

Tutkimuksia ympäristötehokkuuden ja -tuottavuuden mittaamisesta ja analysoinnista*

Mika Kortelainen

KTT, tutkija

Aston University, Birmingham

Yritysten tai muiden vertailtavien yksiköiden tehokkuutta ja tuottavuutta tarkastelevat tutkimukset eivät ole perinteisesti huomioineet tuotannosta aiheutuneita ympäristövaikutuksia. Hyödykkeiden ja palveluiden tuottamiseen joudutaan kuitenkin käyttämään usein niukoja luonnonvaroja ja lisäksi monet tuotannon toiminnot aiheuttavat erilaisia päästöjä sekä kiinteiden jätteiden muodostumista. Nykyään yritykset toimivatkin monilla talouden sektoreilla entistä ankaramman ympäristölainsäätelyn piirissä, mistä syystä ne joutuvat kiinnittämään yhä enemmän huomiota toimintansa ympäristövaikutuksiin. Ympäristösäätelyn vallitessa haitalliset ympäristöpäästöt eivät ole vapaasti hävitettäviä, vaan niiden vähentäminen aiheuttaa tuottajille kustannuksia. Päästöjen vähentämiseksi joudutaan käyttämään pää-

oma-, raaka-aine- ja työpanoksia, joiden voidaan katsoa olevan poissa yrityksen varsinaisesta tuotantotoiminnasta. Toisaalta on myös mahdollista, että päästöjen vähentämistoimet lisäävät yrityksen tuottavuutta mm. siten, että ennen tehottomasti käytettyä panosta pystytään käyttämään tehokkaammin tai siirrytään käyttämään kokonaan uutta ja kokonaisuuden kannalta entistä parempaa tekniikkaa.¹ Koska sääntelyllä voi olla merkittävä vaikutus yritysten tuottavuuteen ja tehokkuuteen, on tärkeää tutkia sääntelyn vaikutusten suuruutta ja suuntaa sekä seurata kuinka hyvin säännellyt yritykset tai yksiköt menestyvät yli ajan.

* Tämä kirjoitus käsittelee 8.8.2008 Joensuun yliopistossa tarkastettua väitöskirjaani. Väitöstilaisuudessa vastaväittäjänä toimi professori Kristiaan Kerstens (IESEG School of Management, Lille Catholic University) ja kustoksena professori Mika Linden.

¹ Ns. Porterin hypoteesin (Porter 1991, Porter ja van der Linde 1995) mukaan ympäristösäätely voi parantaa sääntelyjen yritysten tuottavuutta ja kilpailukykyä. Perusteluna hypoteesille on se, että yritykset eivät aina toimi tehokkaasti ja sääntely voi jobtaa tehostomuuksien tunnistamiseen ja korjaamiseen. Koska useat empiriset tutkimukset ovat havainnollistaneet, että sääntelyn taloudelliset hyödyt yrityksille ovat kustannuksiin verrattuna usein vähäisiä, useat taloustieteilijät ovat skeptisiä Porterin hypoteesin subteen (ks. esim. Jaffe ym. 1995, Pizer ja Kopp 2005).

Sen lisäksi, että päästöt ja niiden vähentäminen vaikuttavat yritysten tuotantoon ja talouteen, aiheuttavat päästöt myös ympäristöllisiä ja yhteiskunnallisia haittoja, jotka eivät näy yrityksen kassavirrassa. Näitä ulkoisvaikutuksia ovat esimerkiksi veden- ja ilmanlaadun heikkeneminen, materiaalien korrosio ja terveysvaikutukset. Keskeinen ongelma arvioitaessa ulkoisvaikutuksista yhteiskunnalle aiheutuvia kustannuksia on se, että useimmille päästöille ei ole hintaa, jota voitaisiin käyttää arvioinnin perustana. Tämän takia tulee kehittää menetelmiä, joiden avulla on mahdollista arvottaa päästöjä luotettavasti sekä menetelmiä, jotka pyrkivät huomioimaan yksityisten hyötyjen ja kustannusten ohella myös päästöjen vähentämisen yhteiskunnalliset hyödyt. On myös tärkeää vertailla yritysten ja muiden tuotantoyksiköiden toimintaa, koska näin voidaan tunnistaa ympäristönsuojelun kannalta parhaimmat ja heikoimmat käytännöt sekä analysoida heikomman tuloksen syitä ja tehostamismahdollisuuksia. Ennen kaikkea on olennaista tunnistaa tehottomat kohteet, joissa on mahdollista saavuttaa ympäristönsuojelun kannalta parempi tulos panoksia tai kustannuksia lisäämättä sekä etsiä ratkaisuja, jotka ovat sekä ympäristönsuojelun että yritystalouden kannalta kannattavia.

