

**VAASAN YLIOPISTO
KAUPPATIETEELLINEN TIEDEKUNTA
KANSANTALOUSTIETEEN LAITOS**

Eeva-Lotta Apajalahti
METALLIEN JALOSTUKSEN EKOTEHOKKUUS SUOMESSA 2000 – 2006

Kansantaloustieteen
pro gradu -tutkielma

VAASA 2008

ALKUSANAT

Voimakkaan talouskasvun seurauksena maailman luonnonvarojen kulutus on tänä päivänä suurempaa kuin koskaan aiemmin. Väestön räjähdysmäinen kasvu ja kehittyvien maiden suuremman ”länsimaisen” elintason tavoittelu ovat luoneet jatkuvan paineen maailman luonnonvarojen riittävyydelle. Ekotehokkuustarkasteluilla pyritään tuomaan ympäristöllinen tehokkuus ja luonnonvarojen tehokkaampi käyttö talouskasvun tavoitteen rinnalle. Tällöin ympäristön laadun paraneminen, luonnonvarojen kestävämpi käyttö sekä taloudellinen kasvu olisivat samanaikaisesti mahdollisia tavoitteita.

Ekotehokkuustarkastelun empiirinen soveltaminen on erittäin tärkeää, jotta paremmin ymmärrämme, kuinka ekotehokkuutta olisi mahdollista mitata käytännössä. Empiirisen tarkastelun avulla voidaan ryhtyä rakentamaan ekotehokkuustarkastelulle viitekehystä, kun menetelmän rajat tunnetaan paremmin.

Pro gradu -tutkielma on osa Suomen Akatemian rahoittamaa IFEE (Indicator Framework for Eco-Efficiency) -hanketta, jonka tavoitteena on kehittää ekotehokkuuden mittaamiselle viitekehys sekä testata eri menetelmiä empiiriseen aineistoon. Päämääränä on tarkastella ekotehokkuutta kestävä kehityksen näkökulmasta ja pyrkiä ei-strategisten sekä ongelmia siirtävien menetelmien käytön ehkäisemiseen. IFEE-hanke, jota koordinoi tutkimusohjelmajohtaja Jouni Korhonen Åbo Akademiasta, on osa Suomen Akatemian Kestävä tuotanto ja tuotteet (KETJU) -tutkimusohjelmaa.

Metallien jalostuksessa toimipaikkatasolla ei ole aiemmin Suomessa toteutettu näin laajaa ekotehokkuustarkastelua. Haluan erityisesti kiittää tehtaiden yhteyshenkilöitä loistavasta yhteistyöstä. Heidän apunsa ja asiantuntemuksensa olivat korvaamattomia työn edistymiselle.

Tutkielma on laadittu Vaasan yliopiston kansantaloustieteen laitokselle. Tutkielman ohjaajana on toiminut professori Hannu Piekkola Vaasan yliopiston kansantaloustieteen laitokselta. Tutkielmatyön tekoa on tukenut erityisesti tutkimuspäällikkö Jukka Hoffrén Tilastokeskukselta. Hänelle suuri kiitos tuesta ja avusta. Asiantuntevista kommentteista ja vinkeistä haluan kiittää teollisen ekologian seuran puheenjohtajaa Jouni Korhosta Åbo Akademiasta, analyytikko Tuomas Haikkaa Outokumpu Oyj:ltä sekä erikoistutkija Saku Vuorta Geologian tutkimuskeskukselta. Haluan kiittää Vaasan yliopiston kansantaloustieteen laitoksen mahtavaa ja aina yhtä innostavaa henkilökuntaa. Suuri kiitos kuuluu myös perheelleni saamastani tuesta.

