

Ympäristöpäästöjen säätelyn vaikutus yritysten tuotantoon: etäisyysfunktiolähestymistapa*

LAURI HETEMÄKI

VTT, vanhempi tutkija

Metsäntutkimuslaitos

Vielä viime vuosikymmenen vaihteessa Suomen lehdistö saattoi uutisoida etusivuillaan metsäteollisuuden vesistöpäästöihin liittyvistä ongelmista. Ututisten taustalla oli vesistöjen tilan huonontuminen päästöjen seurauksena ja aiheesta virinnyt vilkas keskustelu ympäristöliikkeiden ja metsäteollisuuden edustajien välillä. Tämä keskustelu johti kansalaisliikkeiden syntyyn (esim. Pielisjoki-liike) vuoropuhelun kärjistyessä ajoittain hyvinkin jyrkäksi. Tänä päivänä metsäteollisuuden päästöt tuskin ylittävät uutiskynnystä. Keskeinen syy tähän muutokseen on se, että itse ongelma - metsäteollisuuden vesistöpäästöt - on enää murto-osa vuoden 1970 huipputasosta (luonnollisesti asenteetkin asiaa kohtaan ovat muuttuneet).

Päästöjen vähentämisen vaikutukset vesistöihin ovat suhteellisen hyvin tiedossa: vesistöjen tila on selvästi parantunut. Eräänä indikaattorina tästä muutoksesta on ollut arvokalojen paluu moniin vesistöihin, joista ne olivat pit-

kään poissa. Huomattavasti vähemmän tiedetään minkälaisia vaikutuksia päästöjen vähentämisellä on ollut sellutehtaiden tuotantoon ja talouteen ja minkälaisilla kustannuksilla metsäteollisuus on onnistunut päästöjä vähentämään. Taloustieteellistä tutkimusta aihepiiristä ei ole Suomessa muutamaa pro gradu työtä lukuunottamatta tiettävästi tehty.

Kysymys päästöjen säätelyn vaikutuksista tehtaiden (yritysten) tuotantoon ja talouteen on monestakin syystä tärkeä. Tietty päästötaso voidaan saavuttaa hyvin monenlaisin säätelytoimenpitein, joiden kustannukset voivat kuitenkin olla hyvin erilaiset. Viranomaisten, yritysten ja luonnollisesti koko yhteiskunnan intressissä on pyrkiä saavuttamaan tietty päästötaso mahdollisimman pienin kustannuksin. Mitä tehokkaammin tietty päästötaso saavutetaan, sitä enemmän yritysten ja yhteiskunnan resursseja jää muihin tarpeisiin, kuten esimerkiksi paperin valmistukseen ja ympäristönsuojeluun. Toisaalta on selvä, että mitä paremmat tiedot päästöjen säätelyn kustannuksista on käytettävissä, sitä paremmat ovat edellytykset onnistu-

* Kirjoitus perustuu lectio praecursoriaan Helsingin yliopistossa 18.10.1996.

neelle päästörajoitteiden ja yritysten tuotannon suunnittelulle.

Viimeaikoina kysymys päästöjen säätelyn vaikutuksista yritysten tuotantoon on herättänyt vilkasta keskustelua myös ns. Porterin hypoteesin myötä. Tämän kiistanalaisen hypoteesin esitti Harvardin yliopiston liiketaloustieteen professori Michael Porter 1990 luvun alussa. Hypoteesia ei ole (matemaattisen) formaalisti muotoiltu ja osittain sen seurauksena siitä on esitetty hieman erityyppisiä tulkintoja. Kuitenkin hypoteesin keskeiseksi väittämäksi on yleisesti ymmärretty seuraava argumentti: oikein asetetut ympäristönsuojelurajoitteet voivat saada aikaan innovaatioita ja tuotannon prosessimuutoksia, joiden seurauksena säädelyjen yritysten toiminta tehostuu ja siten niiden kilpailuetu paranee suhteessa yrityksiin, joita ei säädellä tai, joilla on "löysemät" rajoitteet (Porter ja van der Linde 1995, Palmer, Oates ja Portney 1995). Toisin sanoen ympäristönsuojelurajoitteet eivät ainoastaan paranna ympäristön tilaa, vaan voivat myös tehostaa säädelyjen yritysten tuotantoa ja siten niiden taloutta.