Päästöjen huomioimattomuus on olennaista myös poliittisen päätöksenteon kannalta sekä tarkasteltaessa joidenkin politiikkamuutosten yhteiskunnallisia vaikutuksia. Arvioitaessa jonkin politiikkatoimenpiteen hyötyjä, on olennaista tarkastella nimenomaan kokonaistaloudellisia vaikutuksia, jotka huomioivat suorien taloudellisten hyötyjen ja haittojen ohella positiiviset ja negatiiviset muutokset ympäristöntilassa. Esimerkiksi energiaindustrioiden vapauttaminen tuottaa yleensä merkittävää taloudellista etua yhteiskunnalle lisääntyneen kilpailun

kautta, mutta voi vastaavasti myös lisätä energian kulutusta ja päästömääriä alentuneiden energiahintojen seurauksena. Siten on hyvinkin mahdollista, että markkinoiden vapauttamisen vaikutus on vähäisempi tai jopa negatiivinen, kun huomioidaan myös ympäristöpäästöistä yhteiskunnalle aiheutuvat kustannukset.

Päästöt ja niiden rajoittaminen vaikuttavat panoskäytön kautta yritysten tuottavuuteen sekä tekniseen ja taloudelliseen tehokkuuteen. Toisaalta, jos päästöjen vähentämisestä aiheutuvat kustannukset ovat mukana tehokkuus- ja tuottavuustarkastelussa, tulisi myös aikaansaatua tuote eli päästöjen vähentyminen ottaa huomioon. Koska perinteiset tuottavuus- ja tehokkuusindeksit eivät huomioi muutoksia päästömäärissä tai niiden vähentämisestä aiheutuvia hyötyjä, niiden käyttö päästöjä tuottavilla toimialoilla vääristää kokonaiskuvaa ja voi johtaa vääriin johtopäätöksiin tulosten tulkinnassa. Esimerkiksi arvioitaessa ympäristösääntelyn kokonaistaloudellisia vaikutuksia yliarvioidaan usein sääntelyn haittavaikutuksia. Siten onkin tärkeää kehittää menetelmiä, jotka huomioivat myös hyödyt päästöjen vähentämisestä, ei pelkästään kustannuksia.

Väitöskirjassani tarkastelen menetelmiä, jotka huomioivat ympäristöpäästöjen vähentämisen positiiviset ja negatiiviset vaikutukset tehokkuuden ja tuottavuuden mittaamisessa ja analysoinnissa. On huomionarvoista, että kirjallisuudessa esiintyy useita eri termejä päästöt huomioimattaville tehokkuus- ja tuottavuusmittareille, joista osalle on hankala löytää kuvaavia suomenkielisiä termejä. Toisaalta, samaakin termiä käytetään usein eri merkityksessä riippuen asiayhteydestä tai tutkimusalasta. Esimerkiksi ekotehokkuus viittaa ekologisen taloustieteen kirjallisuudessa tuottavuusmittausta muistuttavaan taloudellisen arvonlisän ja pääs-

töjen suhdelukuun, kun taas tehokkuus- ja tuottavuuskirjallisuudessa sillä viitataan yleensä ympäristöpäästöt sisältävään laajempaan tehokkuusmittaan. Selkeyden vuoksi käytän siten jatkossa termiä ympäristötehokkuus viitatessani päästöt huomioonottaviin tehokkuusmittareihin ja termiä ympäristötuottavuus viitatessani taloudellisen arvonlisän ja päästöjen suhteeseen.

