

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

Helena Dahlbo, Jyri Seppälä, Jyrki Tenhunen,
Tapio Pylkkö ja Tiina-Kaisa Lohi

Ympäristövaikutusten kuvaaminen ekotehokkuuden arvioinnissa



Helena Dahlbo, Jyri Seppälä, Jyrki Tenhunen,
Tapio Pylkkö ja Tiina-Kaisa Lohi

Ympäristövaikutusten
kuvaaminen
ekotehokkuuden
arvioinnissa

HELSINKI 2003

Julkaisu on saatavana myös Internetistä
<http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy617/sy617.htm>

ISBN 952-11-1369-3
ISBN 952-11-1370-7 (PDF)
ISSN 1238-7312

Kannen kuva: Salmisaari, Helsinki / Antero Aaltonen
Graafiset piirrokset: Sirkka Vuoristo
Taitto: Ritva Koskinen
Paino: Edita Prima Oy, Helsinki 2003

Alkusanat

Tämä raportti käsittelee ekotehokkuuteen liittyviä tekijöitä. Työ on tehty Suomen ympäristökeskuksessa osana ympäristöministeriön ympäristöklusterin tutkimusohjelmaan kuulunutta ja Oulun yliopiston koordinoimaa tutkimusprojektia Ekotehokas Suomi: Luonnonvarojen kokonaiskäyttö ja sen vähentämismahdollisuudet Suomessa. Ekotehokas Suomi- projektissa laskettiin Suomen talouden luonnonvarojen kokonaiskäytön aikasarjat vuosille 1970 - 1997. Tässä työssä käytetään lisäksi tietoja ympäristöä kuormittavista päästöistä, energiankulutuksesta ja tuotannon arvosta vuosilta 1980 - 1998.

Tekijät kiittävät ympäristöklusterin tutkimusohjelmaa työn rahoittamisesta.

Helsingissä maaliskuussa 2003

Tekijät

Sisällys

<i>Alkusanat</i>	3
<i>1 Johdanto</i>	7
<i>2 Pääkäsitteiden määrittely</i>	8
2.1 Luonnonvarojen käyttö ja materiaali-intensiteetti	8
2.2 Ympäristökuormitus ja ympäristövaikutus	9
2.3 Ekotehokkuus	10
2.3.1 Ekotehokkuus käsitteenä	10
2.3.2 Ekotehokkuuden mittaaminen	11
<i>3 Ekotehokkuuden arvioinnissa käytetyt muuttujat</i>	13
3.1 Tuotannon arvon kuvaajat	13
3.2 Ympäristövaikutuksia kuvaavat muuttujat	14
3.3 Tietolähteet ja niiden kattavuus	17
<i>4 Ekotehokkuuden kehittyminen Suomessa</i>	18
4.1 Ekotehokkuus Suomessa	18
4.2 Ekotehokkuus metallien jalostuksessa	22
4.3 Ekotehokkuus metsäteollisuudessa	27
4.4 Tulosten tarkastelua	30
4.4.1 Yleiskuva ekotehostumisesta	30
4.4.2 Luonnonvarojen kokonaiskäyttö ja ympäristövaikutukset	30
4.4.3 Päästöjen ja kokonaisvaikutusindikaattoritulosten kattavuus ..	31
<i>5 Johtopäätökset</i>	33
<i>Kirjallisuus</i>	34
<i>Kuvailulehdet</i>	36

Johdanto

Ympäristöpoliittisessa keskustelussa on viime aikoina erilaisin termein nostettu esille tarve luonnonvarojen käytön vähentämiseen ja kulutuksen hillitsemiseen. Ympäristöön kohdistuvien päästöjen vähentäminen päästörajoituksin on todettu riittämättömäksi esimerkiksi kestävä kehityksen toteuttamiselle. Suuri osa luonnosta otetuista aineista ei koskaan tule edes kulutettavaksi varsinaisina tuotteina, vaan ne poistuvat taloudesta tuotannon eri vaiheissa syntyvinä jätteinä. Luonnonvarojen käytön vähentämisellä oletetaan olevan automaattisesti yhteys ympäristön kuormituksen vähenemiseen. Luonnonvarojen käytön vähentämisessä ei kuitenkaan ole kysymys elintason laskemisesta tai kehityksen taantumisesta, vaan tuotannon ja yhteiskunnan materiaali-intensiteetin (raaka-aine-, luonnonvara- ja energiapanokset suhteessa tuotokseen) alentamisesta. Tämä tarkoittaa, että aiempaa vähemmällä materiaalien käytöllä saataisiin aikaan nykyistä enemmän tuotteita tai palveluita. Materiaaleja käytettäisiin tehokkaammin ja samalla säästeliäämmin. Materiaali-intensiteetin alentamiseksi tarvitaan mm. lisääntyvää materiaalien kierrätystä sekä tuotteiden suunnittelua uudella tavalla.

Ympäristökuormituksella tarkoitetaan vesiin ja ilmaan kohdistuvien päästöjen ohella kaikkea muutakin ympäristöä eri tavoin kuormittavaa toimintaa. Ympäristön kuormittuminen voi ilmetä erilaisina vaikutuksina kuten ilmastonmuutoksena, happamoitumisena, maaperän saastumisena tai köyhtymisenä tai luonnon monimuotoisuuden vähentymisenä. Ympäristöä kuormittavien päästöjen mittaaminen päästötonnien avulla on selkeää. Erilaisten ympäristövaikutusten arvottaminen sen sijaan on erittäin vaikeaa. Arvottaminen onkin yhtenä tärkeänä työkohteena kansainvälisessä elinkaariarvioinnin kehitystyössä.

Ekotehokkuus on ympäristöpolitiikkaan kehitetyistä termeistä tuoreimpia. Sen sisältö ei ole vielä täsmällisesti muotoutunut, mutta yleisesti tavoitteena on tuottaa vähemmästä enemmän. Ekotehokkuus nähdään tuotoksen ja panosten suhteena, missä tuotoksena on hyödykkeiden arvo ja panoksena kaikki toiminnasta aiheutuva ympäristörasitus. Ekotehokkuuden parantuessa tämä suhdeluku kasvaa.

Tässä työssä tavoitteena on verrata luonnonvarojen kokonaiskäyttöä muihin ympäristön kuormitusta kuvaaviin tekijöihin ja arvioida niiden eroja ja yhtäläisyyksiä ekotehokkuuden näkökulmasta. Työn tarkoituksena on havainnollistaa erilaisten ympäristövaikutuksia kuvaavien tunnuslukujen käytön vaikutusta ekotehokkuusarvioiden lopputulokseen. Erityisenä tavoitteena on selvittää luonnonvarojen kokonaiskäytön ja päästöjen avulla laskettujen kokonaisvaikutusindikaattoritulosten eroja ja yhtäläisyyksiä ekotehokkuusarvioissa. Tällä tiedolla on käytännön merkitystä, kun arvioidaan luonnonvarojen käyttöä kuvaavien tunnuslukujen hyödyllisyyttä ja käyttöä ympäristöindikaattoreina. Työssä sovelletaan elinkaariarvioinnissa kehitettyä vaikutusarviointimenetelmää erilaisten päästöjen yhteismitallistamiseksi. Työn tavoitteena on myös arvioida ekotehokkuuden kehittymistä Suomen taloudessa ja kahdella valitulla toimialalla: metallien jalostuksessa ja metsäteollisuudessa, joille on Suomen ympäristökeskuksessa tehty elinkaariarvioinnit. Tarkasteluissa käytetään Suomen ympäristökeskuksen kokoaman ympäristökuormitusta koskevan aineiston ja Oulun yliopiston Thule-instituutin luonnonvarojen käyttöä koskevan aineiston lisäksi myös Tilastokeskuksen virallista tilastoaineistoa.

2

Pääkäsitteiden määrittely

2.1 Luonnonvarojen käyttö ja materiaali-intensiteetti

Kaikella ympäristöä muuttavalla toiminnalla, luonnonvarojen käyttöönnotolla ja ympäristöön kohdistuvilla päästöillä on vaikutuksia, joita perinteiset kansantaloudelliset tilinpitojärjestelmät heijastavat huonosti. Bruttokansantuotteeseen ei esim. lasketa sellaisia maansiirtoja, joilla ei ole taloudellista arvoa. Näitä puutteita paikkaamaan on kehitetty ja kehitetään erilaisia ympäristötilinpitojärjestelmiä, joiden tarkoituksena on yhdistää taloutta ja ympäristöä koskevaa informaatiota. Saksassa (Wuppertal Institut, Wuppertal) on lisäksi kehitetty materiaalivirtatilinpitoa, jossa tarkastellaan ihmisen toiminnan aikaansaamia materiaalivirtoja (Bringezu ym. 1998, Adriaanse ym. 1997).

Wuppertal Institut:in menetelmässä lasketaan talouden tuotantoprosesseihin tai kulutukseen suoraan otettavien materiaolimäärien lisäksi näiden ns. ekologiset selkäreput eli piilovirrat, joita näiden materiaalien käyttöönotto ja kulutettavaksi toimittaminen tuottaa. Näin saadaan laskettua luonnonvarojen kokonaiskäyttö (total material requirement, TMR), joka mittaa talouden käyttöönottamien luonnonainesten kokonaismäärää yhteismitallisesti tonneina. **Luonnonvarojen kokonaiskäyttö** (Mäenpää ym. 2000) sisältää:

1. kotimaassa luonnosta talouden jatkoprosessointiin otetut **kotimaiset suorat panokset**,
2. kotimaisten suorien panosten oton tai rakentamisen yhteydessä tehdyt muut luonnonainesten siirrot ja muunnokset eli **kotimaiset piilovirrat**,
3. ulkomailta talouteen tuodut materiaolimäärät eli **tuonnin suorat panokset** sekä
4. tuontituotteiden valmistukseen ulkomailla käytetyt, tuotteen materiaolimäärään sisällyttömät suorat panokset ja piilovirrat, jotka yhdessä muodostavat **tuonnin piilovirrat**.

Kotimaiset ja tuonnin suorat panokset muodostavat varsinaisen talouden läpi kulkevan ainemäärän. Suorat panokset yhdessä kotimaisten piilovirtojen kanssa antavat kotimaan ympäristökuormituksen pohjana olevan ainemäärän. Tuonnin piilovirrat osoittavat Suomen talouden ainevirtaan liittyvän globaalin lisäselkäreput (Mäenpää ym. 2000).

TMR:ssä materiaalivirtojen keskinäinen arvottaminen perustuu aineiden massaan. TMR:ssä ei materiaalien haitallisuuden eroja oteta huomioon, vaan kaikki materiaalitonnit lasketaan yhteen.

TMR:ää voidaan pitää ympäristökuormitusta ennakoivana indikaattorina, jonka avulla voidaan löytää toimenpiteitä ympäristöhaittojen ennalta ehkäisemiseksi. Primaariraaka-aineiden käyttöä voidaan vähentää mm. seuraavin keinoin (Wuppertal Institut, ref. Hoffren 1998)

1. Materiaalien kysynnän vähentäminen
 - a) parantamalla materiaalien käytön tehokkuutta ja tuotteiden ekologista suunnittelua
 - b) muuttamalla kulutustottumuksia
 - c) siirtämällä kysyntää tuotteista palveluihin

2. Tuotteiden kierrätyksen lisääminen
3. Aurinkoenergian käytön lisääminen
4. Raaka-aineiden ja niitä runsaasti sisältävien tuotteiden hinnan nostaminen

Materiaalivirtojen jakaminen vaikutuksiltaan erilaisiin luokkiin tai ryhmiin lisääisi TMR:n käyttökelpoisuutta kohdennettaessa edellä mainittuja toimenpiteitä sinne missä niitä ympäristövaikutusten vähentämisen kannalta nopeimmin tarvitaan. Tällaista materiaalivirtojen luokittelua niiden ympäristökäyttäytymisen mukaan on kehitetty mm. Yhdysvalloissa World Resource Institute (WRI, Washington, D.C.) - tutkimuslaitoksessa. Materiaalit luokiteltaisiin kolmen ominaisuuden: liikkuvuuden, laadun ja materiaalivirran nopeuden mukaan. Materiaalin liikkumispotentiaali määrittelee sen alueellisen ulottuvuuden, missä ympäristövaikutuksia voi aiheutua. Materiaalin laadulla tarkoitetaan sen potentiaalia vaikuttaa ympäristöön fyysisesti tai kemiallisesti (mm. kertyvyys, pysyvyys, biohajoavuus) sen jälkeen kun se on taloudesta päästetty ympäristöön. Materiaalivirran nopeudella tarkoitetaan sitä aikaa, jonka materiaali pysyy taloudessa (esim. kestokulutushyödykkeet, rakennukset) ennen kuin se pääsee ympäristöön (World Resource Institute 2000).

Oulun yliopiston Thule-instituutti on muodostanut Suomen talouden luonnonvarojen kokonaiskäytön aikasarjat v. 1970-1997. Aikasarjoista puuttuu taloudesta ulos tulevat virrat (tuotteet, päästöt jne.), joten kyseessä on luonnonvarojen käyttö, ei materiaalitase. Mäenpää ym. (2000) ovat tarkastelleet luonnonvarojen kokonaiskäytön suhdetta kiinteähintaiseen bruttokansantuotteeseen v. 1970-1996. Tarkastelun perusteella Suomen talouden materiaali-intensiteetti pieneni 1970-luvun alussa voimakkaasti, mutta kasvoi vuosikymmenen lopulla jälleen melko jyrkästi. Vuodesta 1980 lähtien materiaali-intensiteetti on pysynyt jokseenkin samalla tasolla suhdanneheilahteluja lukuun ottamatta. Vuodesta 1994 alkaen on materiaali-intensiteetin suuntaus ollut jälleen laskeva.

Adriaanse ym. (1997) ovat tarkastelleet vastaavasti Saksan, Hollannin, Japanin ja USA:n materiaali-intensiteetin kehitystä v. 1975-1993 ja huomanneet jatkuvan lievän laskevan trendin. Tämä voi johtua mm. vähittäisestä siirtymisestä tuotteiden tuottamisesta palveluiden tuottamiseen ja siten taloudellisen toiminnan eroamisesta luonnonvarojen käytöstä. Samassa tutkimuksessa tarkastellaan suorien panosten ja BKT:n suhteen kehitystä ja tässä havaitaan laskeva trendi aina 1980-luvun puoliväliin asti. Siitä eteenpäin kuitenkin kehitys tasoittuu eli suorien panosten käyttö kasvaa samassa tahdissa talouden kasvun kanssa. Muutokset, jotka vaikuttavat materiaali-intensiteetin alenemiseen eivät näin ollen ole pysyviä.

Talouden ekotehokkuustarkasteluissa on käytetty luonnonvarojen kokonaiskäytön (TMR) lisäksi/sijasta talouden suoraa materiaali-intensiteettiä kuvaavaa tunnuslukua (DMI) (esim. Hoffrén 2001). Tällöin esimerkiksi Suomen materiaalivirtalaskennassa otetaan huomioon talouden suorat materiaalipanokset ja kotimaan toiminnan aiheuttamat piilovirrat. Ympäristövaikutusten osalta tällainen tunnusluku kattaa vain osan Suomen materiaalien käyttöön liittyvästä ympäristörasituksesta, joka tapahtuu ulkomailla (vrt. kohta 2.3.2).

2.2 Ympäristökuormitus ja ympäristövaikutus

Ympäristökuormituksella tarkoitetaan vesiin, ilmaan ja maaperään kohdistuvia päästöjä sekä kaikkea muuta ympäristöä eri tavoin kuormittavaa toimintaa. Merkittävimmiä tiedetyt päästöt vesiin ja ilmaan ovat nykyään tarkkailun alaisina ja niiden pienentämiseen pyritään koko ajan. Tietämys erilaisten kemiallisten yhdisteiden ominaisuuksista kuitenkin kasvaa koko ajan ja tätä myötä myös uusia tarkkailua vaativia päästökomponentteja ilmaantuu ajoittain. Vesiin ja ilmaan kohdistuvien päästöjen puhdistus tuottaa yleensä toisenlaisia päästöjä esim. lietemäisi-

nä tai kiinteinä puhdistusjätteinä. Maaperään kohdistuviin päästöihin on alettu kiinnittää huomiota 1990-luvulla saastuneiden maa-alueiden kartoituksen (Puolanne ym. 1994) ja tutkimusten seurauksena. Maaperään kohdistuvat päästöt ovat monesti satunnaisia, onnettomuuksista tai prosessihäiriöistä johtuvia päästöjä. Niistä ei ole tarkkailutietoa kuten veteen ja ilmaan kohdistuvista päästöistä.

Jätevirtoja on järjestelmällisesti ja kattavasti ryhdytty seuraamaan vasta 1990-luvun puolivälissä. Aiemmat tiedot jätteiden määristä ovat perustuneet yksittäisiin sektoritutkimuksiin tai selvityksiin (mm. Isaksson 1993, Juvonen 1988). Jättemäärien kehittymisestä ei näin ollen toistaiseksi ole muodostettavissa yhtä kattavia aikasarjoja kuin vesiin ja ilmaan kohdistuvista päästöistä.

