

## Väitöskirja ympäristöpäästöistä ja yritysten tuotannosta

RUNAR BRÄNNLUND

professori

Uumajan yliopisto

Lauri Hetemäki: Essays on the Impact of Pollution Control on a Firm: A Distance Function Approach; Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja, no. 609.

Väitöskirjan keskeinen tavoite on arvioida, kehittää ja soveltaa menetelmiä, joiden avulla voidaan mitata ympäristöpäästöjen säätelyn (kontrollin) kustannuksia. Tämä on tärkeä aihepiiri monestakin syystä. Ensinnäkin suunniteltaessa ympäristöpolitiikkaa on päästöjen vähentämisen aiheuttaman ympäristöhyödyn lisäksi tiedettävä kuinka suuret ovat kustannukset päästöjen säätelystä. Todennäköisesti suurin osa ihmisistä kannattaa päästöjen vähentämistä ja ovat valmiita jopa maksamaan siitä, mutta eivät kuitenkaan rajoittamattomasti. Onkin selvää, että tarvitsemme tietoa myös päästöjen vähentämiseen liittyvistä kustannuksista. Toinen syy estimoida näitä kustannuksia erityisesti yrityksen tasolla on tehokkuusnäkökohta. Voidaan osoittaa, että tiettyjen ehtojen ollessa voi-

massa kustannustehokas politiikka edellyttää, että eri yritysten päästöjen vähentämisen rajakustannukset ovat yhtäsuuria. Tällöin tehokkaan politiikan soveltamisen edellytys on tieto näistä kustannuksista eri yrityksissä.

Perinteinen tapa estimoida päästöjen säätelyn kustannuksia on tarkastella kuinka yritysten voitot tai kustannukset muuttuvat kun jotakin päästörajoitetta muutetaan. Näissä tutkimuksissa on yleensä oletettu, että yritys valmistaa yhtä lopputuotetta käyttäen useita eri tuotantopanoksia ja että yksi tuotantopanoksisista aiheuttaa päästöjä, joita säädellään. Tässä lähestymistavassa on ainakin kolme keskeistä puutetta. Ensinnäkin päästöt syntyvät usein vasta tuotantoprosessissa ja siten niitä "tuotetaan" yhdessä (jointly) varsinaisen lopputuotteen kanssa. Toisin sanoen päästöjen eli "pahan" lopputuotteen ja varsinaisen "hyvän" lopputuotteen välillä vallitsee teknologinen riippuvuus. Perinteinen lähestymistapa ei eksplisiittisesti huomioi tätä riippuvuus-suhdetta. Toinen ongelma on, että näissä tutkimuksissa oletetaan yritysten aina maksimoivan voittoja tai mini-

moivan kustannuksia eli ne operoivat ainoastaan tuotannon tehokkuusrintamalla (production possibility frontier) ja ovat siten aina tehokkaita. Käytännössä näin ei kuitenkaan välttämättä ole. Kolmanneksi monet aiemmista lähestymistavoista edellyttävät tietoja (havaintoja) ympäristörajoitteista. Kuitenkin luotettavia ja systemaattisia havaintoja ympäristörajoitteista on usein hyvin hankala tai mahdoton saada etenkin yritys- ja tehdastasolla. Tätä ongelmaa on pyritty ratkaisemaan eri tavoin. Esimerkiksi Pittman (1983) olettaa, että ympäristörajoitteet ovat aina sitovia ja siten rajoitteen sijasta voidaan käyttää havaintoja todellisista päästöistä. Nämä ratkaisut kuitenkin tuottavat useimmiten uusia ongelmia.

