dollaria. Markkinabinta oli vuonna noin 170 dollaria, joten vapaaehtoista sakonmaksua ei luonnollisesti tarvita.*

Elektroniset lupatilat on määritelty myös tuleville vuosille. Vaikka muodollisesti vuosittaiset luvat lisätään tileille aina vuosi kerrallaan, voimme ajatella lupien vuosikertojen odottavan käyttäjänsä valmiina tileillä. Näihin allokaatioihin ei kuitenkaan voi vedota, jos yrityksen päästöt sattuvat ylittämään nykyisen hallussa olevan varannon. Negatiivinen varasto ei ole mahdollinen, kuten ei hyödykemarkkinoillakaan. Yritykset toki tekevät esimerkiksi swap-sopimuksia, jossa yritys A myy vuoden 2002 lupia ja saa B:ltä vastineeksi vuoden 2010 lupia. Syynä voivat olla yritysten kohtaamat erilaiset trendit sähkön kysynnässä sekä investointien erilainen ajoittuminen. Vaikka B näyttää lainaavan A:lle tulevaisuudesta, mitään lainaamista markkinatasolla ei tapahdu.

Lainaamisen mahdottomuus markkinatasolla ei suoraan seuraa siitä, etteivät yksittäiset yritykset saa käyttää tulevia vuosikertojaan. Tarvitaan myös kulutushetkien tai tarkemmin sanottuna lupien vuosikertarakenteen synkronisointi yli yritysten. Kulutushetki on tässä se päivämäärä, jolloin ohjelmaa valvova viranomaisen vähentää päästöjä vastaavat luvat tililtä. Havainnollistan tätä vertaamalla happosadeohjelman vuosikertarakennetta Kalifornian RECLAIM-ohjelman vastaavaan.⁷ Tässä ohjelmassa päästöluvilla säännellään typen oksideja (NO_x). NO_x -lupien vuosikertarakenne on kuviossa 1.

⁷ RECLAIM tulee sanoista ”Regional Clean Air Incentives Market”, jota ballinnoi ”South Coast Air Quality Management District”. Jälkimmäinen on ilmansuojeluviranomainen seuraavilla alueilla: Orange County, Los Angeles, San Bernardino ja Riverside county Etelä-Kaliforniassa. Tarkempia tietoja säänneltävistä saasteista ja lupakaupasta löytyy osoitteesta <http://www.aqmd.gov/>.

Kuvio 1. Päästölupien vuosikertarakenne RECLAIM-ohjelmassa. Lähde: White Paper on Stabilization of NO_x RTC Prices, South Coast Air Quality Management District, 2001



RECLAIM-yritykset on jaettu satunnaisesti kahteen ryhmään (cycle 1, cycle 2). Kuten happosadeohjelmassa yksittäisen yrityksen päästöt mitataan vuoden välein, mutta allokaation jako- ja kulutushetkiä ei ole täydellisesti synkronisoitu, vaan ne poikkeavat kahden yritysryhmän kesken. Ryhmän 1 vuosi on kalenterivuosi; ryhmällä 2 vuosi alkaa kesällä. Tämä mahdollistaa sekä varastoinnin että lainaamisen markkinatasolla, vaikka yksittäiset luvat ovat voimassa vain vuoden. SO_2 -markkinoilla lainaaminen ei ole mahdollista, koska jokaisen yrityksen vuosittainen kulutushetki on ennen jokaisen yrityksen seuraavaa allokaatiohetkeä.

Kuinka lainaaminen RECLAIM-markkinoilla sitten käytännössä tapahtuu? Olettaamme, että toimialatasolla kohdataan poikkeuksellinen lupien kysyntäshokki kalenterivuoden lopussa. Tähän voi olla syynä esimerkiksi kylmän talven aiheuttama sähkön tuotantopiikki. Kun viranomainen vaatii päästölupien luovutusta vuoden lopussa, ryhmän 1 yritykset