Porterin hypoteesi on omaksuttu päteväksi argumentiksi erityisesti liiketaloustieteilijöiden ja poliitikkojen keskuudessa, mm. Yhdysvaltain varapresidentti Al Gore on tukeutunut siihen kirjoituksissaan. Toisaalta kansantaloustieteilijät ovat olleet kriittisempiä hypoteesia kohtaan, ei ehkä vähiten sen vuoksi, että se näyttäisi olevan ristiriidassa ympäristötaloustieteen perustuloksien kanssa. Näiden tuloksien mukaan ympäristörajoitteet aiheuttavat yrityksille aina lisäkustannuksia suhteessa säätelemättömään tilanteeseen. Tosin aivan viimeaikoina ympäristötaloustieteilijät ovat myös esittäneet teoreettisia malleja, joissa Porterin hypoteesin mukainen lopputulema on mahdollinen tiettyinä erikoistapauksena (Simpson ja Bradford 1996). Kaiken kaikkiaan hypoteesin arviointia on vai-

keuttanut se, että sitä ei ole empiirisesti testattu. Empiirinen evidenssi on perustunut melkein yksinomaan yrityskohtaisiin case tapauksiin (Jaffe ja Palmer 1996 ovat ekonometrisessa työssään pyrkineet arvioimaan Porterin hypoteesia, joskaan eivät sitä eksplisiittisesti testaa).

Kysymys päästöjen säätelyn ja ympäristörajoitteen vaikutuksista yritysten tuotantoon ja kustannuksiin on väitöskirjani (Hetemäki 1996) keskeinen tutkimusongelma. Täsmällisemmin sanottuna tutkimus käsittelee pääasiassa kolmea kokonaisuutta. Ensinnäkin se tuottaa uutta informaatiota vesistöpäästöjen säätelyn vaikutuksista Suomen sulfaattiselutehtaille. Toiseksi siinä analysoidaan ekonometrisen mallin avulla Porterin hypoteesin keskeisen väittämän pitävyyttä ko. toimialalla. Kolmanneksi väitöskirjan tarkoitus on kehittää empiirisiä menetelmiä, joilla edellämainittuja kysymyksiä voidaan tarkastella. Ennenkuin siirryn käsittelemään tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä näihin kysymyksiin vastaamisessa ja niillä saatuja tuloksia, on hyödyllistä ensin tarkastella miten aihepiiriä on kirjallisuudessa aiemmin lähestytty.

Taloustieteilijälle yleinen lähestymistapa pohtia päästöjen säätelyn vaikutuksia on integroida päästöt ja/tai ympäristörajoitteet yrityksen tuotantoprosessin kuvaukseen. Analyytinen väline, jota tähän tarkoitukseen käytetään, on yleensä ollut tuotantofunktio. Vaikka tuotantofunktiot ovat kuuluneet taloustieteilijöiden työkalupakkiin tieteenalan varhaisista vuosista lähtien, päästöjen säätelyyn liittyviä näkökohtia on niiden avulla pohdittu laajemmin vasta parin viimeisen vuosikymmenen aikana. Tämä on ollut luonnollista seurausta siitä, että ympäristöasioiden merkitystä ei aiemmin koettu yhtä keskeiseksi. Kiinnostuksen puute aihepiiriin on heijastunut myös analyysivälineisiin, perinteiset tuotantofunktiot mahdollistavat vain hyvin

rajoittuneen kuvauksen saastuttavista tuotantoprosesseista. Tätä havainnollistaa seuraava esimerkki sellutehtaan tuotannosta.