Muu ympäristöä kuormittava toiminta on vaikeasti mitattavaa. Maankäyttö yleisesti ottaen aiheuttaa ympäristön kuormittumista. Maankäytöllä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa kaikkea sellaista ihmisen toimintaa, joka saa aikaan muutoksia ympäristössä. Ympäristöä voimakkaasti muuttavia maankäyttömuotoja ovat muun muassa maa – ja metsätalous, kiinteistöjen, teiden ja rantojen rakentaminen sekä esimerkiksi maa-ainestenotto. Vaikutukset ovat kuitenkin erilaisia maankäyttömuodosta (esim. teollisuusalue ja virkistysalue) ja alueen ominaisuuksista (esim. rehevä metsä ja karu tunturi) riippuen. Herkillä biotoopeilla maankäytön vaikutukset luonnollisesti ovat voimakkaampia.

Päästöistä tai maankäytöstä johtuva ympäristön kuormittuminen voi aiheuttaa erilaisia negatiivisia ilmiöitä tai vaikutuksia kuten vesien rehevöitymistä, ilmastomuutosta, happamoitumista, maaperän saastumista tai köyhtymistä tai luonnon monimuotoisuuden vähentymistä. Nykyisten ja viimeaikaisten päästöjen lisäksi ympäristössä aiheuttavat rasitusta aiemmin ympäristöön päässeet pysyvät tai hitaasti hajoavat yhdisteet, kuten kloorifenolit, PCB ja dioksiinit.

2.3 Ekotehokkuus

2.3.1 Ekotehokkuus käsitteenä

Ekotehokkuus-termin toi esille ensimmäisenä kansainvälistä elinkeinoelämää edustava järjestö World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa vuonna 1992 (Rion kokous). Termin sisällöstä on keskusteltu sekä WBCSD:n toimesta että myös mm. OECD:n (the Organisation for Economic Co-operation and Development) toiminnassa. Myös EU on osallistunut ekotehokkuudesta käytyyn keskusteluun yhdessä mm. edellä mainittujen tahojen sekä kansalaisjärjestöjen kanssa.

Ekotehokkuuden sisällölle on annettu erilaisia muotoiluja. Ekotehokkuus oli esillä OECD:n ympäristöministerioiden kokouksissa (the Meetings of the Environment Policy Committee at Ministerial Level, helmikuu 1996 ja huhtikuu 1998) ja termille on mm. määritelty sisältö: "Ekotehokkuus ilmaisee tehokkuutta, jolla inhimilliset tarpeet täytetään käyttäen ekologisia resursseja" (OECD 1998). Edelleen se voidaan OECD:n raportin mukaan määritellä tuotoksen tai hyödyn (output) ja panoksen (input) suhteena. Tällöin tuotos on yrityksen, sektorin tai talouden tuottamien tuotteiden ja palveluiden arvo. Arvolla voidaan tarkoittaa taloudellisen arvon lisäksi myös tuotteen laatua tai muuta ominaisuutta, joka toteuttaa kuluttajan tarpeita. Panos on yrityksen, sektorin tai talouden aiheuttamien ympäristöön kohdistuvien paineiden (pressures) summa. Erilaiset paineet (esim. päästöt, maankäyttötoiminnot jne.) aiheuttavat ympäristövaikutuksia. Erilaiset paineet pyritään yhdistämään toisiinsa nähden ympäristövaikutusten näkökulmasta. Käytännössä ympäristöön kohdistuvilla paineilla halutaan kuvata tarkasteltavan toiminnan aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Siten

(1) **ekotehokkuus = tuotteiden ja palveluiden arvo
toiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset**

WBCSD on määritellyt ekotehokkuuden käsitteen mm. seuraavasti: "Ekotehokkuus saavutetaan tarjoamalla kilpailukykyisesti hinnoiteltuja tuotteita ja palveluja siten, että inhimilliset tarpeet tyydytetään ja elämän laatu taataan, ja samalla lisääntyvässä määrin vähennetään tuotteiden elinkaaren aikaisia ekologisia vaikutuksia ja resurssi-intensiteettiä vähintään tasolle, joka vastaa maapallon arvioitua kantokykyä." (KTM 1998).

Ekotehokkuus-termi on usein liitetty keskusteluihin ja projekteihin, jotka käsittelevät "kestävää kehitystä", "factor 4-" ja "factor 10-tavoitteita". Factor-ohjelmassa tavoitteeksi asetetun tehokkuuslisäyksen määrittely on tyypillisesti rajattu koskemaan resurssien (mm. materiaalien) käytön tehostamista. Kuitenkin resurssien käytön on siinä arvioitu tuovan väistämättä mukanaan myös päästöjen vähenemisen. Joissakin yhteyksissä, mm. YK:n kestävän kehityksen toiminnassa, ekotehokkuuden arviointi on liitetty melko kiinteästi factor-tavoitteisiin jopa siten, että yleisesti factor-tavoitteet todetaan saavutettavan ekotehokkuutta parantamalla. Myös kotimaisessa keskustelussa ja jopa kestävään kehitykseen liittyvissä virallisissa tavoitteen asetteluissa (VN:n periaatepäätös 1998) on ekotehokkuus-termiä käytetty luonnonvarojen käytön tehostamistavoitteiden synonyyminä. Toisaalta lukuisat yritykset (esim. BASF) ovat omaksuneet ekotehokkuuskäsitteen siten, että toiminnan luonnonvarojen käytöstä aiheutuneet paineet arvioidaan elinkaariajattelun periaatteiden perusteella ja paineiden aiheuttamat ympäristövaikutukset pyritään esittämään vaikutusindikaattoreina ekotehokkuusarvioissa (Saling ym. 2002).

Yhteenvetona voidaan yleistäen sanoa, että luonnonvarojen käytön tehostaminen on nähtävä oikean suuntaisena toimintalinjana pyrittäessä parantamaan ekotehokkuutta, ts. vähentämään tuotteista ja palveluista aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Ekotehokkuutta voidaan kuitenkin lisäksi parantaa vähentämällä toiminnan ympäristövaikutuksia esimerkiksi puhdistustekniikan avulla.

2.3.2 Ekotehokkuuden mittaaminen

Ekotehokkuuden konkreettisempi määrittely on tarpeen, jotta sitä voidaan käyttää hyväksi yritysten ja yhteisöjen toiminnan suunnittelussa ja arvioinnissa sekä myös kansantaloudellisella tasolla tapahtuvassa arvioinnissa. Ekotehokkuuden arvioimiseksi on nähty tarpeelliseksi kehittää ja sopia erilaisia mitattavia tai muuten määriteltäviä indikaattoreita. Indikaattoreille on esitetty runsaasti erilaisia tavoitteita, mutta varsinaisia ekotehokkuuden indikaattoreita on kuitenkin ilmeisesti melko vähän testattu tai otettu käyttöön.

Ekotehokkuuden indikaattoreiksi on input-tekijöiksi ehdotettu jo aiemmin käytössä olleita luonnonvarojen käyttöä ja päästöjä luonnehtivia, mitattavia tai muuten luotettavasti arvioituvia suureita, esim. energian käyttö tai CO₂-päästöt vuodessa. Output-tekijöiksi on ehdotettu erilaisia taloudellisen toiminnan ja tuloksen arvioinnissa käytettyjä tunnuslukuja, kuten tuotannon määrä, liikevaihto ja käytökate. WBCSD on ryhmitellyt potentiaalisia indikaattoreita ydinindikaattoreiksi (core indicators) ja täydentäviksi indikaattoreiksi (supplemental indicators). Edellä mainituilla tarkoitetaan sellaisia indikaattoreita, jotka sopivat käytännöllisesti katsoen kaikille yritystoiminnan aloille, jälkimmäisiä käytettäisiin vastaamaan tietyn alan tarpeisiin. WBCSD suosittelee täydentävien indikaattoreiden valinnassa käytettäväksi ympäristöasioiden hallinnasta annettua standardia (SFS-EN ISO 14031). Sen sijaan inhimillisten tarpeiden tyydyttämisen mittaamiseen ei ole esitetty yleispäteviä indikaattoreita.

Jotta ekotehokkuuden suhdeluvulle saadaan yksi arvo, tulee osoittajan (output) ja nimittäjän (input) mahdolliset useat indikaattorit pystyä summaamaan tai muuten yhdistämään. Erityisesti ympäristöön kohdistuvien paineiden (pressures) kohdalla yhdistämisessä voidaan käyttää erilaisia elinkaariarvioinnissa sovellettuja menetelmiä. Menetelmiä käytettäessä joudutaan yleensä turvautumaan jonkinasteisiin subjektiivisiin painotuksiin. Eri indikaattoreiden yhdistelemisessä WBCSD suositteleeekin melko varovaista etenemistä ennen yhdistämiseen liittyvien rajoitteiden tarkkaa arviointia. Yksittäisten indikaattoreiden käyttöön output-input -suhdeluvun määrittämiseksi ja ajallisen kehityksen arvioimiseksi yrityksissä WBCSD sen sijaan kannustaa.

Suomen ympäristökeskuksessa on kehitetty vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden arviointiin systeemianalyysiin perustuva ekotehokkuuden arviointimalli, jolla laitosten toimintaa keskeisimmin kuvaavat tekijät pystytään ottamaan huomioon (Tenhunen ja Lohi 2001). Mallissa ekotehokkuutta kuvaaviksi tekijöiksi on määritelty vaikutukset ympäristöön, luonnonvarojen käyttö, tuotetun palvelun laatu ja toiminnan taloudellisuus. Vastaava, erilaisia tietoja yhdistävä ekotehokkuusmalli on kehitetty myös rakennuksen ekotehokkuuden arviointiin (Seppälä ja Huovila 2002).

Wuppertal-instituutin aloitteesta ekotehokkuuden mittarina on useissa yrityksissä esitetty ns. MIPS (material intensity per service). Tämä mittari on käytännössä edellä esitetyn yhtälön (1) käänteisluku. Palvelusuoritteen arvoa ei pyritä kuitenkaan arvioimaan. Ympäristövaikutuksia indikoidaan luonnonvarojen kokonaiskäyttömäärän (TMR:n) avulla. (Schmidt-Bleek 1993, 2000).

Ympäristövaikutusten arviointiin on esitetty myös ns. "ekologista jalanjälkeä", jossa toimintojen ympäristövaikutuksia kuvataan käytetyn maapinta-alan avulla (Costanza 2000, Moffatt 2000). Elinkaariarviointi tarjoaa kuitenkin tieteellisimmän lähestymistavan ekotehokkuuden nimittäjäosan arviointiin. Erilaiset ympäristöä kuormittavat tekijät yhdistetään vaikutusluokkaindikaattorituloksiksi (ks. kohta 3.2).

Ekotehokkuuden määrittäminen yritysten sijasta esim. koko teollisuusalalle (esim. metsä-, kemian- tai metalliteollisuudelle) tai koko kansantaloudelle vaatii selvästi yritystason arviointia laajemman näkökulman. Sekä ekotehokkuuden osoittajan (output) että nimittäjän (input) määrittämisessä kohdataan kuitenkin samat ongelmat kuin yritystasolla yhdisteltäessä mitattavia tai arvioitavia arvoja ja ympäristöpaineita.

Muun muassa Hoffrénin (2001) väitöskirjassa tarkastellaan kansantalouksiin ekotehokkuuden mittaamista. Kirjan empiirisessä osassa tarkastellaan Suomen ekotehokkuuden kehitystä yhteensä viiden ekotehokkuusindikaattorin avulla vuosina 1960-2000. Tutkimuksessa käytetyt indikaattorit on muodostettu suhteuttamalla suoraan materiaalivirtaan (DMI) bruttokansantuotetta, ympäristökorjattua kansantuotetta, kestävän taloudellisen hyvinvoinnin indeksiä sekä inhimillisen kehityksen indeksiä. Viides ekotehokkuusindikaattori on muodostettu tuotantosektorikohtaisesti sektorin arvon lisäyksen suhteena suoraan materiaalien käyttöön. Tarkastelussa ei käsitelty muita ympäristövaikutuksia kuvaavia tunnuslukuja kuin DMI, koska kansantalouden suorien materiaalien käytön katsottiin olevan paremmin sopusoinnussa ekotehokkuuden osoittajana käytettyjen tunnuslukujen kanssa. Hoffrénin tutkimuksessa korotettiin eri mittareiden yhtäaikaisen käytön tarvetta oikean kokonaiskuvan saamiseksi.

Ekotehokkuuden arvioinnissa käytetyt muuttajat

3.1 Tuotannon arvon kuvaajat

Ekotehokkuutta voidaan tarkastella suhdelukuna, jonka osoittajassa on jokin tuotannon arvoa kuvaava muuttuja ja nimittäjässä tämän arvon tuottamisesta syntyvää ympäristöarvoa kuvaavat muuttajat. Suhdeluvun suureneminen voidaan katsoa osoitukseksi ekotehokkuuden lisääntymisestä.

Koko Suomen taloutta tarkasteltaessa bruttokansantuotetta (BKT) voidaan pitää parhaana koko talouden tuotannon arvon kuvaajana. Bruttokansantuote on kansantaloudessa tiettyä vuonna tuotettujen lopputuotteiden eli tavaroiden ja palvelusten arvo. Bruttokansantuotteen volyyymikehitys saadaan, kun eri vuosien lopputuotteiden arvo mitataan valitun perusvuoden hinnoilla.

Yksittäisen teollisuuden toimialan osalta tuotannon arvoa voidaan kuvata teollisuustuotannon volyyymi-indeksillä, jonka Tilastokeskus laskee toimialakohtaisesti kuukausittain ja vuosittain. Volyyymi-indeksi lasketaan perusvuosien hintatasossa. Perusvuosi määritellään viiden vuoden välein. Perusvuonna on tiedossa toimialoittaisen jalostusarvon määrä. Siten volyyymi-indeksi ilmaisee likimääräisesti teollisuustuotannon jalostusarvon.

Tuotannon arvoa ja sen kuvaajaksi valittua tuotannon volyyymi-indeksiä voitaneen pitää melko hyvin soveltuvana ekotehokkuuden osoittajaksi (output eli tuotos). Sen muutokset eivät vaikuta välttämättä suoraan resurssien tarpeisiin, ellei samalla tehosteta resurssien käyttöä. Siten volyyymi-indeksiin vaikuttava tuotantorakenteen muutos jalostetumpiin ja arvokkaampiin tuotteisiin voi merkittävästikin aikaansaada tuotannon ekotehostumista. Toisaalta se ei ota kantaa siihen onko teollisuustuotanto (tai tuotteet) onnistunut täyttämään ”inhimillisiä tarpeita”. Yleisesti voi kuitenkin todeta tuotteiden olevan sitä laadukkaampia mitä suurempi niiden hinta tai arvo on.

Tässä työssä tarkasteltavat toimialat ovat nykyisin Tilastokeskuksen käyttämässä TOL-95 toimialaluokituksessa

- luokka 27: perusmetallien valmistus (Manufacture of basic metals), vuoden 2000 alusta lähtien nimenä on metallien jalostus
- luokka 21: massan, paperin ja paperituotteiden valmistus (Manufacture of pulp, paper and paper products)

Suomen Tilastokeskuksen käyttämä toimialaluokitus (TOL-95) perustuu EU:n toimialaluokitusstandardiin (NACE), jonka käyttöä säätelee EU:n asetus (No 3037/90) vuodelta 1990. Ennen EU:hun liittymistä Suomessa oli käytössä nk. toimialaluokitus 1988 (TOL-88), jossa (pää)luokka nro 23 oli ”Metallien valmistus”, joka vastasi pääosin nykyistä luokkaa 27. Molempien alaluokkina on mm. ”raudan ja teräksen (ja rautaseosten NACE 27:ssä) valmistus”, ”muiden kuin rautametallien valmistus” sekä ”metallien valu”. Putkien valmistus ei ollut TOL-88:n luokassa 23, mutta on nyt TOL-95:n luokassa 27.

3.2 Ympäristövaikutuksia kuvaavat muuttujat

Ympäristökuormitusta kuvaavat muuttujat on valittu tähän tarkasteluun lähinnä tiedon saatavuuden ja luotettavuuden perusteella. Muuttujien kehitystä haluttiin kuvata aikasarjoilla, joten muuttujista tuli olla vuosittaista tietoa vähintään 1990-luvun ajalta.

Luonnonvarojen kokonaiskäyttö

Luonnonvarojen kokonaiskäyttöä (TMR) tarkastellaan ja verrataan päästöihin vain koko Suomen tasolla. Tämä siksi, että tutkimuksessa käytössä olleessa Thule-instituutin laatimassa TMR-aineistossa (TMRFIN -tiedosto) materiaalivirtoja ei oltu tätä tarkastelua tehtäessä ositettu eri toimialoille. Tällä hetkellä toimialakohtaiset TMR ja TMI -tiedot ovat jo saatavissa (Thule Instituutti 2003).