eivät ole pelkästään oman allokaationsa varassa, sillä ryhmän 2 yrityksillä on vielä puoli vuotta kulutushetkeen. Ryhmän 2 yritykset ovat halukkaita lainaamaan, sillä kysyntäshokki oli poikkeuksellinen, eikä vastaavaa tule suurella todennäköisyydellä seuraavalla vuosipuoliskolla. Kulutushetkien ajoituksella voidaan siis lisätä markkinoiden likviditeettiä. Lisäksi se mahdollistaa lainaamisen jopa yksittäisen yrityksen tasolla: yritys voi siirtää lupia nykyhetkeen tulevasta omasta allokaatiosta ketjuttamalla swap-sopimuksia ryhmän 2 yritysten kanssa. Samalla periaatteella markkinat voivat rullata periodilta toiselle lupavarastoa, mikäli siihen on taloudellisia perusteita.⁸

⁸ Akateeminen kirjallisuus ei ole täysin ymmärtänyt RECLAIM-vuosikertarakenteen ominaisuuksia. Esimerkiksi Yates ja Cronshaw (Pollution Permit Markets with Intertemporal Trading and Asymmetric Information, *Journal of Environmental Economics and Management* 42, 104–118, 2001) toteavat, että RECLAIM ei salli intertemporaalista

RECLAIM-ohjelmassa luvat on määritelty vain vuodeksi, mutta vuosikertarakenteen vuoksi sekä varastointi että lainaaminen on periaatteessa mahdollista. SO_2 -kaupassa lupien elinikää ei ole rajoitettu, mutta vuosikertarakenteen vuoksi vain varastointi on mahdollista. Siksi SO_2 -luvat ovat lähempänä perinteisiä hyödykkeitä. Ne ovat poikkeuksellisia hyödykkeitä, sillä varastointikustannus on kirjaimellisesti nolla. Lisäksi transaktiot eivät vaadi fyysistä toimitusta, mikä vaikuttaa sopimusympäristöön: transaktioiden mukaiset toimitukset on mahdollista tehdä tulevaisuuden tileille jo nyt.

SO_2 -lupia ei aina ole nähty hyödykkeiden kaltaisina, koska yksittäinen yritys voi kuluttaa koko vuoden pitämättä yhtään lupaa hallussaan, kunhan luvat hankitaan vuoden loppuun mennessä. Tämä ”use them now, buy them later” periaate ei kuitenkaan ole mahdollista markkinatasolla. Markkinatasapainon määrittää vuoden aikana syntynyt kokonaiskysyntä (päästöt), vuotta varten määritellyt luvat, markkinoiden hallussaan pitäminen sekä odotukset seuraavan vuoden tilanteesta. Markkinatasolla vuoden varasto on aina ei-negatiivinen, mikä on hyödykemerkkinoiden ominaisuuksia määräävä tekijä. Analogia hiileen on tässä hyödyllinen. Hiilivoimalaitos tarvitsee hiilivaraston, koska panoksen päivittäinen käyttö vaihtelee ja panoskäyttö vähennetään varastosta minuutti minuutilta. Myös luvat voitaisiin periaatteessa vähentää yrityksen lupatililtä jatkuva-aikaisesti, onhan valvontateknologia jat-

kuva-aikainen. Tässä tapauksessa lupien varastodynamiikka muistuttaisi hiilen vastaavaa.