Sellun tuottamiseksi tehdas käyttää "puhdasta" vettä, jota se saa lähistöllä olevasta järvestä. Tuotantoprosessin aikana tähän veteen liukee erilaisia kemikaaleja ja puhdas vesi muuntuu jätevedeksi, joka lasketaan tehtaan viemäriä pitkin takaisin järveen. Siten tehdas ei ainoastaan tuota ns. hyvää tuotetta eli sellua, vaan myös ns. pahaa (ei-toivottua) tuotetta eli jätevettä. Näiden kahden lopputuotteen välillä valitsee myös teknologinen riippuvuus. Niitä voidaan tuottaa ainoastaan yhdessä, eli ilman jätevettä ei synny sellua ja päinvastoin. Toisaalta taloudellisesta näkökulmasta näiden lopputuotteiden välillä on ainakin kaksi tärkeää eroa. Ensimmäkin sellua myydään markkinoilla ja sillä on hinta, kun taas päästöille ei yleensä ole markkinoita eikä siten hintaa. Toiseksi viranomaiset eivät yleensä säätele sellun valmistusta mutta asettavat rajoitteita jätevedelle.

Perinteinen tuotantofunktio ei salli kuin yhden lopputuotteen kuvauksen. Näin ollen sen avulla ei voida tarkastella sellun ja päästöjen yhteistuotantoprosessia. Toisaalta 1970 -luvulla yleistyneet kustannus- ja voittofunktiot sallivat myös monituoteyrityksen tuotantoprosessin kuvauksen, mutta saastuttavien tuotantoprosessien kannalta nämä funktiot ovat edelleen tarpeettoman rajoittavia. Ensimmäkin ne edellyttävät havaintoja hinnoista. Kuten yllä todettiin päästöillä ei useimmiten ole markkinahintaa. Toisaalta päästöjen vähentämiseen liittyvät investointitiedotkin ovat myös hankalasti saatavia ja usein epäluotettavia. Toinen ongelma kustannus- ja voittofunktioissa on se, että ne olettavat yrityksen toimivan jatkuvasti tuotannon optimitasolla (tehokkuusrintamalla) eli esimerkiksi sellutehdas onnistuu aina maksimoimaan voittonsa tai minimoimaan kustannuk-

sensa. Tällaisten mallien avulla mm. Porterin hypoteesin tarkastelu on hankalaa.

Aivan viime vuosiin asti edellä kuvatut tuotantofunktiot ovat ohjanneet taloustieteilijöiden analyysia päästöjen säätelyn vaikutuksista yrityksiin. Kärjistäen voidaan sanoa, että se mitä ei pystytty formuloimaan jätettiin pois. Niinpä alan kirjallisuus ei ole oikeastaan käsitellyt lainkaan yhteistuotantoprosesseja ja tehottomia yrityksiä. Yritysten tuotantoprosessi on yleensä mallitettu yhden lopputuotteen teknologiana ja yrityksen on oletettu aina operoivan tuotannon tehokkuusrintamalla. Tavallisin tapa liittää päästöt näihin malleihin on ollut sisällyttää tuotantofunktioihin tuotantopanos, joka kuvaa päästöjen säätelyyn kohdistuvia investointeja (esim. Barbera ja McConnel 1990).

1980-luvun loppupuolella eräät tutkijat, erityisesti Rolf Färe ja hänen kollegansa alkoivat soveltaa aiempaa yleisempiä tapoja mallittaa yrityksen tuotantoprosesseja. He kehittivät ja sovelsivat erityisesti ns. etäisyysfunktio- lähestymistapaa. Etäisyysfunktio käsite tulee konveksien joukkojen matemaattisesta teoriasta ja taloustieteen alalla sitä sovelsivat eri yhteyksissä ensimmäisinä Debreau (1951), Malmquist (1953) ja Shephard (1953), joista viime mainittu oli sovellus tuotantoteoriaan. Tuotantoteoreettisten sovellusten kannalta etäisyysfunktio- lähestymistavan keskeiset tulokset on esitetty julkaisussa Shephard (1970). Shephardin oppilaalla, Rolf Färellä ja hänen kollegoillansa on viime vuosina ollut tärkeä rooli tämän työn edelleen kehittämisessä ja popularisoinnissa. Heidän julkaisunsa ovat osoittaneet etäisyysfunktio- lähestymistavan käyttökelpoisuuden mitä moninaisimpien tuotantoprosessien kuvauksissa (esim. Färe 1988, Färe ja Grosskopf 1994, Färe ja Primont 1995). Erityisesti julkishallinnon tuottavuus- ja tehokkuustutkimuksissa sekä ympäristökysymysten tarkastelussa