Luonnonvarojen kokonaiskäytössä (TMR) piilovirroilla on erittäin hallitseva rooli. Piilovirrat muodostivat TMR:sta keskimäärin 50 % (43 - 58 %) vuosina 1970 - 1997. Kotimaisesta käyttöön otetusta materiaalmäärästä piilovirrat muodostivat em. tarkastelujaksolla keskimäärin 38 % (36 - 40 %) ja tuonnin materiaalmäärästä vastaavasti keskimäärin 71 % (62 - 77 %). Sektorikohtaisesta tarkastelusta (taulukko 1) voidaan todeta, että suurimmat piilovirrat (83 %) liittyvät jalosteiden tuontiin, koska mitä pidemmälle jalostettu tuote, sitä enemmän sen valmistukseen on kulunut materiaalia verrattuna itse tuotteen sisältämään materiaalmäärään. Jalosteisiin kuuluvilla energiatuotteilla piilovirtojen osuus kokonaismateriaalmäärästä oli tarkastelujaksolla keskimäärin 71 prosenttia (59 - 77 %). Muista sektoreista mineraaleilla oli selvästi suurimmat piilovirrat (59 %). Maa- ja metsätaloudessakin piilovirtojen osuus oli noin 40 % kokonaismateriaalikulutuksesta.

Mineraalisektorilla piilovirtojen osuus on tarkastelujaksolla selvästi kasvanut. Tämä johtuu malmioiden köyhtymisestä, mistä seuraa, että malmin louhinnassa syntyvän sivukiven määrä kasvaa. Mineraalien osalta piilovirrat koostuvatkin lähes yksinomaan louhinnan sivukivestä ja rikastusjätteestä. Maa- ja metsätaloudessektoreilla piilovirtojen osuudet ovat tarkastelujaksolla pysyneet suhteellisen tasaisesti 40 prosentin molemmin puolin. Näillä sektoreilla piilovirrat koostuvat abiottisista materiaaleista (mm. metsänparannustoimenpiteiden ja metsäteiden rakentamisen maansiirrot sekä eroosio) sekä metsätaloudessa lisäksi bioottisista materiaaleista (hakkuujäämät).

Piilovirtojen hallitseva rooli luonnonvarojen kokonaiskäytössä on tärkeä muistaa, kun verrataan TMR-laskennalla saatua luonnonvarojen kokonaiskäytön kehitystä esim. ympäristöä kuormittavien päästöjen kehitykseen. Tosiasiassa luonnonvarojen kokonaiskäyttö suurelta osin muodostuu sellaisten toimialojen toiminnasta, jotka eivät aiheuta merkittävässä määrin nykyisin ympäristön kannalta haitallisia pidettyjä päästöjä. Tällaisia toimialoja ovat esimerkiksi maa- ja vesirakennus sekä kaivostoiminta. Nämä toimialat aiheuttavat kuitenkin merkittäviä muutoksia luonnonolosuhteissa ja vaikuttavat maisemaan, kulttuuriympäristöön ja virkistysmahdollisuuksiin. Tämä havainto viittaa siihen, että TMR indikaattorina kuvastaa enemmän maankäytön vaikutuksia kuin päästöjen kautta aiheutuvaa ympäristökuormitusta.

Taulukko 1. Piilovirtojen (HF = hidden flows) osuus (%) luonnonvarojen kokonaiskäytöstä (TMR = total material requirement) sektoreittain, keskimäärin v. 1970 - 1997 sekä vaihteluväli.

	HF/TMR	
	ka	Min - Max
Maatalous, kalastus	40 %	36 - 48 %
Metsätalous	42 %	39 - 45 %
Mineraalit	59 %	41 - 73 %
Jalosteiden tuonti	83 %	79 - 85 %
Rakentamisen maansiirrot	31 %	31 - 31 %

Energiankulutus

Energiankulutus on yksi tärkeimpiä luonnonvarojen käyttöön liittyviä indikaattoreita. Koko maan tilannetta tarkasteltaessa on hyödyllistä erotella eri energialähteet ja erityisesti uusiutuvat (ei-fossiiliset) ja uusiutumattomat (fossiiliset). Teollisuuslaitoksen sekä teollisuustoimialan piirissä voidaan energian kokonaiskäytön kehityksestä tarkastella tuotannon ekotehostumista, varsinkin jos energia (esim. sähkö) ostetaan muualta. Toisaalta toimialan sisällä syntyvien polttoaineena käytökelpoisten jätteiden tehokkaampi hyödyntäminen ja niillä esimerkiksi uusiutumattomien energialähteiden korvaaminen on perusteltua lukea toimialan positiiviseksi ekotehokkuuden kehitykseksi. Tässä selvityksessä tarkastellaan lähinnä koko teollisuuden ja valittujen toimialojen energian kokonaiskulutuksen (Total Energy Consumption) kehitystä. Energiankulutustiedot ovat pääosin Tilastokeskuksen keräämistä aineistoista (raportit ja sähköiset tietokannat).

Päästöt veteen

Vesiin kohdistuvien päästöjen osalta tarkastelussa on käytetty ympäristöhallinnon Valvonta- ja kuormitustietojärjestelmää (VAHTI-järjestelmää). Kuormittajan tarkkailu- ja raportointivelvollisuus perustuu vesioikeuden tai kunnan ympäristöviranomaisen lupaan johtaa jätevesiä vesistöön tai ojaan. Tarkkailu voi myös perustua alueellisen ympäristökeskuksen ennakkotoimenpideilmoituksesta antamaan vastaukseen. VAHTI-järjestelmässä on jätevesien kuormitustietoja yhdyskunnista, teollisuudesta sekä kalankasvatuksesta. Hajakuormituksen, kuten turvetuotannon, maatalouden ja metsätalouden päästöt eivät ole mukana VAHTI-järjestelmässä.

Tässä selvityksessä koko maan päästöt veteen koostuvat teollisuuden ja kalankasvatuksen päästöistä. Niiden osuus oli kaikista kotimaan ihmistoiminnan sekä ilman kautta tulevan laskeuman päästöistä vuodelle 1997 tehdyn kokonaislaskelman mukaan ravinteiden osalta (typpi ja fosfori) noin 20 %. Happea kuluttavasta kuormituksesta laskelmaa ei ole tehty, mutta jätevesien luonteen perusteella sen voi arvioida olevan suurempi. Maatalouden ja muun hajakuormituksen osuus on siis etenkin ravinteiden kohdalla merkittävä ja se puuttuu kokonaan tämän selvityksen tarkasteluista.

Päästöt ilmaan

Päästöt ilmaan voivat aiheuttaa ympäristössä vaikutuksia päästölähteen lähellä tai laajemmalla, jopa koko maapallon alueella. Päästölähteen lähelle keskittyviä vaikutuksia on mm. hiukkaspäästöillä. Happamoittavien päästöjen (SO₂ ja NO_x) ja metallipäästöjen vaikutukset ulottuvat sekä lähialueille että olosuhteista riippuen hyvin kauaksikin. Tyypillisiä maailmanlaajuisia vaikutuksia aiheuttavia päästöjä ovat kasvihuonekaasut, joista merkittävin on hiilidioksidi. Koska eri päästöjen vaikutukset ovat erilaisia, on niiden vertailu ja yhdisteleminen melko hanka-

laa. Ekotehokkuuden määrittämiseksi olisi hyödyllistä voida valita juuri tärkeimpien ympäristössä vaikuttavien päästöjen muuttujat ympäristöpaineiden kuvaajiksi.

Tässä selvityksessä on päästömuuttujien valinta tehty pääosin tietojen saatavuuden perusteella. Tilastoista tai rekistereistä saatavissa olevat päästötiedot ovat yleensä myös merkityksellisiä, sillä lupapäätöksiin perustuvissa tarkkailuissa on luonnollisesti pyritty seuraamaan ainakin niitä päästöjä, jotka ovat tärkeitä päästölähteiden lähialueilla. Parhaiten on saatavissa happamoittavien rikin ja typen oksidien päästötietoja. Myös energiankulutuksen perusteella lasketuista hiilidioksidipäästöistä sekä metalliteollisuuden metallipäästöistä on tietoja saatavissa melko hyvin.

Päästöjen kokonaisvaikutusindikaattoritulokset

Päästöjä tarkastellaan paitsi tonnimääräisinä, myös vaikutusindikaattorituloksina. Vaikutusindikaattoritulosten käyttö perustuu elinkaariarvioinnissa tulosten tulkintaa varten kehitettyyn vaikutusarviointiin. Vaikutusarvioinnin tavoitteena on elinkaariarvioinnissa tarkasteltavien vaihtoehtojen ekologisen paremmuuden vertailun mahdollistaminen.

Kokonaisvaikutusindikaattoritulokset on tässä tutkimuksessa laskettu käyttäen malleja, jotka on tehty noudattaen pääosin kansainvälisessä elinkaariarvioinnin standardisoinnissa (SFS-EN ISO 14042) vaikutusarvioinnin kehitystyön pohjaksi otettuja menettelytapoja. Vaikutusarvioinnin ensimmäisenä vaiheena on luokittelu, jossa tarkasteltavat (yleensä ns. inventaariossa kerätyt) päästöt jaotellaan erikseen määriteltyihin vaikutusluokkiin tiedossa olevien syysseuraussuhteiden perusteella. Vaikutusluokalla tarkoitetaan ympäristöongelmaa kuten esimerkiksi ilmastonmuutosta, happamoitumista ja rehevöitymistä, jossa vaikutukset arvioidaan jonkin sovitun indikaattorin suhteen. Esimerkiksi happamoitumisessa ilmaan pääsevien typen oksidien, ammoniakkin ja rikkidioksidin päästöjen vaikutukset arvioidaan sen perusteella, mikä on kunkin aineen potentiaali aiheuttaa protonin huuhtoutumista maaperässä. Luonnehdinnassa eli karakterisoinnissa eri aineiden päästömäärät muutetaan yhteismitalliseksi tarkasteltavan vaikutusluokan indikaattorin suhteen. Kunkin vaikutusluokan osalta lasketaan ns. vaikutusluokkaindikaattoritulos, joka saadaan kertomalla kunkin aineen päästömäärä sitä vastaavalla karakterisointikertoimella ja summaamalla näin saadut tulokset yhteen. Kussakin vaikutusluokassa on omat karakterisointikertoimet päästöaineille, joiden tiedetään aiheuttavan ko. vaikutusluokan vaikutuksia. Karakterisointikertoimien määrittelyssä pyritään ottamaan huomioon tieteelliset tosiseikat eri aineiden vaikutuspotentiaalista ko. vaikutusluokan indikaattoriin nähden. Karakterisointikertoimien määrittelyssä käytetään ympäristövaikutusten arviointia varten kehitettyjä malleja (esim. happamoitumisessa ja alailmakehän otsonin muodostumisessa Euroopan kattavia ilman laadun kulkeutumismalleja) ja asiantuntijanäkemyksiä (esim. kansainvälisen ilmastopaneelin GWP-arvot ilmastonmuutosta aiheuttaville päästöaineille). Vaikutusluokkaindikaattoritulokset lasketaan tarkasteltavalle systeemille (esim. Suomen metallien jalostusteollisuudelle) ja jollekin referenssikohteelle (esim. koko Suomelle). Tämän jälkeen tehdään ns. normalisointi, jossa tarkasteltavan systeemin vaikutusluokkaindikaattoritulokset jaetaan vastaavan referenssialueen vaikutusluokkaindikaattorituloksilla. Nämä ns. normalisoidut tulokset kerrotaan ko. vaikutusluokan painokertoimella, jotka saadaan käytännössä ympäristöalan asiantuntijoiden arvotustutkimuksen kautta. Lopputuloksena saadaan ns. kokonaisvaikutusluokkaindikaattoritulokset, jotka kertovat tarkasteltavan systeemin aiheuttaman kokonaisvaikutuksen ympäristöön arvioissa mukaan otettujen vaikutusluokkien osalta.

Kokonaisvaikutusindikaattoritulokset lasketaan tässä työssä kahdella vaikutusarviointimallilla:

1. DAIA = Decision Analysis Impact Assessment (Seppälä 1997, 1999a), joka on Suomen olosuhteet karkeasti huomioiva vaikutusarviointimalli sekä
2. Ekoindikaattori 95 -malli (Goedkoop 1995), joka on elinkaariohjelmistoissa yleisesti käytetty yleiseurooppalainen malli.

DAIA ja Ekoindikaattori 95 tuottavat erilaisia kokonaisvaikutusindikaattorituloksia. Sovelluskohteesta riippuen mallien tulokset voivat antaa erilaisia tuloksia, koska mallien perusteet eroavat toisistaan mukaan otettujen vaikutusluokkien, karakterisointikertoimien, referenssialueiden (DAIA:ssa Suomi, Ekoindikaattori 95:ssä koko Eurooppa) ja vaikutusluokkien painokertoimien osalta. Luvun 4 kuvien tarkastelussa tulee näin muistaa, että kokonaisvaikutusindikaattorituloksista voidaan tarkastella vain päästöjen kehitystä joko DAIA:n tai Ekoindikaattori 95 mukaan laskettuna.

Vaikutusarviointimallien metodiikka on esitetty yksityiskohtaisesti suomenkielellä julkaisuissa " Vaikutusten laskenta elinkaariarvioinnissa – vertailtavana DAIA- ja Ekoindikaattori 95 –menetelmät" (Seppälä 1999b) ja "Vesihuollon elinkaariarvotkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön" (Tenhunen ym. 2000). Tässä työssä DAIA-mallissa metallipäästöille on käytetty metalliteollisuuden elinkaariarvioinnissa saatuja haittakertoimia (Seppälä ym. 2000; liite 6).

3.3 Tietolähteet ja niiden kattavuus

Kaikissa kerätyissä päästötiedoissa pyrittiin kattavuuteen myös ajallisesti, jotta kehityslinjoja esim. luonnonvarojen kokonaiskäyttöön (TMR) voitaisiin vertailla. Koska tiettyjä päästömuuttujia ei kuitenkaan ollut saatavilla kuin muutamien yksittäisten vuosien osalta, jätettiin tällaiset muuttujat tarkasteluista pois.

Koko maan päästöissä ilmaan on käytetty sekä tietoja, jotka on koottu Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE 1999) että Tilastokeskuksen julkaisemia päästötietoja. Päästöissä ovat mukana kaikkien toimintojen, siis myös esim. liikenteen sekä jätehuollon päästöt. Päästöt veteen pohjautuvat pääosin ympäristöhallinnon päästötietojärjestelmiin (VAHTI ja sitä edeltänyt teollisuuden vesiensuojelurekisteri TVSR). Niitä on raportoitu aiemmin ympäristöhallinnon julkaisuissa (mm. Repo ym. 1999). Metsäteollisuuden päästötietojen (sekä ilmaan että veteen) lähteinä oli käytettävissä edellä mainittujen lisäksi Metsäteollisuus ry:n julkaisemia toimialaa koskevia ympäristönsuojelun vuosikirjoja sekä järjestön verkkosivut (Metsäteollisuus ry 1999) . Metallien jalostusteollisuuden osalta lähteinä olivat pääosin Suomen ympäristökeskuksen ja Tilastokeskuksen tiedot.

Päästötietojen ajallinen kattavuus ulottuu yleensä hyvin vain 1990-luvun ajalle. Tämä koskee erityisesti päästöjä ilmaan, joita on ympäristöhallinnon rekistereissä aikaisintaan vuodelta 1987. Jätevesipäästöjä on ympäristöhallinnossa seurattu jonkin verran jo 1970-luvulta, kuitenkin joidenkin muuttujien osalta (esim. kemiallinen hapen kulutus COD_{Cr} ja orgaaniset klooriyhdisteet AOX) analyysimenetelmät on otettu käyttöön vasta 1980-luvun lopulla. Tilastokeskus on laskenut energiaperäisiä päästötietoja (ilmaan) 1980-luvun alusta. Ne eivät ole kuitenkaan kattavia, ja toisaalta ne eivät ole täysin verrattavissa uudempiin tietoihin. Tilastokeskuksen kansainvälisiä raportointeja varten määrittämät päästötiedot ilmaan ovat kattavia vuodesta 1992.

Energiankäytön tietojen lähteenä käytettiin Tilastokeskuksen julkaisemia energiatilastoja sekä raportteja (Tilastokeskus 1996, 1999a, 1999b).

4

Ekotehokkuuden kehittyminen Suomessa

4.1 Ekotehokkuus Suomessa

Koko Suomen ekotehokkuuden kehittymistä tarkastellaan bruttokansantuotteen (BKT), päästöjen, luonnonvarojen kokonaiskäytön sekä energian kokonaiskulutuksen avulla. BKT on esitetty kiinteähintaisena vuoden 1995 hinnoin (Mäenpää ym. 2000). BKT kuvaa koko talouden tuotannon arvon kehittymistä (output) ja päästöt, TMR ja energiankulutus kuvaavat talouden tuotannon aiheuttamien ympäristöpaineiden (input) kehittymistä.

Koko Suomen päästöt veteen on poimittu ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmästä. Tietoja on vuosilta 1972 - 1998, mutta varsinkaan alkuvuosina ei kaikista muuttujista ole tietoja jokaiselta vuodelta. Tarkastelussa on otettava huomioon, että hajakuormitus ei ole päästöissä mukana.

Koko Suomen päästöt ilmaan on saatu Suomen ympäristökeskuksen tietojärjestelmästä (SYKE 1999). Kaikkia tiedostoissa esiintyviä muuttujia ei ole raportoitu joka vuosi. Metallipäästöistä ilmaan (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V ja Zn) on tiedot vuosilta 1990 - 1997.