Väitöskirjassa käytetty ns. etäisyysfunktio-lähestymistapa poikkeaa edellämäisestä perinteisistä lähestymistavoista. Väitöskirjan teoreettinen viitekehys perustuu tuotosetäisyysfunktio-malliin (output distance function), joka sallii eksplisiittisesti "hyvien" (sellu) ja "pahojen" (vesistö-päästöt) lopputuotteiden yhteistuotantoprosessin. Lisäksi perinteisistä lähestymistavoista poiketen malli ei edellytä, että yritykset onnistuvat aina maksimoimaan voittonsa tai minimoimaan kustannukset eli yritykset eivät välttämättä aina toimi tuotannon tehokkuusrintamalla. Etäisyysfunktio-lähestymistavan hyvä puoli onkin sen yleisyys suhteessa perinteisiin lähestymistapoihin. Lisäksi etäisyysfunktio-ot ovat erityisen hyödyllisiä saastuttavien toimialojen tuotantoprosessien kuvauksessa, sillä niiden avulla saadaan laskettua vaivattomasti markkinoimattomien tuotteitten (kuten päästöt) varjohintoja. Tämä on mahdollistaa etäisyysfunktioiden ja perinteisten tuotantofunktioiden välillä vallitsevien duaalirelaatioiden perusteella. Päästöjen varjohintojen (eli pahojen ja hyvien lopputuotteiden rajasubstituoitiosuhteen) merkki ja kvantitatiivinen suuruus määrittää

päästöjen vähentämisen kustannusrasitteen yrityksille. Esimerkiksi, jos päästöjä voidaan vähentää ainoastaan siirtämällä osa tuotantopanoksista päästöjen vähentämiseen, pystytään annetuilla tuotantopanoksilla tuottamaan aiempaa vähemmän hyvää lopputuotetta. Tällöin päästöjen varjohinta on negatiivinen ja päästöjen säätely vähentää yrityksen voittoja.

Väitöskirjassa etäisyysfunktio-lähestymistapa sovelletaan Suomen sulfaattiselluteollisuuteen. Tämä toimiala on mielekäs valinta tutkimuksen kysymyksenasettelun kannalta. Toimialan merkitys osana Suomen massa- ja paperiteollisuutta on keskeinen ja toisaalta se on ollut eräs suurimmista vesistöjen kuormittajista. Säätelytoimenpiteistä (ja muista seikoista) johtuen sulfaattiselluteollisuudessa vesistö-päästöt ovat Suomessa vähentyneet murto-osan 1970-luvun alun huippulukemista. Tämä muutos tekee toimialan erityisen mielenkiintoiseksi tarkasteltaessa päästöjen säätelyn vaikutuksia yritysten tuotantoon. Väitöskirjassa aihetta tutkitaan käyttämällä paneeliaineistoa Suomen sulfaattiselluteollisuudesta vuosilta 1972-1990.

Väitöskirja koostuu laajahkosta kirjallisuuskatsauksesta ja kolmesta eri esseestä. Kirjallisuuskatsaus on painottunut käsittelemään etäisyysfunktio-lähestymistavan sovelluksia. Katsauksen hyödyllisyyttä korostaa se, että vastaavatyypistä ei ole aiemmin julkaistu. Vaikka etäisyysfunktioiden teoriaa ja niiden (lineaariseen ohjelmointiin perustuvia) sovelluksia käsitteleviä oppikirjoja on julkaistu viimevuosina on niistä puuttunut stokastisten etäisyysfunktioiden sovelluksia ja erilaisten empiiristen lähestymistapojen vertailua koskeva keskustelu. Hetemäen katsaus korjaa tätä puutetta.

Kaikki väitöskirjan esseeet tarkastelevat Suomen sulfaattiselluteollisuuden vesistö-päästöjen säätelykustannusten estimointiin liittyvää problematiikkaa. Lisäksi kolmannessa esseessä ai-

hepiiriä laajennetaan myös tarkastelemalla ympäristörajoitteen vaikutusta tuotannon tehokkuuteen. Ensimmäinen essee "*The Impact of Pollution Control on the Pulp Industry: A Comparison of Deterministic and Stochastic Approaches*" on metodologisesti painottunut ja siinä vertaillaan determinististä ja stokastista etäisyysfunktion estimointia. Näiden lähestymistapojen vertailua ei ole kirjallisuudessa aiemmin tehty. Deterministisessä lähestymistavassa oletetaan, että tutkimusaineisto ei sisällä mitta- tai muita virheitä ja päästöjen vähentämisen kustannukset "estimoidaan" käyttäen parametrista lineaarista ohjelmointimallia. Toisaalta stokastisessa mallissa oletetaan, että havaintoaineisto sisältää mitta- ym. virheitä ja päästöjen vähentämisen kustannukset estimoidaan ekonometrisesta mallista. Tutkimuksen eräs keskeinen menetelmällinen tulos on se, että estimoidut päästöjen kontrolloinnin kustannukset ovat herkkiä valitulle estimointimenetelmälle. Lisäksi tulokset viittaavat siihen, että stokastinen lähestymistapa tuottaa robustisempia tuloksia kuin deterministinen estimointimenetely. Stokastisen lähestymistavan hyvä puoli on myös se, että se mahdollistaa tilastollisen päättelyn mm. päästöjen varjohinnoista.