4. SO_2 -lupien varastointi 1995–2001

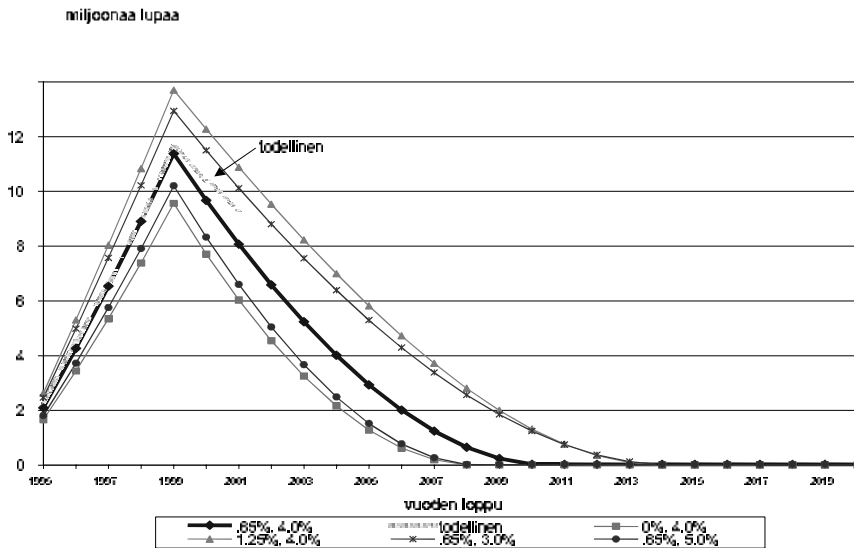
Edelläkuvatun perusteella voi nyt kysyä, onko SO_2 -markkinoilla hyödykemerkkinoiden ominaispiirteitä, kuten mahdollisesti voimakas hintavolatiliteetti. Tähän on aikaista vastata käsillä olevan aineiston pohjalta, koska SO_2 -markkinoita leimaa väliaikainen piirre, jota ei havaita muilla hyödykemarkkinoilla: deterministisesti ennakoitu tarjontapuolen shokki. Kyse on siitä, että ohjelma toteutetaan kahdessa vaiheessa, karkeasti ottaen seuraavasti. Vuosina 1995–1999 mukana olivat vain eniten saastuttavat yritykset, joille jaettiin vuosittain suhteellisen runsaskätinen lupa-allokaatio. Vuodesta 2000 lähtien mukaan tulivat loputkin ohjelman piiriin kuuluvat voimalaitokset, joiden allokaatiot merkitsivät alusta pitäen todellista päästörajoitusta. Lisäksi jo mukana olleiden vuosittaista allokaatiota leikattiin rajusti.⁹ Yritykset saattoivat siis täysin ennakoida lupatarjonnan pientenymisen vuodesta 2000 eteenpäin.

Vuoden 2000 tarjontashokki tarkoitti hypystä niissä kustannuksissa, jotka syntyvät päästöjen leikkauksista. Jos luvat eivät olisi varastoitavissa, hyppy merkitsisi hyppyä myös lupien vuosittaisessa markkinahinnassa. Varastointitasapainossa tätä hyppyä ei tietenkään voi

kaupankäyntiä. Haastattelemieni välittäjien mukaan markkinat ymmärtävät edellä kuvaamani mahdollisuudet intertemporaaliseen kaupankäyntiin, mutta lupien alaiset hinnat ennen Kalifornian energiakriisiä eivät kannustaneet näiden mahdollisuuksien käyttöön. Kesällä 2000 hinnat räjähtivät, mikä johti ohjelman uudelleenarviointiin.

⁹ Vuonna 2000 alkanut ohjelman toinen vaihe eroaa ensimmäisestä ei pelkästään leikkausvaatimusten kiristymisen vaan myös kattavuuden osalta. Ensimmäinen vaihe koski suoraan 263 likaisinta laitosta, joiden päästöt vuonna 1985 olivat 2,5 naulaa SO_2 -päästöjä per miljoona BTU (2,5 mm-BTU). Toisessa vaiheessa mukavana ovat kaikki yli 25 MW^e laitokset.

Kuvio 2. Lupavarasto



syntyä, sillä yritykset pyrkivät leikkaamaan päästöjä vaadittua enemmän ennen hyppyä ja sitä kautta varastoimaan lupia. Vuoden 2000 jälkeen päästöjä leikataan vaadittua vähemmän eli lupia käytetään varastosta. Tasapainohintaurassa ei varaston vuoksi havaita hyppyä, mutta ei myöskään perinteisiltä hyödykemarkkinoilta tuttuja piirteitä, sillä vuoden 2000 aiheuttama varasto maskeeraa hyödykemarkkinoilta tutun varastodynamiikan. Tämä maskeeraus on melko täydellistä, koska noin kolmasosa vuosien 1995–1999 allokaatioista varastoiitiin, mistä johtuen vuoden 2000 varasto oli suurempi kuin vuoden 2000 kulutus.¹⁰ Käytettiinpä mitä tahansa mittaria, on tämän suuruinen varasto merkittävä.