Päästöt on muunnettu kokonaisvaikutusindikaattorituloksiksi Ekoindikaattori 95 ja DAIA -malleilla (luku 3.2). Kaikille päästömuuttujille ei näissä malleissa kuitenkaan ole kertoimia ja toisaalta kaikista muuttujista, joille on kerroin, ei ole tietoja kaikilta vuosilta. Työssä haluttiin laatia kokonaisvaikutusindikaattorituloksille aikasarjat mahdollisimman pitkältä ajalta ja siten, että mukana on mahdollisimman monta päästömuuttujaa. Tällä perusteella laskettiin kokonaisvaikutusindikaattoritulokset ajanjaksolla 1980 - 1997 taulukossa 2 esitetyllä muuttujavalikoimalla. Vuosilta 1990 - 1997 muuttujavalikoima oli laajempi (taulukko 2).

Seuraavissa kuvissa päästötietoja on esitetty sekä kokonaisvaikutusindikaattorituloksina (Ekoindikaattori 95 ja DAIA) että valikoitujen muuttujien osalta sellaisenaan (esim. CO₂ kuvassa 1). Kuvissa esitettävien muuttujien arvot on muunnettu indekseiksi siten, että vuoden 1980 tai 1990 arvona on sata. Näin voidaan verrata muuttujien suhteellisia muutoksia. Tiedot energian kokonaiskulutuksesta perustuvat Tilastokeskuksen aineistoihin (Tilastokeskus 1996, 1999a ja 1999b).

BKT:n ja TMR:n kehitys on ollut samankaltaista, lamavuosia lukuun ottamatta niiden trendi on ollut nouseva (kuva 1a). Sekä Ekoindikaattori 95- että DAIA -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten mukaan päästöt ovat kuitenkin vähentyneet vuosina 1980 - 1997 BKT:n kasvusta huolimatta. Tämä on seurausta ympäristölupamääräysten tiukentumisesta, puhdistuslaitosten ja -laitteiden käyttöönotosta sekä prosessimuutoksista. Erityisesti metallipäästöt ovat tarkastelujaksolla pienentyneet huomattavasti. Tämä näkyy Ekoindikaattori 95:n ja DAIA:n kokonaisvaikutusindikaattoritulosten voimakkaana pienenemisenä tarkastelujaksolla 1990-1997 (kuva 1b). Kuvan 1b perusteella voidaan olettaa, että tarkastelujakson 1980-1997 kokonaisvaikutusindikaattoritulokset ovat kummankin mallin osalta pienentyneet enemmän kuin kuva 1a näyttää. Vääristymä kuvassa 1a johtuu rajoitetusta muuttujajoukosta.

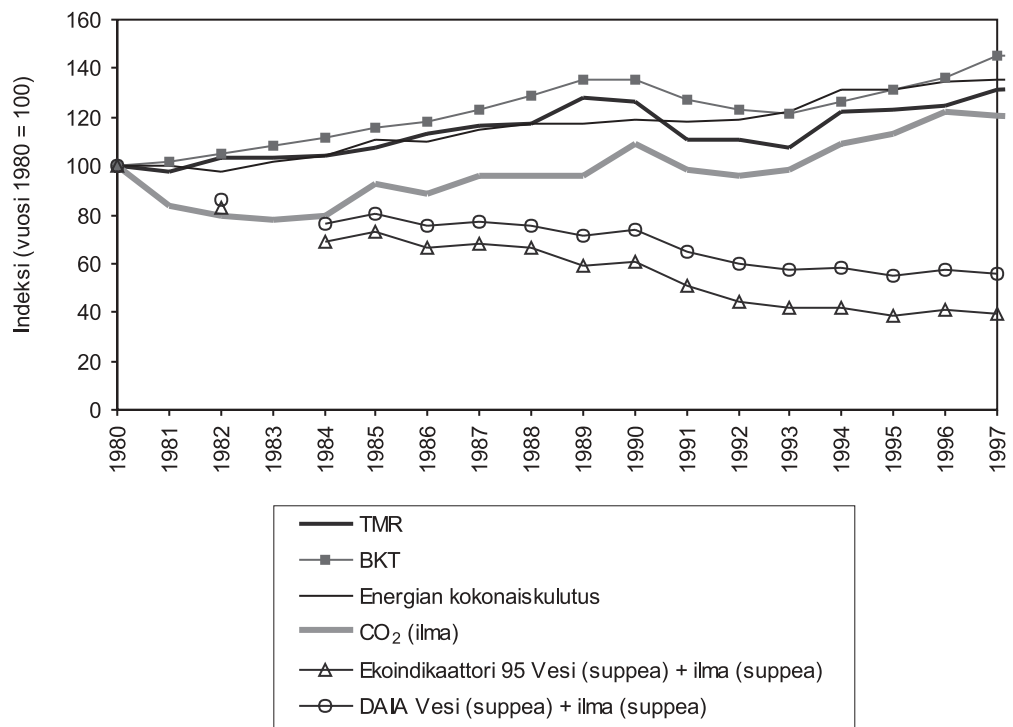
Energian kokonaiskulutus on tarkastelujaksolla 1980-1997 pääasiassa kasvanut. Hiilidioksidipäästöt liittyvät olennaisesti energian kulutukseen ja niitä kuvaava käyrä onkin noussut vuodesta 1983 lähtien saman tapaisesti kuin TMR- ja BKT-käyrät (kuva 1a ja 3).

Taulukko 2. Koko Suomen päästöjen Ekoindikaattori 95 ja DAIA -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten laskennassa mukana olleet muuttujat (suppea ja laaja valikoima).

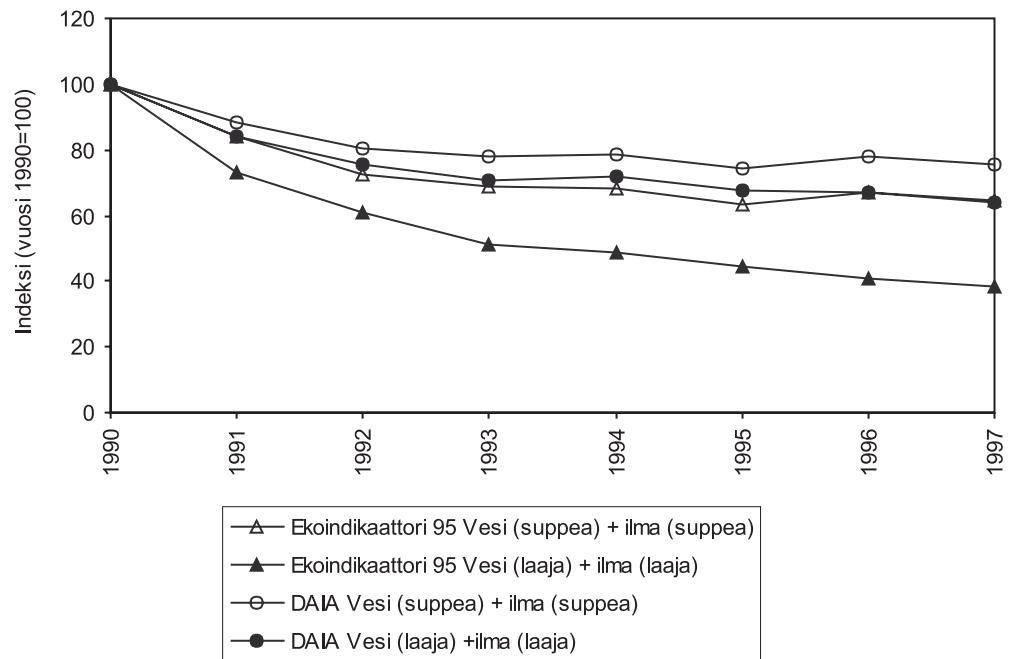
	Ekoindikaattori 95		DAIA	
	Vuodet 1980–1997 (suppea)	Vuodet 1990–1997 (laaja)	Vuodet 1980–1997 (suppea)	Vuodet 1990–1997 (laaja)
Päästöt veteen				
biol. hapenkulutus, BOD ₇			X	X
fosfori, P	X	X	X	X
typpi, N	X	X	X	X
kromi, Cr	X	X		X
nikkeli, Ni	X	X		X
kupari, Cu	X	X		X
elohopea, Hg	X	X		X
kadmium, Cd	X	X		X
lyijy, Pb	X	X		X
arseeni, As	X	X		X
sinkki, Zn				X
Päästöt ilmaan				
hiilidioksidi, CO ₂	X	X	X	X
metaani, CH ₄		X		X
hiilimonoksidi, CO				X
haituvat org. yhd., NMVOC		X		X
rikkidioksidi, SO ₂	X	X	X	X
typen oksidit, NO _x	X	X	X	X
ammoniakki, NH ₃		X	X	X
arseeni, As		X		X
kadmium, Cd		X		X
elohopea, Hg		X		X
kupari, Cu				X
kromi, Cr				X
nikkeli, Ni		X		X
lyijy, Pb		X		X
sinkki, Zn				X
vanadiini, V				X

Koko Suomen osalta vesiin kohdistuvista päästöistä valittiin lähemmin tarkasteltavaksi ravinteiden eli kokonaistypen (N) ja kokonaisfosforin (P) päästöt (kuva 2). Typpipäästöt ovat hieman kasvaneet vuoteen 1990 asti ja sen jälkeen pienentyneet. Fosforipäästöt ovat pienentyneet vuodesta 1988 lähtien ja pienentyminen on ollut voimakkaampaa kuin typpipäästöillä (kuva 2), koska suurten pistekuormittajien, kuntien ja teollisuuslaitosten, fosforipäästöjä on voitu tehokkaasti rajoittaa. Pistekuormittajien typpipäästöjen rajoittaminen on teknisesti vaikeampaa. Ravinteet ovat yksi vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavista tekijöistä. Rehevöityminen on helposti näkyvä ongelma ja ravinnepäästöjen rajoittamiseen on siksi jo varhain ryhdytty rehevöitymisen vähentämiseksi.

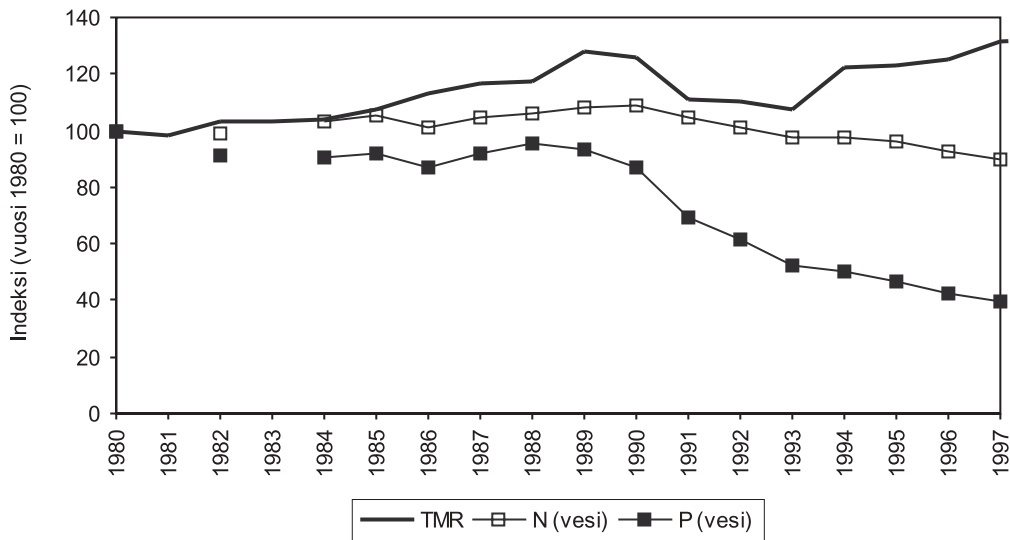
a)



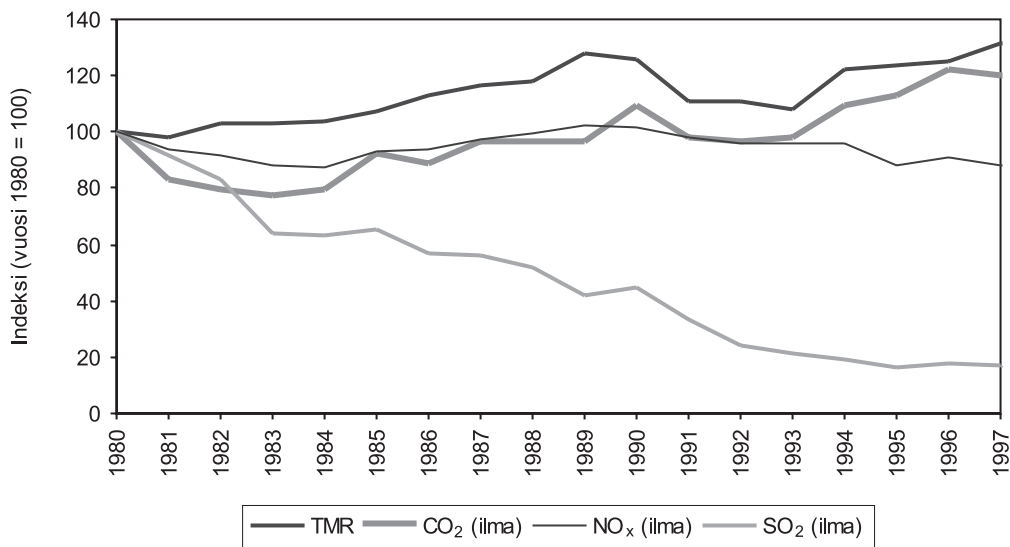
b)



Kuva 1. TMR:n, BKT:n, energian kokonaiskulutuksen, CO₂-päästöjen sekä Ekoindeksi 95- ja DAIA -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten kehitys koko Suomen osalta vuosina 1980 – 1997 (kuva 1a) ja indikaattoritulokset vuosina 1990 – 1997 (kuva 1b). Arvot indekseinä, vuosi 1980 = 100 (kuva 1a) ja vuosi 1990 = 100 (kuva 1b). Hajakuormitus ei ole mukana päästöissä. Kokonaisvaikutusindikaattorituloksiin sisältyvät muuttujat on esitetty taulukossa 2.



Kuva 2. TMR:n sekä typen (N, vesi) ja fosforin (P, vesi) päästöjen kehitys koko Suomen osalta vuosina 1980 - 1997. Arvot indekseinä, vuosi 1980 = 100. Hajakuormitus ei ole mukana päästöissä.



Kuva 3. TMR:n sekä hiilidioksidin (CO₂), typen oksidien (NO_x) ja rikkidioksidin (SO₂) päästöjen kehitys koko Suomen osalta vuosina 1980 - 1997. Arvot indekseinä, vuosi 1980 = 100. Hajakuormitus ei ole mukana päästöissä.

Ilmaan kohdistuvista päästöistä valittiin lähemmin tarkasteltavaksi hiilidioksidin (CO₂), typenoksidien (NO_x) ja rikkidioksidin (SO₂) päästöt (kuva 3). Näistä hiilidioksidi on kasvihuoneilmiöön vaikuttava kaasu. Typenoksidit ja rikkidioksidi puolestaan ovat happamoitumista aiheuttavia päästöjä. Hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet tarkastelujaksolla samantyyppisesti kuin TMR ja energiankulutus, koska hiilidioksidipäästöjen poistamiseksi savukaasuista ei toistaiseksi ole onnistuttu löytämään teknistaloudellisesti kannattavaa ratkaisua. Sen sijaan typenoksidien päästöt ovat tarkastelujaksolla ajoittain hieman pienentyneet ja ajoittain kasvaneet. Vuoden 1997 NO_x-päästöt ovat noin 90 % vuoden 1980 päästöistä. Typenoksidien päästöjen väheneminen on toisaalta energiantuotannon kehittyneempien poltto-tekniikoiden ja toisaalta liikenteen päästöjen parantuneen hallinnan (katalyysaattorit) ansiota. SO₂-päästöt vähentyvät koko tarkastelujakson 1980 - 1997 ajan. Niiden puhdistamiseen on erityisesti kivihiiltä käyttävässä energiantuotannossa kiinnitetty huomiota happamoitumisen hillitsemiseksi.

Kuvissa 4a ja 4b on esitetty joitakin suhdelukuja, joilla koko Suomen ekotehokkuutta voidaan kuvata (kts. luku 1.3). Koko Suomen BKT/TMR -suhde on pysynyt melkein samana vuosina 1980 - 1997 eli sen mukaan ekotehostumista ei ole tapahtunut. Kun tarkastellaan BKT:n suhdetta Ekoindikaattori 95 - ja DAIA - kokonaisvaikutusindikaattorituloksiin, huomataan suhdeluvun selvästi kasvavan, mikä kertoo ekotehostumisesta. Tuotanto on kasvanut samaan aikaan kun päästöt ovat vähentyneet tai pysyneet samana.