etäisyysfunktiot ovat osoittautuneet hyödyllisiksi (mainittakoon, että jo Shephard 1974 korosti saastuttavien tuotantoprosessien mallintamisen tärkeyttä). Seuraavassa on tiivistetty keskeisiä ominaisuuksia, jotka tekevät etäisyysfunktioista erityisen käyttökelpoisia edellä mainittuihin tarkoituksiin:

- etäisyysfunktioilla voidaan mallittaa monituoteyritysten yhteistuotanto (joint) prosesseja.
- etäisyysfunktio kuvaa *teknisesti mahdollisia* panos-tuotoskombinaatioita, eikä ainoastaan *teknisesti tehokkaita* panos-tuotoskombinaatioita. Siten yritysten ei välttämättä edellytetä operoivan tuotantomahdollisuuksien rintamalla (frontier), vaan ne voivat olla myös sen sisäpuolella (tehottomia). Tällöin voidaan kuvata mm. tuotantoprosesseja, jotka eivät täytä kustannusten minimointi, voittojen maksimointi tai vastaavia optimointihypoteeseja.
- edellisestä ominaisuudesta seuraa myös, että etäisyysfunktioiden avulla voidaan mitata tuotannon teknistä tehokkuutta. Itse asiassa etäisyysfunktion arvon voidaan osoittaa olevan ns. *Debreau-Farrell tehokkuusmitan* käänteisluku.
- etäisyysfunktioita voidaan soveltaa aineistoon, joka sisältää havaintoja pelkästään panosten ja tuotosten määristä (eikä välttämättä hinnoista).
- etäisyysfunktioiden avulla voidaan laskea joustavasti panosten ja tuotosten varjohintoja etäisyysfunktioille johdettujen dualitulosten perusteella.
- etäisyysfunktioilla voidaan kuvata ns. epäsuoria tuotantorelaatioita. Tosin sanoen, jos yritykset tai julkisyhteisöt toimivat esim. budjetti -tai tulorajoitteen alaisina, voidaan niiden tuotanto mallinta *epäsuorilla etäisyysfunktioilla* (indirect distance functions). Näillä funktioilla voidaan myös tarkastella hinta (eli allokatiivista) tehokkuutta.

Yllä esitettyjä hyviä ominaisuuksia ei kui-

tenkaan saavuteta kustannuksitta. Etäisyysfunktioihin liittyy tiettyjä ongelmia empiiristen sovellusten kannalta, etenkin stokastisen lähestymistavan kannalta. Etäisyysfunktioiden selitettävä muuttuja (vasen puoli) on arvo, joka kuvaa sitä, kuinka kaukana toteutunut tuotos on tuotosjoukon rintamasta eli tehokkaasta tuotannosta. Etäisyysfunktio esitetään myös useimmiten sellaisessa muodossa, että funktio voi saada ainoastaan arvoja välillä 0 ja 1. Edellämainituista seikoista seuraa kaksi keskeistä ongelmaa. Ensinnäkään tutkijalla ei yleensä ole käytettävissään havaintoja etäisyysfunktion selitettävästä muuttujasta eli tuotannon tehokkuudesta tai havaintojen etäisyydestä tehokkuusrintamalle. Toiseksi perinteistä pienimmän neliösumman regressiomallia ei voida (ilman jotakin muuttujatransformointia) soveltaa etäisyysfunktioiden estimoinnissa. Kirjallisuudessa on esitetty eri tapoja, joilla edellämainittuja ongelmia voidaan ratkoa. Pääsääntöisesti nämä ratkaisut tuottavat kuitenkin uusia ongelmia.