¹⁰ Kulutuksella tarkoitetaan tässä vuoden 2000 allokaatiota, mikä oli 9,93 milj. lupaa; varaston suuruus oli 11,65 milj. lupaa.

Kuvio 2 kuvaa SO_2 -lupien varaston kehityksen sekä erään teoreettisen mallin tuottaman varastokehityksen.¹¹ Todellinen varasto seuraa melko tarkasti teoreettisen mallin tuottamaa uraa, kun valitaan 4 %:n reaalin korkokanta.¹² Teoreettinen malli on vain tavanomainen kuvaus hyödykemarkkinasta, joka on poissa pitkän aikavälin tasapainosta tarjontashokin vuoksi. Analoginen kuvaus voidaan ajatella esimerkiksi maailman kultamarkkinoille – erityi-

¹¹ Kuvion lähde: Ellerman, D. ja J.-P. Montero, *The Temporal Efficiency of Emissions Trading*, MIT-CEEPR working paper, August 2002.

¹² Tämän uran taustalla on oletus 0,65 % vuosikasvusta päästöjen leikkaustarpeesta, mikä tulee lähinnä sähkön tuotannon kasvusta. Päästöluopien beta on käytännössä nolla, joten 4 %:n korko on mielekkäästi valittu. Kuvion muut urat on tuotettu vaihtelemalla päästöleikkausten kasvu-ole- tusta ja korkoa.

sesti 1970-luvulla nämä olivat poissa pitkän aikavälin tasapainosta, koska keskuspankit myivät kultavarantojaan.¹³ SO_2 -markkinat ovat poissa pitkän aikavälin tasapainosta, koska vaiheen 1 yritykset saattoivat säästää vuosien 1995–1999 runsaskäitiset allokaatiot merkittäväksi varastoksi, jota nyt kulutetaan.

Siirtymävaiheen varastotasapainossa odotettujen lupahintojen täytyy nousta koron vauhdilla, jotta arbitraasimahdollisuuksia ei ole. Koska hinnat kertovat päästöleikkausten rajakustannukset, nousevat myös rajakustannukset koron vauhdilla. Päästökauppa siis yhtäläistää rajakustannukset periodin aikana, kun taas varastointi yhtäläistää nykyarvoiset rajakustannukset periodien välillä.

Kuvion 2 perusteella yritykset seuraavat näitä tasapainoehdoita varsin hyvin, jos uskomme 4 prosentin reaaliiseen korkokantaan. Varastointi tarjoaakin arvokasta lisäinformaatiota lupakaupan tehokkuudesta. Ilman varastointia yritysten rationaalinen käyttäytyminen täytyy päätellä yritystason transaktioista, joista on hankala saada informaatiota. Varastointi antaa mahdollisuuden päätellä tehottomuudet aggregaattitaso aineistosta.¹⁴

Varastointimahdollisuus sisällytettiin taroituksella Yhdysvaltain haposadeohjelmaan. Se on yksinkertainen tapa välttää liiallisia sopeutumiskustannuksia, jotka aiheutuvat kokonaispäästörajoitteen kiristämisestä. Lupien

määrittely varastoitaviksi antaa yrityksille mahdollisuuden itse valita päästörajoitteen todellisen kiristymistahdin. Tämä luomus on myös osa EU:n päästökauppadirektiiviehdotusta, joka koskee hiilidioksidipäästöjä (EU:n Komissio, 2001).

5. Pitkän aikavälin SO_2 -markkinat

Tarkastelen seuraavaksi mahdollisuutta, että pitkän aikavälin SO_2 -markkinoita leimaavat hyödykemarkkinoiden volatilititeettiongelmat. Pitkällä aikavälillä vuoden 2000 aiheuttama varasto on tyhjentyne ja varastointimotiivi liittyy epävarmuuden aiheuttamien heilahteluiden tasaamiseen, kuten perinteisillä hyödykemarkkinoilla.¹⁵ Tämä tilanne on useimpien laskelmien mukaan käsillä viimeistään vuonna 2010, mikäli haposadeohjelmia ei allokaatioiden tai kattavuuden osalta muuteta.¹⁶ Kuinka merkittävä on pitkän aikavälin varastointimotiivi tai hintojen volatilititeetti SO_2 -markkinoilla? Tämä on vielä tutkimaton kysymys, mutta tarjoan tässä alustavan vastauksen: vuosittaisesta kysyntävaihtelusta aiheutuva varastointimotiivi näyttää pieneltä.