Väitöskirjani koostuu johdantoosesta sekä neljästä erillisestä tutkimuksesta. Osatutkimusten yhteisenä lähtökohtana on ollut kehittää uusia menetelmiä organisaatioiden ja muiden vertailtavissa olevien yksiköiden ympäristötehokkuuden ja ympäristötuottavuuden mittaamiseen ja analysointiin. Metodisesti tutkimuksille on yhteistä se, että esitetyt ympäristötehokkuus ja -tuottavuusmittarit perustuvat niin kutsuttuihin tuotantorintamamenetelmiin, joita on käytetty laajasti tehokkuus- ja tuottavuuskirjallisuudessa, mutta vähemmän ympäristötaloudellisissa sovelluksissa.²

Aiemmassa kirjallisuudessa sekä ympäristötehokkuudelle että ympäristötuottavuudelle on esitetty useita erilaisia mittareita, joista moniin kuitenkin liittyy selviä puutteita tai ongelmia. Useimpien mittareiden rajoitteena on se, että ne tarkastelevat ympäristötehokkuutta ja -tuottavuutta hyvin suppeasta näkökulmasta, eivätkä ota huomioon esimerkiksi tuotantoprosessiin liittyviä tehostamismahdollisuuksia. Useimpiin muihin kirjallisuudessa esitettyihin menetelmiin verrattuna, tuotantorintamamenetelmien merkittävänä etuna voidaan pitää nii-

den laajempaa tarkasteluotetta sekä erinomaista soveltuvuutta useita tuotantopanoksia sekä loppu- ja sivutuotteita käsittävien tuotantoprosessien analysointiin. Monista muista menetelmistä poiketen päästöjä tai ympäristövaikutuksia ei tarvitse myöskään etukäteen arvottaa tai yhteismitallistaa, vaan tehokkuus- ja tuottavuusindeksit lasketaan rintamamenetelmien tuottamien niin kutsuttujen varjohintojen avulla.

Väitöskirjan tutkimuksista kolme ensimmäistä hyödyntää ns. DEA-menetelmää (Data Envelopment Analysis), kun taas viimeinen perustuu ns. SFA-menetelmään (Stochastic Frontier Analysis). DEA- ja SFA-menetelmät ovat nykyisin kaksi eniten käytettyä tuotantorintamamenetelmää, ja niitä hyödynnetään hyvin monenlaisissa sovelluksissa. Aiempiin DEA- ja SFA-menetelmien avulla esitettyihin ympäristötehokkuus- ja tuottavuusmittareihin liittyy kuitenkin joitakin ongelmia tai puutteita, joihin olen pyrkinyt väitöskirjassani vastaamaan. Useimpien aiemmin esitettyjen mittareiden olennaisena puutteena on se, että niillä ei ole pätevää ekologista tai ympäristötaloudellista perustaa, vaan ne pohjautuvat lähes puhtaasti perinteisiin tehokkuus- ja tuottavuusindekseihin. Yksi väitöskirjani tärkeimmistä tavoitteista onkin hyödyntää ekologisen ja ympäristötaloustieteen yleisesti käyttämiä käsitteitä ja työkaluja uusien ympäristötehokkuus- ja tuottavuusmittareiden johtamisessa. Tämä sekä lisää menetelmien ymmärrettävyyttä että ennen kaikkea laajentaa niiden sovellusmahdollisuuksia. Esimerkkinä tästä esitän ensimmäisessä tutkimuksessa³ uuden lähestymistavan ympäristötuottavuuden mittaamiseen, joka soveltaa sekä ekologisen taloustieteen että tuotantota-

² Fried, Lovell ja Schmidt (2008) esittelee keskeisimmät tuotantorintamamenetelmät sekä tarkastelee viimeisimpiä kehityssuuntia tehokkuus- ja tuottavuuskirjallisuudessa. Katsauksia ympäristötaloudellisiin sovelluksiin löytyy mm. Tytecan (1996), Aikenin ja Pasurkan (2003) sekä Atkinsonin ja Dorfmanin (2005) tutkimuksista.

³ Tutkimus on julkaistu *Ecological Economics* -lehdessä, ks. Kortelainen (2008).

loustieteen ideoita ja menetelmiä. Lisäksi väitöskirjan toisessa⁴ ja kolmannessa⁵ tutkimuksessa hyödynnetään erittäin laajasti ympäristötaloustieteessä ja ympäristöpolitiikassa sovellettavan kustannushyötyanalyysin välineistöä, kun kehitetään uusi menetelmä ympäristötehokkuuden arviointiin.