Hetemäen tulokset ovat erityisen hyödyllisiä sitä taustaa vasten, että valtaosa etäisyysfunktioiden sovelluksista on ollut deterministiseen lähestymistapaan perustuvia ja niissä tehty tulosten herkkyystarkastelu on ollut vähäistä. Tutkimuksen hyödyllisyyttä olisi tosin lisännyt lähestymistapojen yksityiskohtaisempi vertailu. Erityisesti olisi ollut mielenkiintoista, jos eri lähestymistapojen vertailussa olisi hyödynnetty enemmän ns. bootstrapping menetelmää. Nyt tätä menetelmää on käytetty ainoastaan stokastisen mallin osalta, mutta bootstrappingin käyttö olisi ollut hedelmällistä myös deterministisen lähestymistavan osalta.

Tutkimuksen substantiaaliset tulokset ovat mielenkiintoisia erityisesti kahdesta syystä. Ensinnäkin tutkimuksessa on eroteltu päästöt kahteen kategoriaan: viranomaisten säätelemiin päästöihin ja päästöihin, joille ei ole asetettu mitään rajoitteita. Aiempi kirjallisuus on keskittynyt pelkästään tarkastelemaan ensinmainittuja päästöjä. Toisaalta tutkimuksessa ei ole a priori rajoitettu päästöjen varjohintojen merkkejä ei-positiivisiksi, kuten aiemmissa etäisyysfunktio tutkimuksissa. Tutkimuksen tulokset osoittavatkin, että niiden vesistö päästöjen varjohinnat, joita ei ole säädelty viranomaisen rajoitteilla ovat positiivisia. Tämä merkitsee sitä, että on mahdollista samanaikaisesti vähentää päästöjä ja lisätä sellun tuotantoa ja siten lisätä tehtaan tuloja. Sen sijaan useimmissa mallivaihtoehtoissa viranomaisen säätelemälle jätevesipäästölle (BOD) varjohinta on negatiivinen. Kaikissa väitöskirjan esseissä varjohinnoille estimoidut tulokset ovat samanasuuntaisia. Tulosten tulkinta ei ole kuitenkaan ongelmattonta. Tutkimuksessa jää mm. auki kysymys siitä, mistä ko. tulokset johtuvat. Valittu lähestymistapa ei anna tähän vastausta.

Toisessa esseessä "*Estimating Shadow Prices of Bads Using a Two-Stage Stochastic Distance Function Model*" kehitetään ja sovelletaan uutta estimointimenetelyä stokastisen etäisyysfunktion estimointiin ja päästöjen sääteleykustannusten mittaamiseen. Stokastisen etäisyysfunktion estimoinnissa on eräänä ongelmana se, että yhtälön selitettävästä muuttujasta (toteutuneen panos-tuotos kombinaation ja tehokkaan panos-tuotokombinaation erotuksesta) ei ole yleensä havaintoja. Kirjallisuudessa on esitetty eri tapoja ratkaista tämä ongelma. Kaikkiin näihin ratkaisumalleihin liittyy kuitenkin uusia ongelmia. Tässä tutkimuksessa esitetään uusi kaksivaiheinen menetelmä stokastisen etäisyysfunktion estimoinnille. En-