¹⁵ Hintavolatilititeettiä on toki esiintynyt jo ohjelman alkuvaiheessa, mutta se johtuu markkinoiden odotusvirheistä sekä mahdollisesti poliittisesta epävarmuudesta. Näitä tekijöillä on varmasti rooli jatkossakin. Näibin en tässä paneudu, vaan kysyn, onko lupien määrittely varastoitavien hyödykkeiden kaltaisiksi itsessään volatilititeetin lähde?

¹⁶ Helmikuussa 2002 presidentti Bush julkaisi ”Clear Skies” aloitteensa, joka vähentäisi vuosittaisia lupa-allokaatioita dramaattisesti eli nykyisestä 8,9 miljoonasta 4,5 miljoonaan vuonna 2010 ja edelleen 3 miljoonaan vuonna 2018. Toiteutessaan aloite synnyttäisi uuden varastointivaiheen, mutta jo nyt epävarmuus uusista leikkauksista voi olla varastointimotiivi.

¹³ Salant ja Henderson (*Market Anticipations of Government Policies and the Price of Gold*, *The Journal of Political Economy* 86, pp. 627–648, 1978) analysoivat, kuinka odotukset myynneistä vaikuttavat hintauraan. Tekstissä mainittu analogia viittaa myynnin jälkeiseen tilanteeseen.

¹⁴ Montero, J.-P., *Testing the Efficiency of a Tradable Permits Market*, MIT-CEEPR working paper, August 2002.

Edellisen väitteen perustan seuraaviin laskelmiin. Pitkän aikavälin varastokysyntään vaikuttaa kaksi perustekijää: (1) Lupien kysynnän vuosittainen vaihtelu ja toisaalta (2) lyhyen aikavälin päästöleikkausten kustannus. Jälkimmäinen tekijä määrää, kuinka helposti yritykset voivat reagoida kysyntäshokkeihin. Jos esimerkiksi 10 % sähkötuotannon lisäyksen aiheuttamat päästöt voidaan leikata täysin ilman lisäkustannuksia, ei markkinoilla ole tarvetta varastoida lupia tämäntyyppisen epävarmuuden vuoksi. Lupien kysyntävaihtelu syntyy juuri sähköntuotannon heilahteluista, mikä puolestaan näkyy toimialan polttoaine- eli lämpöpanoksen käytön vaihteluna (heat input).

Varastokysynnästä voi saada käsityksen haarukoimalla kahta em. tekijää. Laskin vuosien 1988–2000 kokonaislämpöpanoksen 374 voimalaitokselle, jotka olivat mukana ohjelman ensimmäisessä vaiheessa (Phase I units).¹⁷ Näinä vuosina lämpöpanoksen trendillä oli 0,65 prosentin vuosikasvuvauhti. Heilahtelut panoksen käytössä pysyivät kaikkina vuosina alle 10 %:n päässä trendin mukaisesta käytöstä. Tämä antaa käsityksen päästöjen leikkaustarpeen kasvusta ja vaihtelusta, sillä lämpöpanos määrää päästöt ennen leikkauksia (peruspäästöt). Peruspäästöjen vaihtelu puolestaan määrää leikkausten kustannusten kautta päästölu-pien hintavaihtelut. Tässä oletan, että lupava-

rastoja ei pidetä. Jos hintavaihtelut osoittautuvat pieniksi, niin tämän oletuksen pitäisi olla karkeasti oikea. Jos hintavaihtelut osoittautuvat suuriksi, niin varastointimotiivi on olemassa, kuten muillakin hyödykemarkkinoilla.