Väitöskirjani esseet perustuvat etäisyysfunktio-lähestymistapaan. Esseiden tavoitteet ovat sekä metodologisia (kehittää empiirisiä menetelmiä etäisyysfunktioiden laskemisessa), että substantiaalisia (tuottaa uutta informaatiota päästöjen säätelyn vaikutuksista sulfaattiselluteollisuudelle). Tarkastelen metodologisia kysymyksiä ensin.

Alan kirjallisuudessa etäisyysfunktioiden sovelluksissa on käytetty melkein poikkeuksetta ei-parametrista ja parametrissa lineaarista ohjelmointia. Ainoastaan muutamia stokastisia (ekonometrisia) sovelluksia on julkaistu tähän mennessä. Tulosten herkkyyttä valitulle lähestymistavalle ei ole aiemmin tarkasteltu kirjallisuudessa. Väitöskirjan ensimmäisessä esseen (*The Impact of Pollution Control on the Pulp Industry: A Comparison of Deterministic and*

Stochastic Approaches) tutkimusongelmana on tarkastella miten sellutehtaiden vesistö päästöjen varjohinnat eroavat, kun ne lasketaan käyttäen kahta eri menetelmää (parametrinen lineaarinen ohjelmointi ja ekonometrinen malli) ja analysoida mitä näiden menetelmien ominaisuuksista voidaan tulosten perusteella päätellä. Keskeinen tulos on, että lineaarisen ohjelmoinnin ja ekonometrisen mallin tuottamien varjohintojen välillä on eroja. Lineaarinen ohjelmointi tuottaa varjohinnoille suuremman hajonnan ja ne ovat hyvin herkkiä funktiomuodon valinnalle. Niinpä lineaarista ohjelmointi lähestymistapaa käytettäessä tulisi erityistä huomiota kiinnittää tulosten herkkyydeltä tarkasteluun, mitä aiemmissa tutkimuksissa ei ole riittävästi tehty.

Toisen esseen (*Estimating Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Two-Stage Stochastic Distance Function Model*) motivaationa on havaitut ongelmat etäisyysfunktioiden ekonometrisissa estimoinneissa. Tutkimuksessa kehitetäänkin ja sovelletaan uutta menetelmää stokastisen etäisyysfunktion estimointiin, päästöjen varjohintojen laskemiseen ja tuotannon teknisen tehokkuuden tarkasteluun. Tarkemmin sanottuna siinä käytetään kaksivaiheista estimointimenetelyä, jossa ensin lasketaan etäisyysfunktion arvot (etäisyydet tehokkuusrintamalta) käyttäen ei-parametrinen lineaarista ohjelmointimallia ja toisessa vaiheessa näitä lukuja käytetään ekonometrisen mallin selittävänä muuttujana. Tämä lähestymistapa on yleisempi kuin aiemmin kirjallisuudessa käytetyt estimointimenetelmät stokastisille etäisyysfunktioille.

Kolmannen esseen (*Environmental Regulation and Production Efficiency: Evidence From the Pulp Industry*) motivaatio on Porterin hypoteesin empiirisessä analyysissä sekä ns. stokastisten frontier mallien laajentamisessa pääs-

töjen ja päästörajoitteiden tarkasteluun. Ensimmäiset stokastiset frontiermallin (SF) sovellukset julkaistiin 1970 luvun lopulla (Aigner, Schmidt ja Lovell 1977) ja sen jälkeen alan kirjallisuus on ollut suhteellisen vilkasta. Vaikka monet SF-mallin sovelluksista ovat koskeneet yrityksiä tai toimialoja, joiden tuotannolle on asetettu ympäristörajoitteita, ei rajoitteita ole huomioitu näissä malleissa. Väitöskirjassani päästörajoitteet otetaan eksplisiittisesti huomioon SF-mallissa. Tämän laajennuksen seurauksena voidaankin analysoida sitä, mitä vaikutuksia päästörajoitteilla on ollut sellutehtaiden tuotannon tehokkuuteen. Tämä myös mahdollistaa Porterin hypoteesin empiirisen tarkastelun.