4.2 Ekotehokkuus metallien jalostuksessa

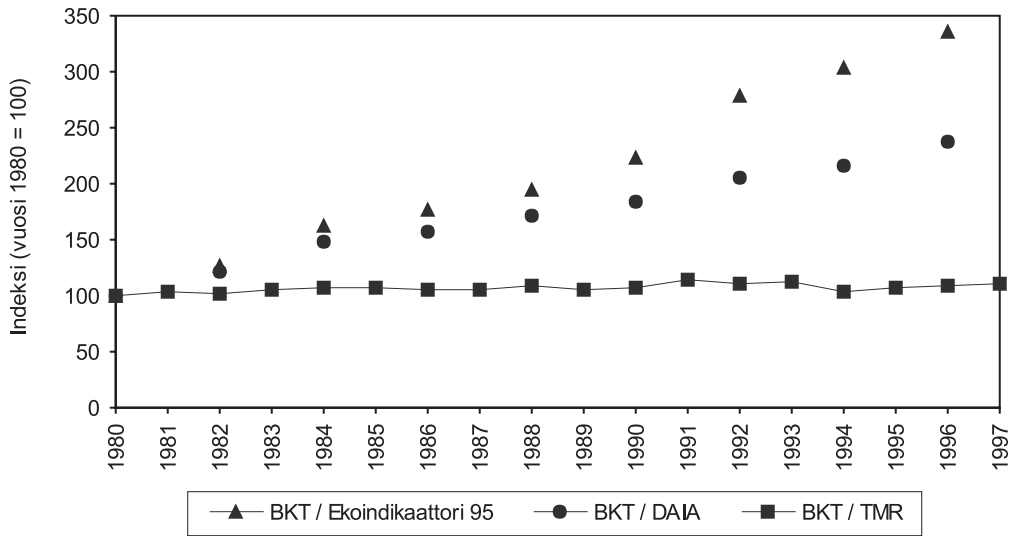
Metallien jalostuksen ekotehokkuuden kehittymistä tarkastellaan tuotannon volyyymi-indeksin (NACE 27 / TOL88 23), päästöjen sekä energian kokonaiskulutuksen avulla. Tuotannon volyyymi-indeksi kuvaa metallien jalostuksen tuotannon arvon kehittymistä ja energiankulutus, päästöt ja päästöjen kokonaisvaikutusindikaattoritulokset kuvaavat tuotannon aiheuttamien ympäristövaikutusten kehittymistä. Luonnonvarojen kokonaiskäyttöä (TMR) ei ole metallien jalostukselle laskettu.

Tässä työssä tarkastellut metallien jalostuksen päästöt koostuvat seuraavien yritysten päästöistä: Fundia Wire Oy, Fundia Dalwire Oy, Imatra Steel Oy, Outokumpu Chrome/Polarit Oy (Tornio), Outokumpu Harjavalta Metals Oy, Outokumpu Poricopper Oy, Outokumpu Zink Oy ja Rautaruukki Steel (Raahe, Hämeenlinna). Perusmetallien valmistus (vuoden 2000 alusta nimeltään metallien jalostus) -toimialaan (NACE 27 -luokkaan) kuuluu näiden lisäksi esimerkiksi valimoita, mutta niiden päästöt ovat vähäisiä verrattuna edellä mainittujen yritysten yhteenlaskettuihin päästöihin. Edellä mainittujen yritysten päästöjen voidaan näin ollen katsoa edustavan metallien jalostusteollisuuden kokonaispäästöjä.

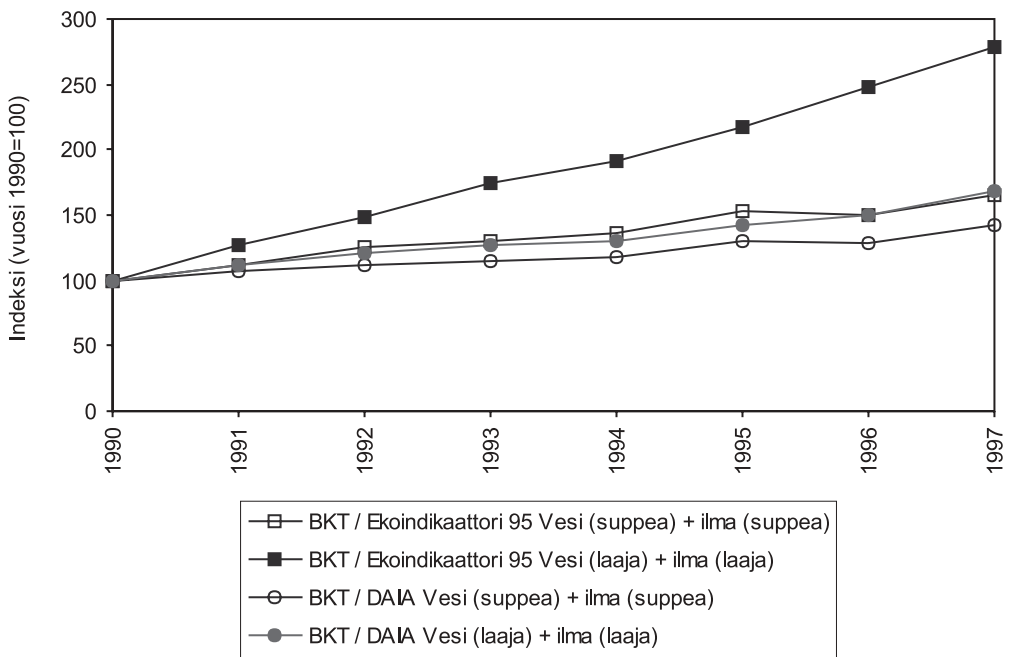
Metallien jalostusteollisuuden päästötiedot on koottu ympäristöhallinnon VAHTI -tietojärjestelmästä. Tietoja on vuosilta 1990 - 1998. Joitakin muuttujia on raportoitu vain yhdeltä tai muutamalta tehtaalta muutamana vuonna. Lisäksi kaikille muuttujille ei ole olemassa kertoimia Ekoindikaattori 95 tai DAIA -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten laskemista varten. Metallien jalostusteollisuuden päästöjen kokonaisvaikutusindikaattoritulosten laskemista varten valittiin VAHTI-tietojärjestelmästä taulukossa 2 luetellut päästömuuttujat, joita on raportoitu kattavasti ja joille on olemassa kertoimet. Tiedot energian kokonaiskulutuksesta perustuvat Tilastokeskuksen aineistoihin (Tilastokeskus 1996, 1999a ja 1999b).

Seuraavissa kuvissa päästötietoja on esitetty kokonaisvaikutusindikaattorituloksina (Ekoindikaattori 95 ja DAIA). Joitakin metallien jalostusteollisuudelle tyyppillisiä päästöjä on esitetty myös sellaisenaan. Kuvissa esitettävien muuttujien arvot on muunnettu indekseiksi siten, että vuoden 1990 arvona on sata. Näin voidaan verrata muuttujien suhteellisia muutoksia.

a)



b)



Kuva 4. Suhdeluvut (BKT / Ekoindikaattori 95), (BKT / DAIA) ja (BKT / TMR) vuosina 1980 - 1997 (kuva 4a) ja suhdeluvut vuosina 1990 - 1997 eri malleilla laskettuna (kuva 4b) Vuosi 1980 = 100 (kuva 4a) ja vuosi 1990 = 100 (kuva 4b). Kokonaisvaikutusindikaattoritiloksiin liittyvät muuttujat on esitetty taulukossa 2.

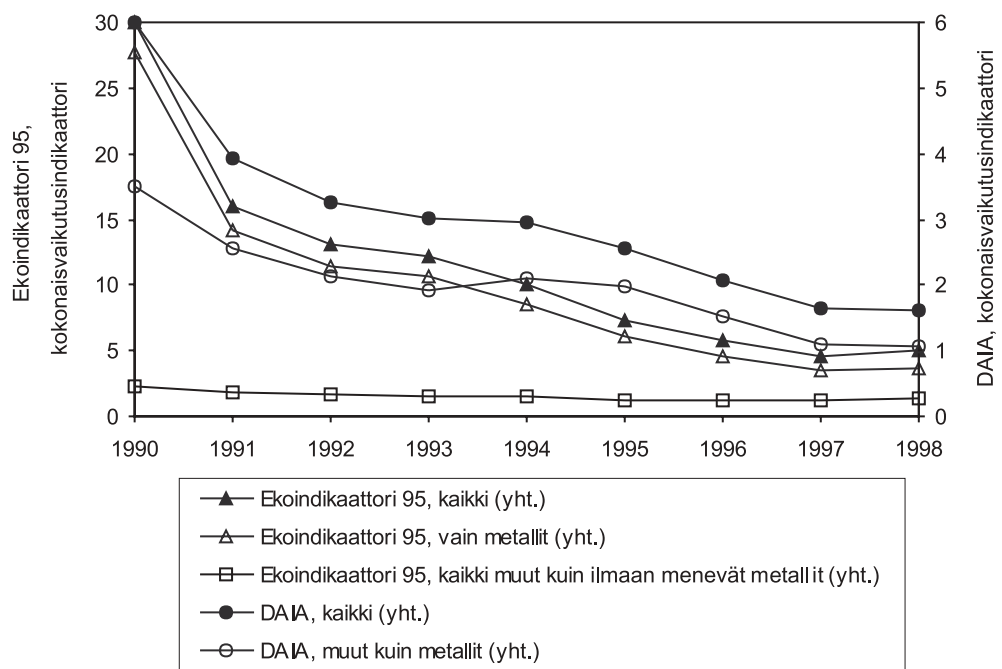
Metallien jalostuksen päästöt ovat sekä Ekoindikaattori 95- että DAIA -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten mukaan vähentyneet vuosina 1990 - 1998 (kuva 5). Kuvasta 5 nähdään metallipäästöjen hallitsevuus kummankin mallin kokonaisvaikutusindikaattorituloksissa. Kaikkia päästöjä kuvaavan käyrän ja pelkästään metalleja kuvaavan käyrän välinen ero on hyvin pieni ja niiden profiilit ovat samanlaisia. "Kaikki muut kuin ilmaan menevät metallit" -käyrän ja "kaikki yhteensä" -käyrän vertailussa huomataan, että erityisesti ilmaan menevillä metallipäästöillä on suuri osuus kokonaisvaikutusindikaattorituloksissa. Metallien jalostusteollisuudessa syntyy tyypillisesti metallipäästöjä sekä vesiin että ilmaan ja niiden tarkastelu on siksi olennaista. Niiden sisällyttäminen kokonaisvaikutusindikaattoritulosten laskentaan on kuitenkin ongelmallista, sillä Ekoindikaattori 95:ssä käytetyt metallien kertoimet eivät ole sellaisenaan sovellettavissa Suomen olosuhteisiin ja niiden laskentamenetelmät ovat erittäin karkeita. DAIA-mallin metallien haittakertoimiin sisältyy niin ikään erittäin suurta epävarmuutta; ne perustuvat käytännössä asiantuntija-arvioihin (vrt. Seppälä ym. 2000).

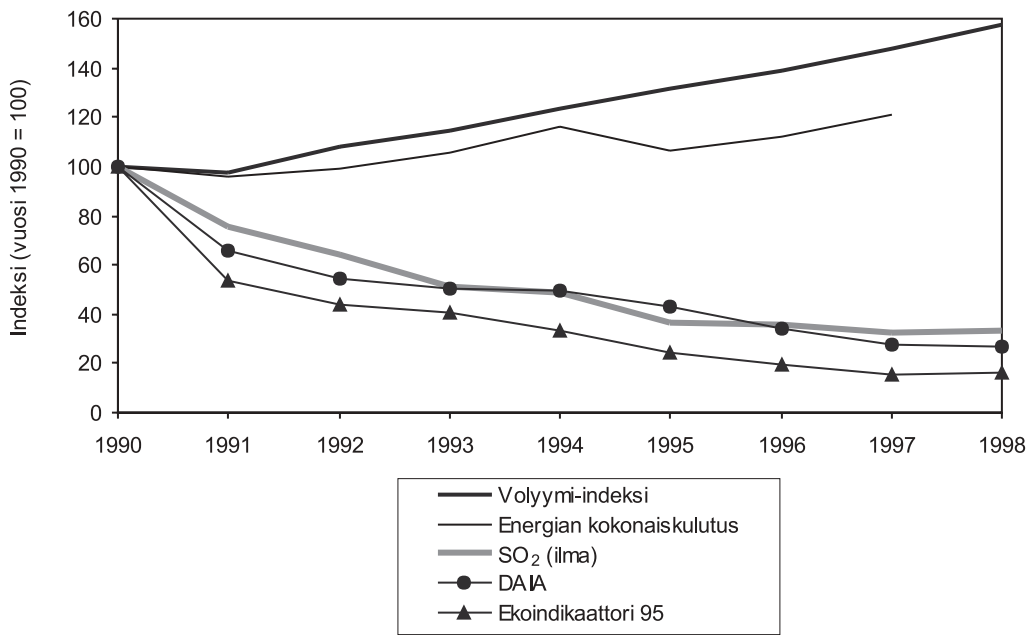
Metallien valmistuksen volyymi-indeksiin mukaan tuotanto on kasvanut vuosina 1990 - 1998 (kuva 6). Päästöt ovat kuitenkin pienentyneet sekä Ekoindikaattori 95 - että DAIA -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten mukaan. Energian kokonaiskulutus on metallien valmistuksessa kasvanut muutamia notkahduksia lukuun ottamatta tuotannon kasvun myötä. 1990-luvulla energiankulutuksen kasvu on kuitenkin ollut lievempää kuin tuotannon volyymien kasvu. Tämä osoittaa energiankäytön tehokkuuden lisääntymistä ja siten myös ekotehokkuuden kasvamista.

Metallien jalostuksen vesiin kohdistuvista päästöistä valittiin lähempään tarkasteluun mineraaliöljy-, sinkki- ja lyijypäästöt (kuva 7). Ilmaan kohdistuvista päästöistä valittiin tarkasteltaviksi rikkidioksidi-, sinkki- ja lyijypäästöt (kuva 8). Kaikki päästöt ovat pienentyneet tuotannon kasvusta huolimatta tarkastelujaksolla vuosina 1990 - 1998.

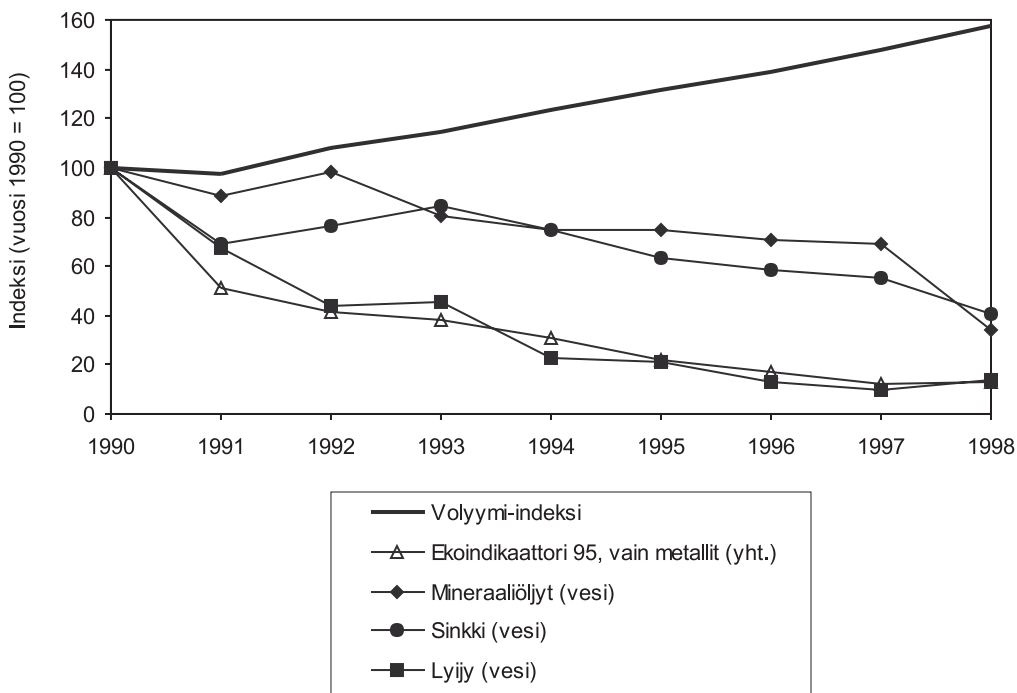
Kuvassa 9 on esitetty joitakin suhdelukuja, joilla metallin valmistuksen ekotehokkuuden kehittymistä voidaan tarkastella. Metallien valmistuksen volyymi-indeksiin suhde Ekoindikaattori 95 - ja DAIA -kokonaisvaikutusindikaattorituloksiin kasvua tarkastelujaksolla ja osoittaa siten ekotehostumista tapahtuneen tällä toimialalla.

Kuva 5. Ekoindikaattori 95- ja DAIA -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten kehitys metallien jalostuksen osalta Suomessa vuosina 1990 - 1998. Ekoindikaattori 95:n osalta on laskettu kokonaisvaikutusindikaattoritulos kolmella tavalla: kaikki yhteensä, vain metallit yhteensä sekä muut kuin ilmaan menevät metallipäästöt yhteensä.