Tavoitteenani on ollut kehittää menetelmiä, joita voitaisiin käyttää ympäristöpolitiikan instrumentteina suunniteltaessa keinoja tai kannustinjärjestelmiä ympäristötehokkuuden parantamiseksi tai arvioimaan tiettyjen vaihtoehtojen politiikkatoimenpiteiden tehokkuutta ja kannattavuutta. Tähän liittyen väitöskirjassa esitetään muun muassa ympäristötehokkuusmittari, jonka etuna aiempiin verrattuna on sen yksiselitteinen tulkinta rahassa mitattavana suureena. Täten esimerkiksi tietyn automallin käytön (suhteellinen) tehottomuustappio voidaan esittää muodossa euroa per kilometri. Väitöskirjassa myös osoitetaan, kuinka kyseistä menetelmää voidaan käyttää ympäristövaikutukset huomioivaan kustannushyötyanalyysiin, kun luotettavaa tietoa päästöjen tai ympäristövaikutusten hinnoista ei ole saatavilla.

Vaikka tutkimusten keskeisin merkitys on nimenomaan menetelmien kehittämisessä, työssä esitettäviä uusia menetelmiä voidaan hyödyntää hyvin erityyppisissä ympäristötaloudellisissa sovelluksissa. Esimerkkinä tästä väitöskirjassa menetelmiä sovelletaan Euroopan unionin jäsenvaltioiden ympäristötuottavuuden mittaamiseen, hiilivoimalaitosten ympäristöpäästöt huomioivaan tehokkuusanalyysiin sekä Suomessa myytävien uusien maastoautojen ympäristötehokkuuden vertailuun. Näistä sovelluksista viimeksi mainittua voidaan pitää inno-

vatiivisimpana, sillä aiemmin tuotantorintamamenetelmiä ei ole käytetty kestokulutushyödykkeiden tai tuotteiden ympäristötehokkuusanalyysiin.

Sovelluksien tuloksista mielenkiintoisimmat löytynevät kahdesta ensimmäisestä osatutkimuksesta. Ensimmäisessä tutkimuksessa käytän paneeliaineistoa vuosilta 1990–2003 analysoidessani kahdenkymmenen Euroopan unionin jäsenvaltion ympäristötuottavuutta ja sen osatekijöitä. Tulosten mukaan ympäristötuottavuus on parantunut jäsenmaissa huomattavasti kyseisellä aikavälillä. Ympäristötuottavuusindeksin muutosten yksityiskohtaisempi tarkastelu paljastaa myös, että parannus johtuu pääosin teknisestä kehityksestä, kun taas eri maiden suhteellinen tehokkuus on muuttunut aikavälillä varsin vähän.

Toisessa tutkimuksessa tehty maastoautojen vertailu paljastaa puolestaan merkittäviä eroja Suomessa myytävien eri mallien ympäristötehokkuudessa. Sovelluksessa verrataan täysin samanlaisen korimallin omaavien bensiini- ja dieselkäyttöisten maastoautojen ympäristötehokkuutta. Tulokset osoittavat dieselmaastoautojen olevan selvästi bensiinikäyttöisiä ympäristöystävällisempiä. Tutkimuksessa mukana olleista kahdeksastatoista vertailuparista yhdeksätoista dieselmalli osoittautui tehokkaammaksi kuin vastaava bensiinimalli ja kuudessa parissa diesel- ja bensiinimallit saivat yhtä suuren tehokkuusindeksin arvon. Ennen kaikkea sovellus kuitenkin havainnollistaa, kuinka tämän tyyppistä analyysia voidaan käyttää arvioitaessa, pitäisikö hallituksen tukea dieselkäyttöisten autojen hankintaa ja käyttöä nykyistä enemmän.

Yhteenvedona voidaan todeta, että väitöskirjassa kehitetyt menetelmät tuottavat tietoa, jota päätöksentekijät voivat hyödyntää ympä-

⁴ Ks. Kortelainen ja Kuosmanen (2007).