Lyhyen aikavälin kustannukset riippuvat vuoden sisällä tehdyistä toimista eli toimista, jotka ovat reagointia epävarmuuteen. Nämä kustannukset määräävät lupien hinnan vaihtelun trendin ympärillä. Pitkän aikavälin leikkauskustannus syntyy toimista, joilla yritys sopeutuu ennustettavaan trendiin leikkaustarpeessa. Nämä kustannukset määräävät lupahinnan trendin. Ellerman ja Montero (2002) osoittavat, että tämän toimialan pitkän aikavälin kustannuksia voidaan mielekkäästi luonnehtia käyttämällä lineaarista kustannusfunktiota αq , missä q on toimialan päästöleikkaukset (miljoonaa tonnia) ja $\alpha = 37,20$. Lyhyen aikavälin kustannuksille he käyttävät funktiota αq^γ , missä $\gamma = 3.55$.

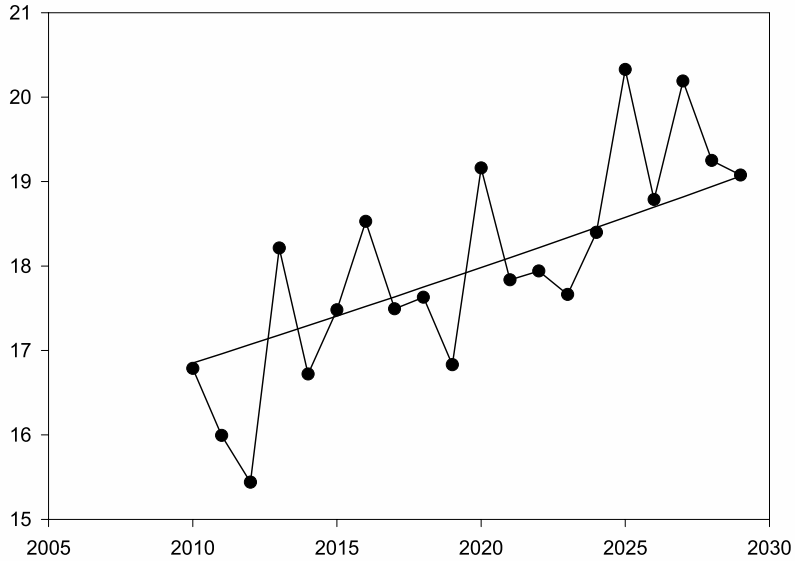
Vuoden 2010 estimoidut peruspäästöt ovat 15,79 miljoonaa tonnia. Merkitään peruspäästöjä kirjaimella u . Jos päästöt kasvavat historiallisen trendin mukaisesti eli 0,65 prosentin vuosivauhtia, niin peruspäästöjen trendi seuraa yhtälöä $u(t) = u_0 \exp(gt)$, missä vuosi 2010 vastaa hetkeä $t = 0$, $u_0 = 15,79$ ja $g = 0,0065$.

Lupien vuosiallokaatio pysyy nykyisen lainsäädännön mukaan vakiona 9,94 miljoonassa tonnissa. Merkitään tätä allokaatiota kirjaimella a . Vuosittaisen leikkaustarpeen trendi on siis $u_0 \exp(gt) - a$ ja lupahintojen trendi $\alpha(u_0 \exp(gt) - a)$, missä jälkimmäinen seuraa pitkän aikavälin kustannusfunktiosta.