Kaikki väitöskirjani esseet pohjautuvat vuosittaiseen, tehdaskohtaiseen paneeliaineistoon periodilta 1972-90. Valtaosa aiemmasta kirjallisuudesta on perustunut poikkileikkausaineistoon, useimmiten suhteellisen agregoidulla tasolla (esim. toimialatasolla). Yritys- tai tehdaskohtainen aineisto on kuitenkin erityisen tärkeää, kun päästörajoitteet asetetaan yritys- tai tehdastasolla, kuten useimmiten on asianlaista. Toisaalta paneeliaineisto mahdollistaa päästörajoitteen ja päästöjen säätelyn vaikutusten arvioinnin yli ajan.

Tutkimuksen substantiaaliset tulokset voidaan tiivistää seuraavasti. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että kokonaisjätevesivirtaaman (jota viranomaiset eivät ole säädelleet) vähentäminen on ollut tehtailla taloudellisesti kannattavaa. Todennäköisin syy tähän on ollut se, että vesikierron sulkeminen on päästöjen vähentämisen lisäksi myös tehostanut itse tuotantoprosessia. Toisaalta päästöjen, joille viranomaiset ovat asettaneet rajoitteita (biologinen hapenkulutus ja kiintoaineet) vähentäminen on ollut pääasiassa kustannusrasite tehtailla. Tämä selittyy sillä, että biologiset käsittelylammit

ovat tehtaille investointi, joilla ei ole vaikutuksia itse sellun tuotantoprosessiin. Tutkimuksen tulokset viittaavat myös siihen, että päästöjen sääätelyä koskeissa tutkimuksissa ei *a priori* pitäisi rajoittaa varjohintojen merkkiä ei-positiiviseksi, kuten aiemmat tutkimukset ovat tehneet. Lopuksi tulosten mukaan Suomessa käytössä olleella päästölupajärjestelmän kiristämällä on ollut sellutehtaiden tuotannon tehokkuutta vähentävä vaikutus. Näin ollen tulokset on tulkittavissa siten, että näiden rajoitteiden osalta eräs keskeinen Porterin hypoteesin väittämä ei päde.

Kirjallisuus

- Aigner, D.J., C.A.K. Lovell ja P.J. Schmidt (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models, *Journal of Econometrics* 6, 21-37.
- Barbera, A.J. ja McConnell, V.D. (1990). The Impact of Environmental Regulations on Industry Productivity: Direct and Indirect Effects, *Journal of Environmental Economics and Management* 18, 50-65.
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resource Utilization, *Econometrica* 22, 14-22.
- Färe, R. (1988): *Fundamentals of Production Theory*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 311, Berlin: Springer Verlag.
- Färe, R. ja S. Grosskopf (1994), *Cost and Revenue Constrained Production*, Springer-Verlag, Bilkent University Lecture Series.
- Färe, R. ja D. Primont (1995), *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*, Kluwer Academic Publishers.
- Hetemäki, L. (1996). The Impact of Pollution Control on a Firm: A Distance Function Approach, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja no. 609.
- Jaffe, A. B. ja K. Palmer (1996). Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study, National Bureau of Economic Research, Working Paper 5545, April 1996.
- Malmquist, S. (1953). Index Numbers and Indifference Surfaces, *Trabajos de Estadística* 4: 209-242.
- Palmer, K., W. E. Oates, ja P. Portney (1995). Tightening Environmental Standards: The Benefit-Cost or the No-Cost Paradigm?, *Journal of Economic Perspectives*, vol 9, No. 4; 119-132.
- Porter, M. E. ja C. van der Linde (1995). Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship, *Journal of Economic Perspectives*, vol 9, No. 4; 97-118.
- Shephard, R.W. (1953). *Cost and Production Functions*, Princeton University Press.
- Shephard, R.W. (1970). *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press.
- Shephard, R.W. (1974). Comment on Diewert, E. "Applications of Duality Theory", teoksessa Intrilligator, M.D. ja Kendrick, D.A. (eds.), *Frontiers of Quantitative Economics vol. II*, North-Holland.
- Simpson, R.D. ja R. L. Bradford (1996). Taxing Variable Cost: Environmental Regulation as Industrial Policy, *Journal of Environmental Economics and Management*; 282-300.