⁵ Ks. Kuosmanen ja Kortelainen (2007).

ristöpoliittisessa päätöksenteossa sekä kokonaisvaltaisempien ohjaus- ja kannustinjärjestelmien laatimisessa. Metodisesti uudet tekniikat täydentävät osaltaan aiempia kirjallisuudessa esitettyjä menetelmiä, mutta ennen kaikkea tarjoavat uudenlaisia sovellusmahdollisuuksia tuotantorintamamenetelmille. Tähän liittyen väitöskirjassa kehitettyjä menetelmiä onkin jo hyödynnetty ainakin muutamassa sellaisessa sovelluksessa, joihin tuotantorintamamenetelmiä ei ole aiemmin käytetty. Esimerkiksi Bosetti ja Buchner (2009) sekä Kuosmanen, Bijsterbosch ja Dellink (2009) ovat äskettäin käyttäneet kolmannessa tutkimuksessa kehitettyä kustannus-hyötyanalyysiin perustuvaa menetelmää ilmastopoliittisten toimenpiteiden tehokkuusvertailuun.

Vaikka väitöskirjassa kehitettyjen menetelmien soveltaminen erilaisiin ympäristötaloudellisiin kysymyksiin on tärkeää, tarvitaan myös tutkimusta, jossa menetelmiä laajennetaan ja kehitetään edelleen. Tulevaisuudessa menetelmien edelleen kehittämiseksi tulisivat huomioda nimenomaan sovelluksissa esiin nousevat kysymykset ja haasteet. Väitöskirjan sovelluksissa esimerkiksi huomattiin, että kehitetyt menetelmät eivät huomioi tarpeeksi hyvin eri ympäristövaikutusten suhteellista haitallisuutta. Jatkossa olisivatkin tärkeää tutkia kuinka ulkopuolista, objektiivista lisäinformaatiota ympäristövaikutusten haitallisuudesta voitaisiin sisällyttää ympäristötehokkuus ja -tuottavuus-analyysiin. Tällaiset tutkimussuunnat tarjoavat mielenkiintoisia haasteita sekä mahdollisuuksia kehittää entistä luotettavampia ja laajemmin sovellettavissa olevia menetelmiä päätöksenteon avuksi. □

Kirjallisuus

- Aiken, D.W. ja Pasurka, C.A. Jr. (2003), "Adjusting the Measurement of US Manufacturing Productivity for Air Pollution Emissions Control", *Resource and Energy Economics* 25: 329–351.
- Atkinson, S. ja Dorfman, J.H. (2005), "Bayesian Measurement of Productivity and Efficiency in the Presence of Undesirable Outputs: Crediting Electric Utilities for Reducing Air Pollution", *Journal of Econometrics* 126: 445–468.
- Bosetti, V. ja Buchner, B. (2009), "Data Envelopment Analysis of Different Climate Policy Scenarios", *Ecological Economics*, painossa.
- Fried, H., Lovell, C.A.K. ja Schmidt, S. (2008), *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change*, Oxford University Press, New York.
- Jaffe, A., Peterson, S., Portney, P. ja Stavens, R. (1995), "Environmental Regulations and the Competitiveness of U.S. Manufacturing", *Journal of Economic Literature* 33: 132–163.
- Kortelainen, M. (2008), "Dynamic Environmental Performance Analysis: A Malmquist Index Approach", *Ecological Economics* 64: 701–715.
- Kortelainen, M. ja Kuosmanen, T. (2007), "Eco-Efficiency Analysis of Consumer Durables Using Absolute Shadow Prices", *Journal of Productivity Analysis* 28: 57–69.
- Kuosmanen, T., Bijsterbosch, N. ja Dellink, R. (2009), "Environmental Cost-Benefit Analysis of Alternative Timing Strategies in Greenhouse Gas Abatement: A Data Envelopment Analysis Approach", *Ecological Economics*, painossa.
- Kuosmanen, T. ja Kortelainen, M. (2007), "Valuing Environmental Factors in Cost-Benefit Analysis Using Data Envelopment Analysis", *Ecological Economics* 62: 56–65.
- Pizer, W.A. ja Kopp, R.J. (2005), "Calculating the Costs of Environmental Regulation", teoksessa Mäler, K.G. ja Vincent, J.R. (toim.), *Handbook of Environmental Economics*, Elsevier, North-Holland.

Porter, M.E. (1991), "America's Green Strategy", *Scientific American* 264: 168.

Porter, M.E. ja van der Linde, C. (1995), "Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship", *Journal of Economic Perspectives* 9: 97–118.

Tyteca, D. (1996), "On the Measurement of the Environmental Performance of Firms – A Literature Review and a Productive Efficiency Perspective", *Journal of Environmental Management* 46: 281–308.