Helsingissä 29.4.2008

Eeva-Lotta Apajalahti

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	1
TIIVISTELMÄ	11
1. JOHDANTO	13
1.1. Johdatus aiheeseen	13
1.2. Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelmat	15
1.3. Tutkielman rakenne	16
2. TALOUS, KESTÄVÄ KEHITYS JA EKOTEHOKKUUS	17
2.1. Talouden ulkoisvaikutukset	17
2.2. Kestävän kehityksen politiikka	19
2.3. Kestävän kehityksen haasteet	20
2.4. Ekotehokkuuden teoriapohja	23
3. EKOTEHOKKUUDEN MITTAAMINEN YRITYSTASOLLA	27
3.1. Ekotehokkuus käsitteenä	27
3.2. Ekotehokkuuden mittaaminen yritystasolla	29
3.3. Yritysten käyttämät ekotehokkuusmittarit	31
3.4. Ekotehokkuustarkastelun vahvuudet ja heikkoudet	32
4. METALLIEN JALOSTUS SUOMESSA	36
4.1. Metallien jalostuksen kehitys	36
4.2. Materiaalien ja energian kulutus	42
4.3. Metallien jalostuksen ympäristövaikutukset	46

5. METALLIEN JALOSTUKSEN EKOTEHOKKUUS 2000 – 2006	50
5.1. Käytetty tietoaineisto	50
5.2. Käytetyt ekotehokkuusmittarit	51
5.3. Metallien jalostuksen sektorin tuotosten ja panosten kehitys 2000 – 2006	54
5.4. Metallien jalostuksen ekotehokkuus 2000 – 2006	56
5.5. Tulosten yhteenveto	64
6. EKOTEHOKKUUSTARKASTELUN KEHITTÄMINEN	68
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	73
LÄHTEET	75
LIITTEET	82

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Ekotehokkuus –käyrä.	24
Kuvio 2. Metallien tuotannon vaiheet.	36
Kuvio 3. Nikkelin, kuparin, sinkin, teräksen ja raudan, ferrokromin ja alumiinin tonnit tuotannon kehitys 1992–2006 (1992=100).	39
Kuvio 4 Metallien hintojen kehitys 2000–2007 (2000=100).	40
Kuvio 5 Teknologia-teollisuuden päätoimialat vuonna 2006 liikevaihdon mukaan.	41
Kuvio 6. Metallien jalostuksen sähkön, energian ja materiaalien kulutuksen sekä tuotannon kehitys 1992–2006 (1992=100).	45
Kuvio 7. Metallien jalostuksen CO ₂ , SO ₂ ja NO ₂ päästöjen sekä tuotannon kehitys 1992–2006 (1992=100).	47
Kuvio 8. Vesistöihin pääsevien metallipäästöjen kehitys vuosina 1995–2005 (1995=100).	48
Kuvio 9. Sektorin tuotosten sekä ympäristövaikutusten kehitys 2000 – 2006 (2000=100).	54
Kuvio 10. Sektorin panosten ja kokonaistuotannon kehitys 2000 – 2006 (2000=100).	55
Kuvio 11. Sektorin ja tehtaiden liikevaihdon kehitys suhteessa materiaalien käytön kehitykseen 2000–2006 (2000=100).	56
Kuva 12. Sektorin ja tehtaiden liikevaihdon kehitys suhteessa energian käytön kehitykseen 2000–2006 (2000=100).	57
Kuvio 13. Sektorin ja tehtaiden arvonlisäyksen kehitys suhteessa materiaalien käytön kehitykseen 2000 – 2006 (2000=100).	58
Kuvio 14. Sektorin ja tehtaiden arvonlisäyksen kehitys suhteessa energian käytön kehitykseen 2000 – 2006 (2000=100).	59
Kuvio 15. Sektorin ja tehtaiden ympäristövaikutuksilla korjatun arvonlisäyksen kehitys suhteessa materiaalien käytön kehitykseen 2000 – 2006 (2000=100).	60
Kuvio 16. Sektorin ja tehtaiden ympäristövaikutuksilla korjatun arvonlisäyksen kehitys suhteessa energian käytön kehitykseen 2000 – 2006 (2000=100).	61
Kuvio 18. Sektorin ja tehtaiden energiätehokkuuden kehitys 2000 – 2006 (2000=100).	63
Taulukko 1. Suomessa toimivat metallinjalostajat ja tehtaot sekä niiden tuotantomäärät ja henkilöstömäärät vuonna 2007.	38
Taulukko 2. Maailman tunnettujen mineraalivarantojen riittävyys vuosina sekä tuotannon kasvuvauhti.	43
Taulukko 3. Tieliikenteen päästökustannusten yksikköarvot.	52