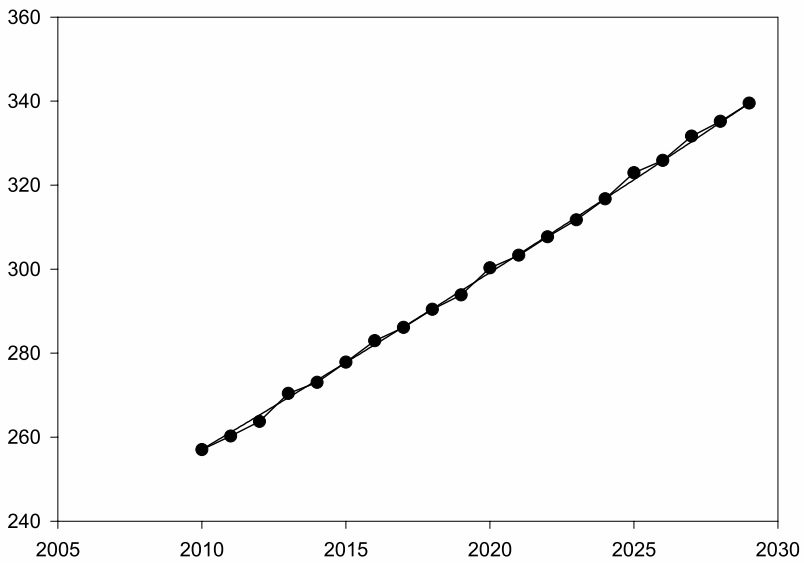
Peruspäästöjen heilahtelut riippuvat satunnaistekijästä θ_t , jolla on odotusarvona nolla, ja joka on samanlaisesti ja riippumattomasti jakautunut eri periodeilla. Poikkeama trendistä vuonna t on suuruudeltaan $u_0 \exp(gt) \times \theta_t$

¹⁷ Näitä on enemmän kuin ohjelmaan pakotetut 263 laitosta, koska mukaan saattoi tulla myös vapaaehtoisesti. Vapaaehtoisuuteen oli kannustin, sillä osallistuminen merkitsi allokaation saamista. Tämä johti osittain vääriin valikointumiseen ja yritysten palkitsemiseen toimista, jotka olisi toteutettu muutoinkin (J.-P. Montero, "Voluntary compliance with market-based environmental policy: Evidence from the US Acid Rain Program" *Journal of Political Economy* 107, 998–1033, 1999).

Kuvio 3. SO₂ peruspäästöjen estimoitu trendi ja simuloidut heilauttelut vuosille 2010–30 (milj. tonnia)



Kuvio 4. SO₂ lupaintojen estimoitu trendi ja simuloidut heilauttelut vuosille 2010–2030. Hinnat dollareita



Käyttäen tätä ja lyhyen aikavälin kustannus-funktiota on helppo laskea, että hinnan poikkeama trendistä on suuruudeltaan

$$\Delta p_t = \frac{\gamma}{\alpha} \exp(gt) \times \theta_t.$$

Tästä näkyy suoraan, kuinka helppous leikkausten sopeuttamisessa (γ) ja toisaalta sähkön tuotantotarpeen vaihtelut (θ_t) vaikuttavat hintaheilahteluihin.

Kuviossa 3 raportoin peruspäästöjen trendin vuodesta 2010 eteenpäin ja tietokoneen tuottaman satunnaisotoksen poikkeamille, jotka pysyvät historiallisesti havaitun vaihteluvälin sisällä. Kuviossa 4 on päästölupien hintatrendi samalle aikajänteelle. Lisäksi kuviossa 4 on – tuskin havaittavia – poikkeamia trendistä, jotka perustuvat edellä laskettuun kaavaan. Nämä ovat niitä hintavaihteluita, joiden pitäisi synnyttää varastointimotiivi. Kuvion 4 perusteella on aivan selvää, että näillä oletuksilla varastointimotiivi on olematon.

Varastointitarve pitkällä aikavälillä edellyttää joko paljon tässä kuvattuja suurempia kysyntävaihteluita lämpöpanoksen kautta (parametri θ_t) tai huomattavasti suurempia lyhyen aikavälin kustannuksia (parametri γ). Ensimmäinen selitys ei tunnu uskottavalta, koska Yhdysvaltain sähkötuotantomäärät ovat historiallisesti kehittyneet melko ennustettavasti. Lupamarkkinat kattavat koko mantereen, jolloin alueiden väliset kysyntäheilahtelut tasaavat toisiaan. Jälkimmäinen selitys on mahdollinen, koska lyhyen aikavälin kustannuskäsite on häilyvä luonteeltaan ja riippuu ajasta, joka on käytettävissä leikkausten tekemiseen. Vuoden loppua kohden annetun leikkauksen tekeminen tulee äärimmäisen kalliiksi, sillä leikkaus voidaan lopulta toteuttaa vain seisottamalla tuotantolaitoksia. Näiden kysymysten analysointi

edellyttää sähkötuotantosektorin erityispiirteet huomioonottavaa varastointimallin kehittämistä.