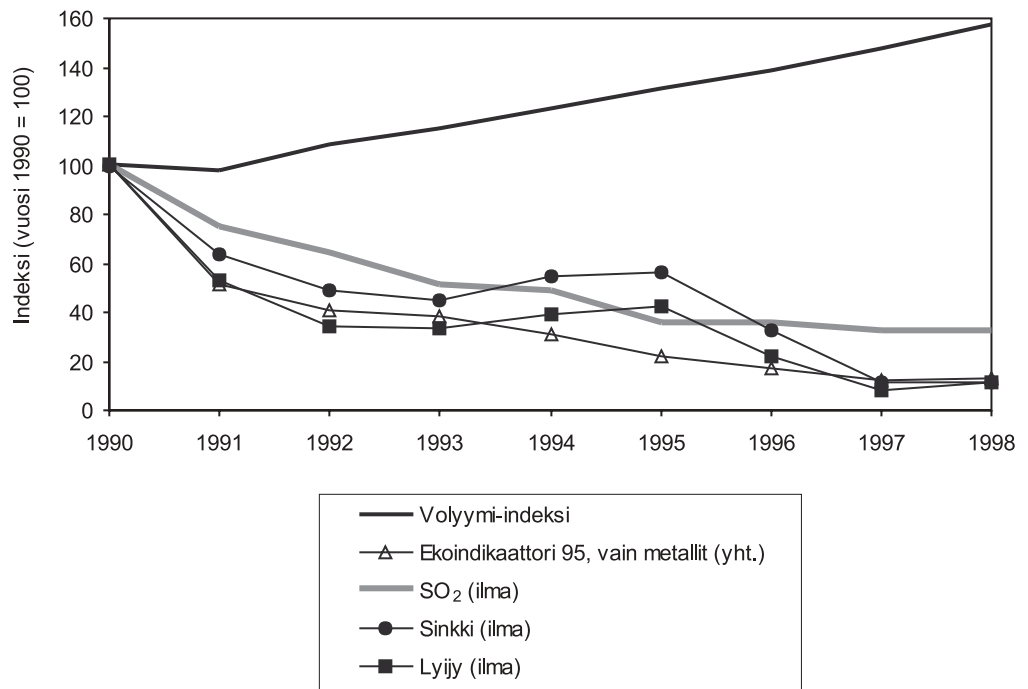




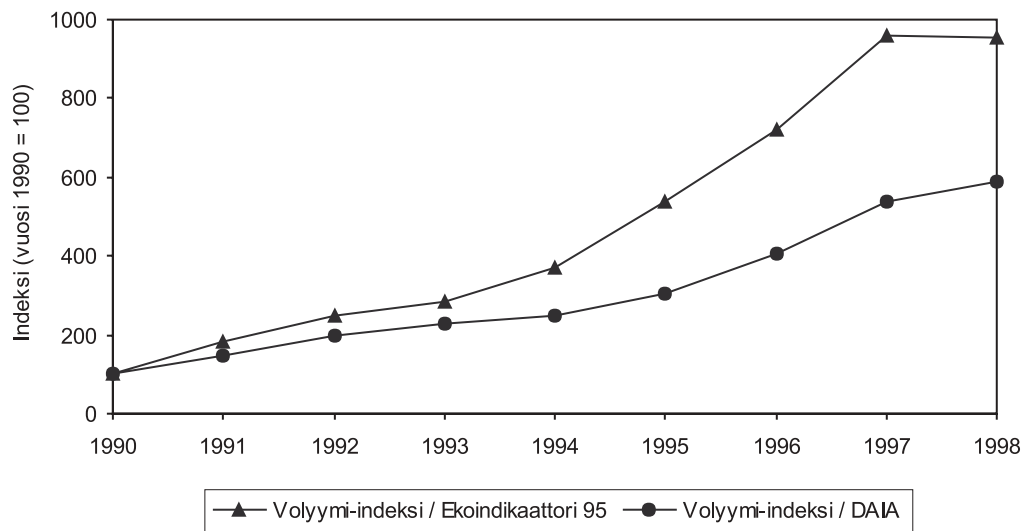
Kuva 6. Metallien valmistuksen volyymi-indeksin, energiankulutuksen, SO₂-päästöjen sekä DAIA- ja Ekoindeksi 95 -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten kehitys metallien jalostuksen osalta vuosina 1990 - 1998. Arvot indekseinä, vuosi 1990 = 100.



Kuva 7. Metallien valmistuksen volyymi-indeksin, Ekoindeksi 95 -kokonaisvaikutusindikaattorituloksen (vain metallit), mineraaliöljyn sekä sinkin (vesi) ja lyijyn (vesi) päästöjen kehitys metallien jalostuksen osalta vuosina 1990 - 1998. Arvot indekseinä, vuosi 1990 = 100.



Kuva 8. Metallien valmistuksen volyyymi-indeksin, Ekoindikaattori 95- kokonaisvaikutusindikaattorituloksen (vain metallit), sekä SO₂-, sinkin (ilma) ja lyijyn (ilma) päästöjen kehitys metallien jalostuksen osalta vuosina 1990 - 1998. Arvot indekseinä, vuosi 1990 = 100.



Kuva 9. Suhdelukujen (Metallien valmistuksen volyyymi-indeksi / Ekoindikaattori 95) ja (Metallien valmistuksen volyyymi-indeksi / DAIA) kehitys metallien jalostuksen osalta vuosina 1990 - 1998. Arvot indekseinä, vuosi 1990 = 100.

4.3 Ekotehokkuus metsäteollisuudessa

Metallien jalostusteollisuuden ohella tarkasteltavaksi toimialaksi valittiin metsäteollisuus. Elinkaariajattelun mukaisesti siihen olisi luontevaa sisällyttää myös metsätalous, joka pääosin tuottaa Suomessa metsäteollisuuden käyttämän puuraaka-aineen. Metsäteollisuudesta yhdessä metsätalouden kanssa voidaan käyttää nimitystä metsäsektori. Metsätalouden energiankäyttö ja päästöt ovat melko vähäisiä metsäteollisuuteen nähden (energiankulutus noin 1,5 %) eikä niistä ole saatavilla ajallisesti kattavia ja eriteltyjä tietoja. Siten tämän selvityksen kuvallisissa tarkasteluissa on metsätalous jätetty pois.

Metsäteollisuuteen luetaan sekä mekaaninen että kemiallinen metsäteollisuus, toisin sanoen sekä sahateollisuus että massa- ja paperiteollisuus. Metsäteollisuuden ekotehokkuuden kehittymistä tarkastellaan tuotannon volyyymi-indeksin, päästöjen sekä energian kokonaiskulutuksen avulla.

Teollisuustoimialakohtaisessa tarkastelussa ekotehokkuuden tuotannon arvontekijänä käytettiin Tilastokeskuksen määrittämää tuotannon volyyymi-indeksiä. Volyymi-indeksin määrittämisessä 1980-alusta alkaen joudutaan yhdistelemään eri toimialaluokkien indeksejä (kemiallisen ja mekaanisen metsäteollisuuden) sekä eri luokitusjärjestelmien (NACE, TOL-88, TOL-79) arvoja. Metsäteollisuuden osalta toimialat ovat kuitenkin pysyneet melko samoina eri luokitusjärjestelmissä. Tuotannon volyyymi-indeksi kertoo tuotannon arvomääräisen kehityksen, joten se sopii pelkkiä tonneja tai kuutiometrejä paremmin ekotehokkuuden tuotos-tekijäksi. Luonnonvarojen kokonaiskäyttöä (TMR) ei ole metsäteollisuudelle laskettu.

Ekotehokkuuden panos-tekijänä voidaan tarkastella luonnonvarojen käyttöön liittyvää energiankulutusta ja erilaisia päästöjä. Metsäteollisuuden käyttämästä energiasta on merkittävä osa valmistettu uusiutuvista, puuperäisistä polttoainesta, jotka voitaisiin myös jättää panos-tekijästä pois. Toisaalta elinkaariajattelun mukaisesti kaikki tuotteiden valmistukseen liittyvä energiankäyttö tulee ottaa mukaan tarkasteluun riippumatta siitä millä polttoaineella se on tuotettu. Tässä työssä kaikki metsäteollisuuden käyttämä energia on otettu mukaan.

Tiedot metsäteollisuuden vesiin kohdistuvista päästöistä koottiin ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmästä sekä Metsäteollisuus ry:n ympäristönsuojelun vuosikirjoista ja kotisivuilta (Metsäteollisuus ry 1991 – 1998, 2002). Tiedot ilmaan kohdistuvista päästöistä saatiin SYKEN kotisivuilla olevista tiedostoista sekä em. Metsäteollisuus ry:n lähteistä. Tarkastellut päästöt on muunnettu kokonaisvaikutusindikaattorituloksiksi perustuen Ekoindikaattori 95 ja DAIA -kertoimiin (luku 3.3). Kokonaisvaikutusindikaattoritulosten laskennassa käytettiin taulukossa 3 esitettyä muuttujavalikoimaa. Tiedot energian kokonaiskulutuksesta perustuvat Tilastokeskuksen aineistoihin (Tilastokeskus 1996, 1999a ja 1999b).

Metsäteollisuuden ekotehokkuuden kehittymistä valaisevia ajallisia kehitystrendejä on esitetty kuvissa 10 - 12. Päästöjä on tarkasteltu kuvissa sekä kokonaisvaikutusindikaattorituloksina että sellaisenaan. Kuvissa esitettävien muuttujien arvot on muunnettu indekseiksi, jotta niiden suhteellisia muutoksia voidaan verrata.

Kehitystrendit osoittavat päästöjen osalta kautta linjan ekotehokkuuden lisääntymistä. Yksittäisistä päästömuuttujista vain typen oksidien ja hiilidioksidin päästöt eivät ole merkittävästi vähentyneet suhteessa tuotannon arvoon. Typen oksideissakin on tapahtunut jonkin verran vähenemistä parempien polttotekniikoiden myötä. Kun päästöt ilmaistaan vaikutuskertoimilla painottaen Ekoindikaattori 95 ja DAIA -kokonaisvaikutusindikaattorituloksina, voidaan havaita päästöjen pienentyneen tuotannon kasvusta huolimatta (kuva 10).

Taulukko 3. Metsäteollisuuden päästöjen Ekoindikaattori 95 ja DAIA -kokonaisvaikutusindikaattoritulosten laskennassa mukana olleet muuttujat.

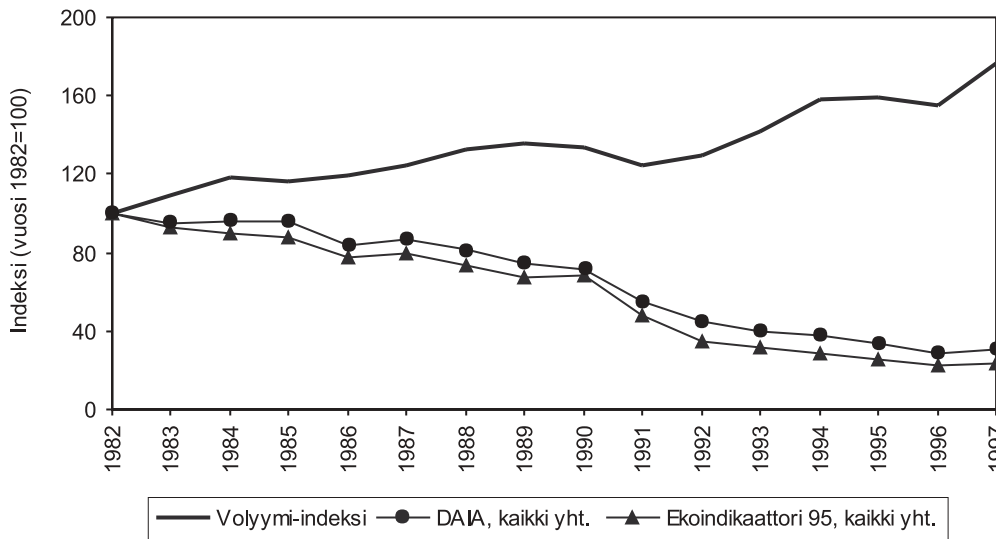
	Ekoindikaattori 95	DAIA
Päästöt veteen		
kokonaisfosfori, P _{tot}	x	x
kokonaistypppi, N _{tot}	x	x
biologinen hapenkulutus, BOD		x
Päästöt ilmaan		
hiilidioksidi, CO ₂	x	x
rikkidioksidi, SO ₂	x	x
typpidioksidi, NO _x	x	x

Hiilidioksidipäästöt liittyvät olennaisesti energiankulutukseen. Puuperäisistä polttoaineista poltossa muodostuneet hiilidioksidipäästöt jätetään kuitenkin yleisen kansainvälisen periaatteen mukaisesti pois kokonaispäästömääristä. Kuvasta 11 havaitaan näin ollen, että hiilidioksidipäästöt ovat vähentyneet energiankulutuksen kasvusta huolimatta, minkä selittää osaltaan puun ja puuperäisten polttoainoiden (tärkeimpänä mustalipeä) suhteellisen osuuden lisääntyminen.

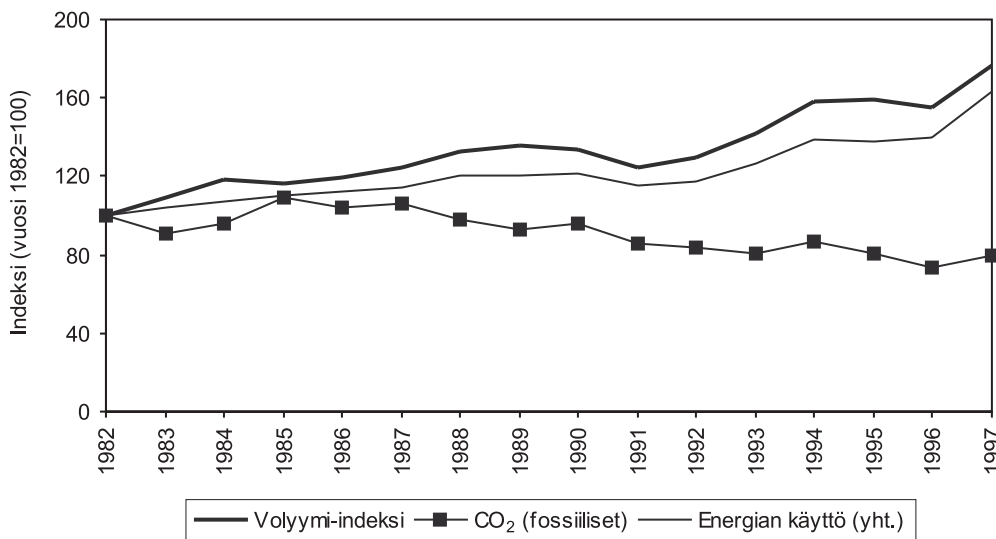
Joidenkin erityisesti metsäteollisuudessa tärkeiksi katsottujen jätevesipäästöjen kehittymistä on esitetty kuvassa 12. Organiset klooriyhdisteet ovat vähentyneet erityisesti tuotannossa tehtyjen muutosten ja parannusten ansiosta. Jätevesien kemiallisen hapen kulutuksen väheneminen on puolestaan pääosin parantuneen puhdistusteknologian ansiota. Kun näitä päästöjä verrataan tuotannon arvon kehitykseen, voidaan todeta merkittävää ekotehostumista (kuva 12).

Metsäteollisuuden ohella selvitettiin metsätalouden energiankulutusta ja päästöjä. Metsätalouden energiankulutus on ollut vain noin 1,5 % metsäteollisuuden vastaavasta. Päästöt metsäkoneista ovat myös melko vähäiset, merkittävimpana typpipäästöt, jotka ovat noin 14 % teollisuuden typpipäästöistä (vuonna 1993). Rikki- ja hiilidioksidipäästöjen osuudet teollisuuden vastaavista olivat vuonna 1993 noin 2 % ja 4 %. Metsätalouden toimenpiteiden vesistöjä rehevöittävä ravinnepäästöt arvioitiin vuonna 1991 olevan teollisuuden vastaavista typpipäästöistä noin 31 % ja fosforipäästöistä 41 %. Niillä on siten melko merkittävä vaikutus.

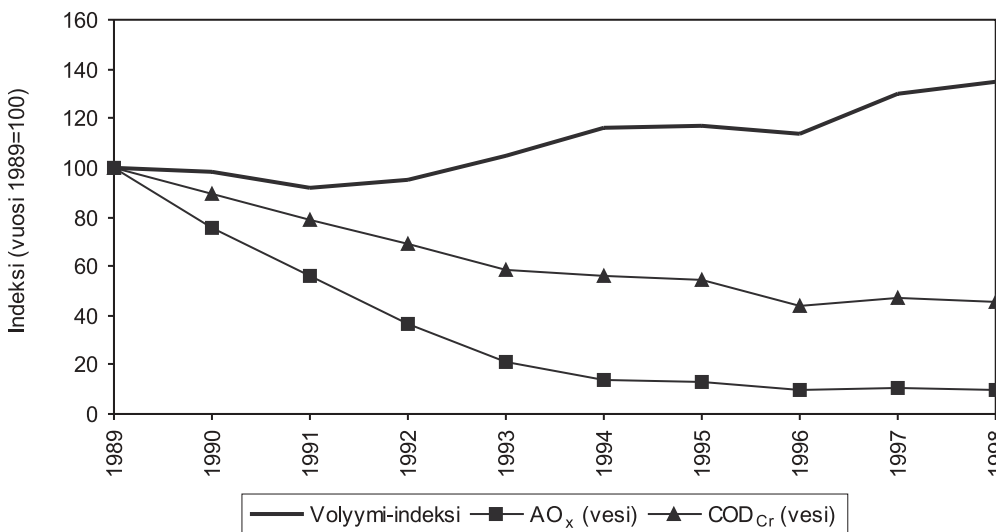
Metsätalouden päästöjen ajallisesta kehityksestä ei ole kattavia tilastoja. Tilastokeskuksen Energia ja päästöt -julkaisun mukaan rikkidioksidipäästöt ovat vähentyneet noin 80 % vuosien 1980 ja 1993 välisenä aikana, kun taas typpidioksidipäästöt ovat lisääntyneet noin 30 %.