simmäisessä vaiheessa ei-parametrissa lineaarista ohjelmointia käytetään tehokkuuden (etäisyysmittojen) laskemisessa ja toisessa vaiheessa näitä arvoja käytetään selitettävänä muuttujana stokastisessa etäisyysfunktiossa. Tällä lähestymistavalla pystytään välttämään tiettyjä ongelmia, jotka ovat liittyneet aiempiin stokastisten etäisyysfunktioiden estimointimenettelyihin. Tosin tutkimuksessa esitetty kaksivaiheinen estimointimenettely saattaa myös olla ongelmallinen. Esimerkiksi ongelmana saattaa olla mm. se, että ensimmäisen vaiheen lineaarinen ohjelmointi malli ratkaistaan käyttäen aineistoa, jossa havainnot ovat "poolattu", mutta toisen vaiheen ekonometrisessä mallissa havaintoja käsitellään paneeliaineistona (tehdas- ja periodikohtaiset kiinteät havainnot).

Kolmas essee, "*Do Environmental Regulations Increase Production Efficiency? Evidence from the Pulp Industry*" tarkastelee ns. Porterin hypoteesia. Tämän hypoteesin mukaan, jonka on esittänyt Michael Porter Harvardin yliopistosta, oikein asetettu ympäristönsäätelyrajoite ei ainoastaan paranna ympäristön tilaa vaan myös lisää säädeltyjen yritysten kilpailuetua (tehokkuutta). Porterin mukaan tämä johtuu mm. siitä, että rajoite pakottaa yritykset uudelleen suunnittelemaan tuotantoprosessiaan ja innovoimaan uusia tuotantomenetelmiä, jotka puolestaan tehostavat tuotantoa. Kirjallisuudessa ei ole aiemmin testattu Porterin hypoteesia. Tätä on vaikeuttanut se, että hypoteesia ei ole täsmällisesti formuloitu. On kuitenkin tärkeää, että hypoteesin taustalla olevia argumentteja pyritään analysoimaan empiirisesti, etenkin kuin Porterin hypoteesi on saanut runsaasti huomioita osakseen. Hetemäki "testaa" tätä hypoteesia tarkastelemalla ympäristönsuojelu-

rajoitteen kireyden ja tuotannon tehokkuuden välistä suhdetta.

Tutkimuksessa estimoidaan stokastinen etäisyysfunktio simultaanisesti yhtälön kanssa, jossa tehottomuutta selitetään funktiona ympäristörajoitteen kireydestä ja kapasiteetin käyttöasteesta. Tutkimuksen tulokset eivät anna tukea Porterin hypoteesille. Eli kun tutkimusperiodilla käytössä ollut ympäristörajoitetta on kiristetty on se johtanut sellutehtaiden tuotannon tehokkuuden heikkenemiseen. Hetemäki kuitenkin korostaa, että tätä tulosta ei voida täsmällisesti ottaen tulkita Porterin hypoteesin testaamiseksi. Se ainoastaan kertoo, että käytössä olleen rajoitteen kiristäminen ei ko. tapauksessa ole lisännyt tuotannon tehokkuutta. Avoimeksi jää olisiko jollakin toisella tai eri tavalla asetulla rajoitteella ollut toisenlainen vaikutus.

Yhteenvetona voidaan todeta, että väitöskirjan esseiden vahvuutena on selkeä yhteys teoreettisten ja empiiristen mallien välillä. Hetemäki osoittaa kuinka viimeaikaisia tuloksia tuotantoteoriassa voidaan hyödyntää mielenkiintoisella tavalla empiirisissä sovelluksissa. Väitöskirjassa ei ainoastaan sovelleta uutta tuotantoteoriaa vaan se myös vie eteenpäin aihepiirin empiiristen menetelmien kehittämistä. Se sisältää myös uusia mielenkiintoisia tuloksia, jotka perustuvat aiempaa yleisempiin malleihin. Lopuksi on mainittava tutkimuksen aineistoon liittyvä huolellisuus. Aineiston keruu, tarkastus ja muokkaaminen estimoitavaan muotoon on yleensä pitkä ja vaivalloinen prosessi, josta ei juurikaan palkita ja siksi se myös usein jää puutteelliseksi. Hetemäen tutkimuksessa aineiston keruu ja käsittely on tehty esimerkillisesti.