6. Päätelmät

Yhdysvaltain happosadeohjelman SO_2 -luvut ovat varastoitavien hyödykkeiden kaltaisia. Tämä lupamääritys sopii erittäin hyvin yhteen ohjelman kiristyvien tavoitteiden kanssa, koska yrityksillä on mahdollisuus minimoida päästöjen lisäleikkauksista syntyviä sopeutumiskustannuksia. Tästä joustavasta sopeutumisesta aiheutuva ympäristökustannus jäänee pieneksi. Lupien määrittely hyödykkeiden kaltaisiksi tuskin tulee aiheuttamaan merkittävää ylimääräistä volatiliiteettia pitkän aikavälin lupahinnoissa, koska sähkötuotantomäärät kehittyvät melko ennustettavasti. Heilahteluja voi syntyä, jos yritysten lyhyen aikavälin leikkauskustannukset ovat huomattavasti kirjallisuudessa arvioitua suuremmat.

Tässä kuvaamani luomus voi olla ongelmallinen, jos lupien hyödykeominaisuudet merkitsevät myös hyödykemarkkinoilta tuttuja vitauksia kuten hintavaihtelua ja merkittäviä kustannuksia varastoinnista. Tämä vaikuttaa mahdolliselta, jos säännelyjen yritysten toimintaympäristö ei lupamarkkinoiden tasolla ei ole luonteeltaan vakaa. Esimerkiksi Yhdysvaltain sähkötuotantosektorilla tapahtuu suuria muutoksia alueellisesti, mutta koska lupamarkkinat toimivat koko mantereen laajuudella, ei markkinatason epävarmuus ole merkittävää. Tulevien vähemmän vakaiden toimialojen sääntelijöiden kannattaa pitää mielessä, että lupien määrittelyä varten on vaihtoehtoja, jotka tukevat hintavakautta.

Teoreettinen optimi vakaan päästötavoitteen toteuttamiseksi on sallia lupien lainaus

tulevista vuosikerroista vaihtokurssilla, joka poistaa lainaamismotiivin puhtaasti diskonttauksen vuoksi. Tällöin yritykset lainaavat vain shokkien aiheuttamaan tarpeeseen. Tämä lainaus likviditeetin lähteenä ei ole ollut suosittu vaihtoehto aiemmissa ohjelmissa, koska optimaalisia vaihtokursseja eri lupavuosikertojen välille on käytännössä vaikea määritellä. Pelkkä varastointimalli on yksinkertainen hallinnoida. Lisäksi poliitikot hyväksyvät helpommin vuosittaisina allokaatioina luovutettavat omistusoikeudet päästöihin kuin pysyvät omistusoikeudet.¹⁸ Käytännön korvike lupien lainauk-

selle on lupakaupan täydentäminen yksinkertaisella hintainstrumentilla: mikäli lupahinnat ylittävät ennalta määritellyn rajan, voi lupien käytön ohittaa maksamalla päästöveron. Yhdysvaltain haposadeohjelmassa tämä mahdollisuus on jo olemassa, sillä yritykset maksavat 2000 dollarin sakon¹⁹ jokaisesta tonnista, jota ei kateta päästöluvilla. Vastaava sakko, mutta lähempänä markkinahintaa, voi toimia varaventiilinä poistamassa hintavaihteluita, vaikka luvat muuten olisivat varastoitavien hyödykkeiden kaltaisia.²⁰ □

¹⁸ Jos yritys voi lainata tulevien vuosien allokaatioistaan, niin silloin yrityksellä on täysi omistusoikeus koko allokaatiovirtaan. Käytännössä viranomaiset saattavat pelätä myös lainaamista ilman takaisinmaksua.

¹⁹ Sakko on 1990 vuoden dollareissa; inflaatiokorjattuna maksu on nykyisin noin 2800 dollaria.

²⁰ EU:n päästökauppadirektiiviehdotus sisältää maksun, joka on kuitenkin liian korkea ollakseen yllämainitun varaventiilin kaltainen.