Kuva 10. Metsäteollisuuden tuotannon volyyymi-indeksi ja päästöjen Ekoindikaattori 95- ja DAIA-kokonaisvaikutusindikaattoritulosten kehittyminen vuosina 1982 - 1998. Arvot indekseinä, vuosi 1982 = 100.



Kuva 11. Metsäteollisuuden tuotannon volyyymi-indeksi, energian käytön ja hiilidioksidipäästöjen kehittyminen vuosina 1982 - 1998. Arvot indekseinä, vuosi 1982 = 100.



Kuva 12. Metsäteollisuuden tuotannon volyyymi-indeksi sekä vesiin kohdistuvien COD_{Cr}-(kemiallinen hapenkulutus) ja AOX-(org. klooriyhdisteet) päästöjen kehittyminen vuosina 1989 - 1998. Arvot indekseinä, vuosi 1989 = 100.

4.4 Tulosten tarkastelua

4.4.1 Yleiskuva ekotehostumisesta

Bruttokansantuotteen (BKT) ja luonnonvarojen kokonaiskäytön (TMR) kehitys on 1980- ja 1990-luvuilla Suomessa ollut varsin yhdenmukaista. Luonnonvarojen käytön tehostumista ei ole tämän tarkastelun mukaan tapahtunut, vaan tilanne on pysynyt samana. Tutkimuksen tekoajankohdan jälkeen valmistuneen Thule-Instituutin tekemän aineiston perusteella voidaan aikaisempaa selvemmin havaita, että TMR osoittaa kasvavaa trendiä, koska ulkomaisten piilovirtojen määrä on noussut huomattavasti. Sen sijaan Suomen talouden DMI, suora materiaalien käyttö, ja kotimaiset piilovirrat ovat säilyneet melkoisen vakaalla tasolla (Hoffrén 2001).

Päästöjen väheneminen on 1980- ja 1990-luvuilla Suomessa ollut voimakasta vaikka bruttokansantuote on selvästi kasvanut. Päästöjen osalta ekotehokkuus on siis parantunut.

Päästöissä tapahtuvat muutokset eivät juurikaan heijastu luonnonvarojen kokonaiskäyttöön. Kuitenkin päästöjen pieneneminen esim. savukaasujen puhdistuksen myötä on merkittävä toiminnan ympäristövaikutuksia vähentävä tekijä. Näin ollen, vaikka TMR:n kehitys osoittaisi ekotehokkuuden pysyneen muuttumattomana, voidaan päästöjen vähenemisen katsoa osoittavan ympäristövaikutusten pienenemistä ja siten ekotehokkuuden kasvua.

Metallien jalostusteollisuudessa 1990-luvulla näkyy sama trendi kuin koko Suomessa, tosin ei niin voimakkaana: päästöt ovat vähentyneet suhteessa tuotannon arvoon. Ekotehostumista tässä tutkimuksessa mukana olleiden päästöjen suhteen on siis tapahtunut.

Metsäteollisuudessa päästöt ovat tarkastelujaksolla merkittävästi pienentyneet suhteessa tuotannon arvoon eli tälläkin toimialalla voidaan todeta ekotehostumista tapahtuneen. Metsäteollisuuden päästöt ovat etenkin vesistöissä aiheuttaneet näkyviä ongelmia ja siksi niiden rajoittamiseenkin on panostettu.

Yksittäisistä päästömuuttujista CO₂-päästöjen kehitys poikkeaa selkeästi muista siinä etteivät sen päästöt ole vähentyneet. Hiilidioksidipäästöt ovat kytköksissä energiankulutukseen ja hiilidioksidipäästöjen poistamiseksi savukaasuista ei toisiksi ole onnistuttu löytämään teknistaloudellisesti kannattavaa ratkaisua.

Euroopan ympäristövirasto (European Environment Agency, EEA) raportoi vuosittaisessa indikaattoriraportissaan (EEA 2000) tässä selvityksessä havaitun kaltaista kehitystä koko EU:n teollisuuden osalta. Teollisuustuotannon volyyymi-indeksiin, energiankulutukseen ja valittujen ilmaan kohdistuvien päästöjen (CO₂, NO_x ja SO₂) avulla tarkasteltuna EU:n teollisuuden ekotehokkuus oli hieman parantunut vuosien 1990 ja 1996 välisenä aikana. Energiankulutuksen ja CO₂-päästöjen trendit seuraavat toisiaan. EEA:n esittämän kokonaispäästöjen tarkastelun todetaan kuitenkin antavan hieman virheellisen kuvan kehityksestä, sillä se peittää erot yksittäisten EU:n jäsenvaltioiden välillä. Ranskan ja Italian teollisuuden typenoksidien päästöt esimerkiksi kasvoivat tarkastelujaksolla. Lisäksi metallipäästöt, jotka ovat raportin mukaan kuvaavampia EU:n teollisuudelle (pienelle ja keskisuurelle teollisuudelle) puuttuvat tarkastelusta, koska niistä ei ole tietoa (EEA 2000).

4.4.2 Luonnonvarojen käyttö ja ympäristövaikutukset

Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttöön (TMR) vaikuttavat erittäin voimakkaasti mm. maansiirrot, kaivostoiminta ja mineraalien jalostus. Näihin toimintoihin liittyy paitsi mittavia suorja panoksia, myös suuria piilovirtoja, jotka siten muodostavat erittäin merkittävän osan luonnonvarojen kokonaiskäytöstä. Esimerkik-

si maansiirroilla on kuitenkin vähäinen merkitys päästöjen aiheuttajana ja selittäjänä. Maansiirrot kuvaavat infrastruktuurin kehittymistä ja taloudellisen toimeliaisuuden lisääntymistä. Ympäristömielessä luonnonvarojen kokonaiskäyttö kuvaa materiaalivirtojen käsittelyssä syntyviä ympäristövaikutuksia: maankäyttöön ja päästöihin liittyviä vaikutuksia. Sitä voidaan pitää ennemmin ympäristökuormitusta ennakoivana kuin kuormitusta kuvailevana indikaattorina (Mäenpää ym. 2000).

Tässä työssä käytetty ekotehokkuuden ympäristövaikutuksia kuvaava indikaattori, TMR, sisältää useita heikkouksia. Näennäisestä objektiivisuudesta huolimatta TMR pitää sisällään sisäänrakennettua arvottamista: sama paino eri materiaalia aiheuttaa saman vasteen ympäristössä. Muun muassa Koskinen (2001) on koonnut materiaalivirtojen käyttöön liittyvää kritiikkiä.

TMR ottaa huomioon toimintoihin liittyviä elinkaarenaikaisia ympäristövaikutuksia (vrt. kohta 3.2). Tässä työssä käytetyt päästöihin perustuvat kokonaisvaikutusindikaattoritulokset ottavat huomioon vain kotimaassa tapahtuneiden päästömuutosten vaikutukset. Tämän takia TMR-luvut ja päästöjen kokonaisvaikutusindikaattoritulokset eivät ole suoraan keskenään verrannollisia.

Suora materiaalikäyttö (DMI), joka pitää sisällään myös kotimaan piilovirrat, on TMR:ää paremmin vertailukelpoinen tässä työssä esitettyjen vaikutusluokkaindikaattoritulosten kanssa. Suomen kansantalouden DMI-lukuja ei ole kuitenkaan otettu tässä työssä tarkastelun pohjaksi, koska työn suoritusajankohtana ko. lukuarvoja ei ollut Suomen kansantaloudesta käytössä. DMI:n käytön vahvuutena on se, että lukuarvona se on paremmin vertailukelpoinen BKT:n kanssa (ks. Hoffrén 2001). Haittapuolena on se, että näkökulma painottuu ympäristövaikutusten osalta kotimaahan.

Ekotehokkuuden mittaamisen kannalta luonnonvarojen käyttö ja päästöt yhdessä muodostavat kokonaiskuvan toimintojen aiheuttamista ympäristöpaineista. Luonnonvarojen käyttö indikoi myös maankäytön ympäristövaikutuksia, mille ei toistaiseksi ole olemassa samanlaisia valmiita mittareita kuin päästöille. Näin ollen luonnonvarojen käyttö ja päästöt täydentävät toisiaan ekotehokkuuden arvioinnissa.

4.4.3 Päästöjen ja kokonaisvaikutusindikaattoritulosten kattavuus

Tässä tutkimuksessa tarkastellut päästöt ovat vain osa kaikista erilaisten toimintojen aiheuttamista päästöistä ympäristöön. Tarkasteluihin valitut päästömuuttujat ovat sellaisia, joiden on tiedetty aiheuttavan ongelmia ympäristössä. Lisäksi niitä on tarkkailtu suhteellisen pitkään ja säännöllisesti. Tarkasteltujen päästöjen väheneminen on suurimmalta osalta seurausta puhdistuslaitosten ja laitteiden käyttöön otosta. Puhdistuksesta voi kuitenkin syntyä uusia päästö- tai jätevirtoja. Lisäksi sellaiset päästöt joita ei seurata voivat samanaikaisesti lisääntyä. Esimerkiksi jätteet puuttuvat tästä tarkastelusta kokonaan. Jätevirroista ei kuitenkaan Suomessa ole toistaiseksi saatavissa aikasarjoja tällaisia tarkasteluita varten.

Valikoitujen päästöjen seuraaminen antaa siis osittain vääristyneen kuvan kansantalouden ekotehokkuuden kehittymisestä. Kuitenkin tässä tarkastelussa mukana olleiden päästöjen voidaan arvioida muodostavan sekä haitallisuuden että volyymin perusteella merkittävimmän osan Suomen päästöistä vesiin ja ilmaan, sillä ympäristössä ei näy merkkejä siitä, että tarkkailun ulkopuolella olisi runsaasti tuntemattomia haitallisia päästöjä. Poikkeuksena tästä ovat ravinteet, joiden kohdalla tästä selvityksestä puuttuvan hajakuormituksen osuus on erittäin merkittävä.

Ekoindikaattori 95 - ja DAIA – mallien avulla lasketut päästöjen kokonaisvaikutusindikaattoritulokset eivät kata tarkasteltuihin toimintoihin liittyviä ympäristövaikutuksia ulkomailla. Tämän työn puitteissa ei ole ollut mahdollista arvioida sitä, ovatko Suomen talouselämän aiheuttamien välillisten, ulkomailla tapahtuvien päästöjen vähennykset tapahtuneet samassa suhteessa kuin Suomessa. Kansantalouden ja toimintosektorien ekotehokkuuden arvioinnissa tulisi ottaa huomioon myös ulkomailla tapahtuvat kuormitusmuutokset.

Ekoindikaattori 95 - ja DAIA – mallien avulla lasketut päästöjen kokonaisvaikutusindikaattoritulokset riippuvat suuresti siitä miten eri ympäristövaikutusluokkia painotetaan toisiinsa nähden (kts. esim. Seppälä 1999b). Esimerkiksi metallipäästöjen painotukset Ekoindikaattori 95 –mallissa ovat suuret, minkä takia juuri metallipäästöissä tapahtuneet muutokset näkyvät kokonaisvaikutusindikaattorituloksissa (kts. esim. kuva 4). Painotuserojen lisäksi vaikutusindikaattorilaskelmissa käytetyt ns. karakterisointikertoimet ovat päästöjen osalta erittäin epävarmalla pohjalla kummassakin mallissa. Tämä pätee etenkin toksisiin aineisiin. Kokonaisvaikutusindikaattoritulosten epävarmuutta lisää myös se, etteivät tarkastellut päästöt kata kaikkia haitallisia päästöjä. Tulosten tulkinnan kannalta on merkittävää, että malleista puuttuvat maankäyttöön liittyvät vaikutukset kokonaan. Maankäytön muutosten arviointiin ei ole tällä hetkellä olemassa riittävän luotettavia tai yleisesti hyväksytyjä menetelmiä. Kaikki edellä esitetyt mallien heikkoudet merkitsevät sitä, ettei mallien tuloksia pidä tulkita kuin suuntaa-antavana.

Johdopäätökset

Tutkimuksessa on tarkasteltu koko Suomen sekä kahden yksittäisen teollisuustoimialan (metallien jalostusteollisuus ja metsäteollisuus) ekotehokkuuden kehittymistä 1980- ja 1990-luvuilla. Tarkastelussa on ekotehokkuuden tuotosta tai hyötyä (kts. luku 2.3.1) kuvaavana muuttujana käytetty koko Suomen osalta bruttokansantuotetta ja yksittäisten teollisuustoimialojen osalta teollisuustuotannon volyyymi-indeksiä. Ekotehokkuuden nimittäjänä eli ympäristövaikutuksia kuvaavina indikaattoreina on käytetty ympäristöön kohdistuvia päästöjä veteen ja ilmaan, energian kokonaiskulutusta sekä luonnonvarojen kokonaiskäyttöä (TMR). TMR:ää ei pystytty tutkimusta tehtäessä määrittämään teollisuustoimialakohtaisesti, joten sitä tarkasteltiin vain koko Suomen osalta.

Tarkastelussa koko Suomen osalta havaittiin, että TMR:n perusteella ekotehostumista ei olisi tapahtunut, sillä TMR on kasvanut yhdenmukaisesti BKT:n kanssa. Tarkastelluista päästömuuttujista suurin osa osoittaa laskevaa trendiä. Päästöjen avulla tarkasteltuna ekotehokkuus Suomen taloudessa on siis kasvanut. Päästöjen pieneneminen on merkittävä toiminnan ympäristövaikutuksia vähentävä tekijä, joka ei juurikaan heijastu TMR:ään. Siten, vaikka TMR:n kehityksen mukaan ekotehostumista ei olisikaan tapahtunut, osoittaa päästöjen väheneminen ympäristövaikutusten pienenemistä ja siten ekotehokkuuden kasvua.

TMR:llä pyritään kuvaamaan ympäristöön kohdistuvia kokonaisvaikutuksia. TMR:n laskennassa korostuvat sellaiset piilovirrat, joilla ei ole merkitystä päästöjen aiheuttajana tai selittäjänä, kuten maansiirrot. Siksi TMR indikoi etenkin maankäytön ympäristövaikutuksia, mille ei toistaiseksi ole olemassa valmiita mittareita. TMR:n laskenta tapahtuu kuitenkin hyvin yksinkertaisella tavalla, minkä takia sitä voidaankin pitää vain suuntaa-antavana indikaattorina ympäristövaikutuksille.

Ekotehokkuuden arvioinnissa voidaan luonnonvarojen käyttöä kuvaavien tunnuslukujen sijasta käyttää elinkaariarvioinneissa kehitettyjä menetelmiä, joissa erilaisia päästötekijöitä on mahdollista yhdistää kokonaisvaikutusta kuvaaviksi indikaattorituloksiksi. Menetelmiin sisältyy kuitenkin paljon epävarmuuksia. Lisäksi ne eivät pysty kuvaamaan kattavasti kaikkia merkittäviä ympäristövaikutuksia, minkä takia niiden avulla saatu informaatio ei täysin korvaa esimerkiksi TMR:n kautta saatavaa informaatiota.

Tässä työssä on kokonaisvaikutusindikaattoritulosten laskennassa käytetty vain kotimaassa tapahtuvia päästöjä. Jatkon kannalta olisi tärkeää, että laskennassa otettaisiin mukaan myös maamme rajojen ulkopuoliset päästöt elinkaariajattelun mukaisesti. Lisäksi olisi syytä kehittää vaikutusindikaattoritulosten laskentaa siten, että maankäytön vaikutukset otetaan mukaan. Tällöin vaikutusindikaattoritulokset olisivat paremmin vertailtavissa TMR:n tulosten kanssa. Kokonaisvaikutusindikaattoritulosten lisäksi olisi jatkossa tarpeen esittää ympäristövaikutukset vaikutusluokittain, jotta ekotehokkuustulokset olisivat arvioitavissa ilman vaikutusluokkien yhdistämisessä tarvittavaa subjektiivisuutta.

Ekotehokkuuden mittaamisen kannalta luonnonvarojen käyttöä kuvaavien materiaaalivirtatarkastelujen tulokset ja päästöjen vaikutuksia kuvaavat vaikutusindikaattoritulokset yhdessä muodostavat paremman kokonaiskuvan toimintojen aiheuttamista ympäristöpaineista kuin vain toisen menetelmän käyttö. Täten TMR ja päästövaikutusindikaattorit täydentävät toisiaan ekotehokkuuden arvioinnissa.

Kirjallisuus

- Adriaanse, A., Bringezu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D. & Schütz, H. 1997. Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies. World Resources Institute. USA. 31 s. (33 liites.).
- Bringezu, S., Behrensmeier, R. & Schütz, H. 1998. Material flow accounts indicating environmental pressure from economic sectors. Julk: Kimio, U. & Bartelmus, P. (toim.): Environmental accounting theory and practice. London. p. 213-228.
- Costanza, R. 2000. The dynamics of the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 32, 341-345.
- EEA 2000. Environmental Signals 2000. Copenhagen, European Environment Agency. Environmental assessment report No 6. 108 p.
- Goedkoop, M. 1995. The Eco-indicator 95. Final Report. MultiCopy, Leiden. National Reuse of Waste Research Programme (NAOH) report 9523, 85 p.
- Hoffrén, J. 2001. Measuring the Eco-efficiency of Welfare Generation In a National Economy. The Case of Finland. Research Reports 233. Helsinki. 199 p.
- Hoffrén, J. 1998. Materiaalivirtatilinpito luonnonvarojen kokonaiskulutuksen seurantavälineenä. Ympäristöministeriö. Helsinki. Suomen ympäristö 257. 52 s.
- Isaksson, K.-E. 1993. Talonrakentamistoiminnan jätteet. Helsinki, Tilastokeskus. Ympäristö 1993:7. 55 s. Juvonen, H. 1988. Yhdyskuntajätteen muodostuminen Turussa. Turku, Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimisto. Ympäristönsuojelutoimiston julkaisuja 4/1998. 99 s.
- Koskinen, H. 2001. MIPS ja ekologinen selkäreppu tuotteiden potentiaalisten ympäristövaikutusten vertailun menetelminä – ongelmakohtien tarkastelu. Helsinki, Helsingin yliopisto. Ympäristönsuojelutieteen pro gradu –työ. 95 s.
- KTM 1998. Ekotehokkuus ja factor-ajattelu. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 1/1998. 43 s.
- Metsäteollisuus ry. 1991 – 1998. Metsäteollisuuden ympäristönsuojelun vuosikirjat. Helsinki.
- Moffat, I. 2000. Ecological footprints and sustainable development. *Ecological Economics*, 32, 359-362. Mäenpää, I., Juutinen, A., Puustinen, K., Rintala, J., Risku-Norja, H., Veijalainen, S. & Viitanen, M. 2000. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa. Helsinki, Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 428. 90 s.
- OECD 1998. Eco-efficiency. Pariisi, OECD.
- Repo, M., Hämäläinen, M.-L., Ekqvist, M. & Silvo, K. 1999. Teollisuuden, kalankasvatuksen ja yhdyskuntien päästöt vuosina 1995-1997. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen moniste 175. 24 s. (11 liites.)
- Saling, P., Kicherer, A., Dittrich-Krämer, B., Wittlinger, R., Zombik, W., Schmidt, I., Schrott, W. & Schmidt, S. 2002. Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(4), 203-218.
- Schmidt-Bleek, F. 1993. Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS - Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Berlin, Birkhäuser.
- Schmidt-Bleek, F. 2000. Luonnon uusi laskuoppi. Ekotehokkuuden mittari MIPS. Helsinki, Gaudeamus. 311 s.
- Seppälä, J. 1997. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Oy Edita Ab, Helsinki. Suomen ympäristö 123. 137 s.
- Seppälä, J. 1999a. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Julk: Klöppfer, B. & Hutzinger (toim.), LCA Documents, Vol 4. Eco-Inforna Press, Landsberg. 174 s.
- Seppälä, J. 1999b. Vaikutusten laskenta elinkaariarvioinnissa - vertailtavana DAIA- ja Ekoindikaattorit 95 -menetelmät. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen moniste 172. 30 s. (6 liites.).
- Seppälä, J., Koskela, S., Palperi, M. & Melanen, M. 2000. Metallien jalostus ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 438. 155 s.
- SFS-EN ISO 14042. 2000. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaikutusarviointi. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 30 s.

- SFS-EN ISO 10431. 1999. Ympäristöasioiden hallinta. Ohjeita ympäristönsuojelun tason arviointiin.. 53 s.
- Tenhunen, J. & Lohi, T-K. 2001. Ekotehokkuus vesihuollossa. menetelmä ja sovelluksia vesi- ja viemärlaitosten kestävä kehityksen arvioimiseksi. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 488. 68 s.
- Tenhunen, J., Oinonen, J. & Seppälä, J. 2000. Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 434. 108 s.
- Tilastokeskus 1996. Energia ja päästöt. Hiilidioksidi-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt Suomessa 1980-1993. Helsinki, Tilastokeskus. Ympäristö 1996:2. 135 s.
- Tilastokeskus 1999a. Energia ja päästöt -tilaston päivitys. Helsinki.
- Tilastokeskus 1999b. Trendit kymmenvuotiskatsaus. Helsinki.
- VN:n periaatepäätös 1998. Valtioneuvoston periaatepäätös kestävä kehityksen edistämisestä. Perustelut.

Muut lähteet

- Metsäteollisuus ry 2002. Tilastot. <http://www.forestindustries.fi/tilastot/>.
- SYKE (Suomen ympäristökeskus) 1999. Suomen ilmapäästötietoja. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Thule Instituutti 2003. Eco-efficient Finland: Total material requirement and the possibilities to reduce it in Finland (ECOEF project). <http://thule.oulu.fi/ecoef>.
- VAHTI - Valvonta- ja kuormitustietojärjestelmä. Helsinki, Suomen ympäristökeskus.
- World Resource Institute 2000. <http://www.igc.org/wri/matecology/>.

Kuvailulehti

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)	Julkaisuaika Maaliskuu 2003
Tekijä(t)	Helena Dahlbo, Jyri Seppälä, Jyrki Tenhunen, Tapio Pylkkö ja Tiina-Kaisa Lohi	
Julkaisun nimi	Ympäristövaikutusten kuvaaminen ekotehokkuuden arvioinnissa	
Julkaisun osat/ muut saman projektiin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä: http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy617/sy617.htm	
Tiivistelmä	<p>Tässä raportissa tarkastellaan ekotehokkuuteen liittyviä tekijöitä ja arvioidaan ekotehokkuuden kehittymistä Suomessa ja kahdella teollisuustoimialalla. Tarkasteluissa käytetyt tiedot ovat peräisin 1980- ja 1990-luvuilta. Työ tehtiin osana ympäristöministeriön ympäristöklusterin tutkimusohjelmaan kuulunutta ja Oulun yliopiston Thule Instituutin koordinoimaa tutkimusprojektia Ekotehokas Suomi: Luonnonvarojen kokonaiskäyttö ja sen vähentämismahdollisuudet Suomessa. Ekotehokas Suomi- projektissa laskettiin Suomen talouden luonnonvarojen kokonaiskäytön (TMR) aikasarjat vuosille 1970 - 1997.</p> <p>Ekotehokkuutta arvioitaessa käytettiin ekotehokkuuden tuotosta tai hyötyä kuvaavana muuttujana koko Suomen osalta bruttokansantuotetta ja yksittäisten teollisuustoimialojen osalta teollisuustuotannon volyyymi-indeksiä. Ekotehokkuuden nimittäjänä eli ympäristövaikutuksia kuvaavina indikaattoreina käytettiin ympäristöön kohdistuvia päästöjä (päästöjä vesiin ja ilmaan), energian kokonaiskulutusta sekä TMR:ää. TMR:ää ei tutkimusta tehtäessä pystytty määrittämään teollisuustoimialakohtaisesti, joten sitä tarkasteltiin vain koko Suomen osalta.</p> <p>Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että ekotehokkuus on kasvanut Suomen kansantaloudessa 1980- ja 1990-luvuilla. Luonnonvarojen käyttöä kuvaavien materiaalivirtatarkastelujen tulokset ja päästöistä johdetut vaikutusindikaattoriarvot täydentävät toisiaan ekotehokkuuden arvioinnissa - yhdessä ne antavat paremman kokonaiskuvan toimintojen aiheuttamista ympäristöpaineista kuin vain toisen menetelmän käyttö.</p>	
Asiasanat	Ekotehokkuus, luonnonvarat, materiaalivirta-analyysi, MFA, elinkaarianalyysi, LCA, ympäristövaikutukset, päästöt	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 617	
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu	
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Ekotehokas Suomi, SA06006	
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö	
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1369-3 952-11-1370-7 (PDF)
	Sivuja 38	Kieli Suomi
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 8 e
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, PL 800, 00043 Edita, vaihde 020 450 00 Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380 Sähköposti: asiakaspalvelu@edita.fi, www.edita.fi/netmarket	
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki	
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2003	

Presentationsblad

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)	Datum	Mars 2003												
Författare	Helena Dahlbo, Jyri Seppälä, Jyrki Tenhunen, Tapio Pylkkö och Tiina-Kaisa Lohi														
Publikationens titel	Miljöpåverkans beskrivning vid bedömning av ecoeffektivitet														
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns även i internet: http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy617/sy617.htm														
Sammandrag	<p>Denna rapport behandlar faktorer anknutna till begreppet ecoeffektivitet. Dessutom bedöms ecoeffektivitetens utveckling inom den finländska nationalekonomin samt inom två industrigrenar. Dataunderlaget är från 1980- och 1990-talen.</p> <p>Detta arbete utgör en del av ett projekt tillhörande miljöministeriets miljökluster-forskningsprogram: "Ekoeffektiva Finland: Utnyttjande av naturresurser och och möjligheterna att minska det i Finland", koordinerat av Thule-institutet vid Uleåborgs universitet. Inom projektet estimerades tidsserier för den finländska nationalekonomins totala utnyttjande av naturresurser (Total Material Requirement, TMR). Tidsserierna beräknades för åren 1970 - 1997.</p> <p>Som indikator för nytta vid beräkning av ecoeffektivitet användes bruttonationalprodukt (för hela nationalekonomin) eller volym-index för industriproduktion (för enskilda industrigrenar). Som nämnare, d.v.s. som indikator för miljöpåfrestning användes utsläpp till miljön (utsläpp till vatten och luft), total konsumtion av energi samt TMR. Då denna studie genomfördes var det ej möjligt att evaluera TMR för enskilda industrigrenar, därför användes TMR endast för beräkningarna gällande hela nationalekonomin.</p> <p>Denna undersökning visar, att ecoeffektiviteten har ökat inom den finländska nationalekonomin under 1980- och 1990-talen. Vid bedömning av ecoeffektivitet ger materialflödesanalys av naturresursers utnyttjande tillsammans med indikatorer för miljöpåverkan (härledda från utsläppsvärdena) en bättre helhetsuppfattning än dessa faktorer enskilt. Indikatorerna för utnyttjande av naturresurser och indikatorerna för miljöpåverkan kompletterar varandra i bedömningen.</p>														
Nyckelord	Ecoeffektivitet, naturresurser, materialflödesanalys, MFA, livscykelanalys, LCA, miljöpåverkan, emissioner														
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 617														
Publikationens tema	Miljövärd														
Projektets namn och nummer	Ekoeffektiva Finland, SA06006														
Finansär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet														
Organisationer i projektgruppen	<table border="1"> <tr> <td>ISSN</td> <td>ISBN</td> </tr> <tr> <td>1238-7312</td> <td>952-11-1369-3 952-11-1370-7 (PDF)</td> </tr> <tr> <td>Sidantal</td> <td>Språk</td> </tr> <tr> <td>38</td> <td>Finska</td> </tr> <tr> <td>Offentlighet</td> <td>Pris</td> </tr> <tr> <td>Offentlig</td> <td>8 e</td> </tr> </table>			ISSN	ISBN	1238-7312	952-11-1369-3 952-11-1370-7 (PDF)	Sidantal	Språk	38	Finska	Offentlighet	Pris	Offentlig	8 e
ISSN	ISBN														
1238-7312	952-11-1369-3 952-11-1370-7 (PDF)														
Sidantal	Språk														
38	Finska														
Offentlighet	Pris														
Offentlig	8 e														
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, PB 800, FIN-00043 Edita, Finland, växel 020 450 00. Postförsäljningen: Telefon +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380 Internet: www.edita.fi/netmarket														
Förläggare	Finlands miljöcentral, PB 140, FIN-00251 Helsinki, Finland														
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2003														

Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute (SYKE)	Date	March 2003																		
Author(s)	Helena Dahlbo, Jyri Seppälä, Jyrki Tenhunen, Tapio Pylkkö and Tiina-Kaisa Lohi																				
Title of publication	Description of environmental impacts in the assessment of eco-efficiency																				
Parts of publication/ other project publications	This publication is also available in the Internet: http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy617/sy617.htm																				
Abstract	<p>In this report, factors connected to eco-efficiency are examined. Furthermore, the development of the eco-efficiency of the Finnish national economy and of two industrial sectors is assessed. The data used for the assessment is from the 1980's and the 1990's.</p> <p>This study was a part of the research project "Eco-efficient Finland: Total material requirement and the possibilities for minimising it in Finland". Eco-efficient Finland was a part of the Ministry of Environment's Environment Cluster research programme. It was co-ordinated by the Thule Institute of the University of Oulu. The Eco-efficient Finland project produced time series (from 1970 to 1997) for the total material requirement (TMR) of the Finnish national economy.</p> <p>In this study, the eco-efficiency of the Finnish national economy and of two industrial sectors were studied. For assessing eco-efficiency, the variable used for describing the benefit factor of the Finnish national economy was gross national product. For individual industrial sectors it was the volume index of industrial production. Environmental pressures were described using the following indicators: emissions to the environment (to water and air), total energy use and TMR. At the time this study was carried out, the TMR could not be allocated to individual industrial sectors, thus it was only used for the Finnish national economy.</p> <p>According to the study, the eco-efficiency of the Finnish national economy and the two industrial sectors increased during the 1980's and 1990's. For assessing eco-efficiency, results from material flow analysis of the use of natural resources used together with the indicator results calculated for the impacts of emissions give a better general view of the environmental pressures than using one or the other alone. The indicators describing the use of natural resources and impact indicators complement each other in the assessment of eco-efficiency.</p>																				
Keywords	Eco-efficiency, natural resources, material flow analysis, MFA, life cycle assessment, LCA, environmental impacts, emissions																				
Publication series and number	The Finnish Environment 617																				
Theme of publication	Environmental Protection																				
Project name and number, if any	Eco-efficient Finland, SA06006																				
Financier/ commissioner	Ministry of the environment																				
Project organization	<table border="1"> <tr> <td>ISSN</td> <td>ISBN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1238-7312</td> <td>952-11-1369-3</td> <td>952-11-1370-7 (PDF)</td> </tr> <tr> <td>No. of pages</td> <td></td> <td>Language</td> </tr> <tr> <td>38</td> <td></td> <td>Finnish</td> </tr> <tr> <td>Restrictions</td> <td></td> <td>Price</td> </tr> <tr> <td>Public</td> <td></td> <td>8 e</td> </tr> </table>			ISSN	ISBN		1238-7312	952-11-1369-3	952-11-1370-7 (PDF)	No. of pages		Language	38		Finnish	Restrictions		Price	Public		8 e
ISSN	ISBN																				
1238-7312	952-11-1369-3	952-11-1370-7 (PDF)																			
No. of pages		Language																			
38		Finnish																			
Restrictions		Price																			
Public		8 e																			
For sale at/ distributor	Edita Publishing Ltd., P.O. Box 800, FIN-00043 Edita, Finland, Phone + 358 20 450 00. Mail orders: Phone +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380. Internet: www.edita.fi/netmarket																				
Financier of publication	Finnish Environment Institute, P.O. Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland																				
Printing place and year	Edita Prima Ltd, Helsinki 2003																				



YMPÄRISTÖN- SUOJELU

Ympäristövaikutusten kuvaaminen ekotehokkuuden arvioinnissa

Ekotehokkuutta arvioitaessa tarkastellaan toiminnasta saatavien hyötyjen ja sen aiheuttamien ympäristövaikutusten suhdetta. Ekotehokkuuden kasvaessa tuotetaan enemmän vähemmästä, ja siten vältetään luonnonvarojen tuhlausta sekä vähennetään erilaisten päästöjen ja jätteiden määrää.

Tässä raportissa tarkastellaan ekotehokkuuden kehittymistä 1980- ja 1990-luvuilla Suomen kansantaloudessa sekä kahdella toimialalla, metallien jalostusteollisuudessa ja metsäteollisuudessa. Ympäristövaikutuksia kuvattiin päästöillä, energiankulutuksella ja luonnonvarojen käytöllä. Raportissa havainnollistetaan näistä muodostettujen tunnuslukujen vaikutusta ekotehokkuusarvioiden lopputulokseen.

Julkaisu on saatavana myös Internetistä:
<http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy617/sy617.htm>

ISBN 952-11-1369-3
ISBN 952-11-1370-7 (PDF)
ISSN 1238-7312

Edita Publishing Oy
PL 800, 00043 EDITA, vaihde 020 450 00
Asiakaspalvelu:
puhelin 020 450 05, faksi 020 450 2380
Edita-kirjakauppa Helsingissä:
Annankatu 44, puhelin 020 450 2566