Taulukko 4. Yhteenveto ekotehokkuustarkastelun tuloksista.	64
Taulukko 5. Factor -tavoitteet periodille 2000 – 2006.	65
Taulukko 6. Tutkimuksessa sovelletun ekotehokkuustarkastelun SWOT.	71

VAASAN YLIOPISTO**Kauppätieteellinen tiedekunta**

Tekijä:	Eeva-Lotta Apajalahti	
Tutkielman nimi:	Metallien jalostuksen ekotehokkuus Suomessa 2000–2006	
Ohjaaja:	Hannu Piekkola	
Tutkinto:	Kauppätieteiden maisteri	
Laitos:	Kansantaloustieteen laitos	
Oppiaine:	Kansantaloustiede	
Aloitusvuosi:	2003	
Valmistumisvuosi:	2008	Sivumäärä: 89

TIIVISTELMÄ

Yhä suuremman taloudellisen kasvun tavoittelu, luonnonvarojen kestävätköns kulutus sekä taloudellisesta toiminnasta aiheutuvien negatiivisten ulkoisvaikutusten kasvu, asettavat suuria haasteita tulevaisuuden hyvinvoinnille. Tämän hetkiseen kestävätköns luonnonvarojen käyttöön ei muutosta ole näkyvässä, koska kehittyvien talousmaiden kasvu tulee vielä pitkään lisäämään luonnonvarojen kulutusta.

Edellä mainittujen haasteiden ratkaisemiseksi on ehdotettu kestävätköns kehityksen politiikkaa, joka määritellään ”kehitykseksi, joka tyydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa”. Ekotehokkuus yhdistää taloudellisen tehokkuuden ympäristölliseen tehokkuuteen ja sitä pidetään yleisesti yhtenä kestävätköns kehityksen mittaamistapana. Pro gradu -tutkielma tarjoaa empiirisen sovelluksen ekotehokkuuden mittaamiseen. Tutkielman keskeisenä tavoitteena oli analysoida metallien jalostuksen ekotehokkuuden mittaamista, aineiston saatavuutta sekä ekotehokkuuden kehitystä vuosien 2000 – 2006 aikana.

Tutkimuksessa oli mukana kuusi kymmenestä Suomen suurimmasta metallinjalostustehtaasta. Tutkimuksessa ekotehokkuutta tarkasteltiin kuudella erilaisella ekotehokkuusmittarilla, joita sovellettiin toimipaikkakohtaiseen aineistoon sekä sektoritason tietoihin. Toimipaikkakohtaisen aikasarja-aineiston keruu tapahtui pääosin suoraan tehtailta, sillä kaikkia tietoja ei ollut saatavilla julkisista lähteistä. Sektoria koskevat tiedot kerättiin Tilastokeskuksen ja Teknologiateollisuus ry:n aineistoista.

Metallien jalostuksen ekotehokkuudet ovat tarkasteluperiodilla 2000 – 2006 kasvaneet. Tehtaat ovat tuottaneet suhteellisesti suuremman hyvinvoinnin pienemmillä materiaali- ja energiapanoksilla. Keskeisimpien tutkimustulosten mukaan tehdastasolla ekotehokkuudet ovat kasvaneet keskimäärin 50 – 80 prosenttia ja sektoritasolla 40 – 80 prosenttia.

AVAINSANAT: Kestävä kehitys, ekotehokkuus, metallien jalostus, hyvinvointi, luonnonvarojen kulutus, materiaalitehokkuus, energiatehokkuus.

1. JOHDANTO

1.1. Johdatus aiheeseen

Jatkuvasti kasvava luonnonvarojen kestämaton kulutus ylittää nykyisellään maapallon kantokyvyn moninkertaisesti. Lisäksi se aiheuttaa taloudelliselle toiminnalle yhä suurempia kustannuksia ja riskejä tulevaisuudessa. Taloudellinen toimintaympäristö tulee epävakaammaksi muun muassa yhä niukemmiksi käyvien luonnonvarojen ja raaka-aineiden hintojen suurten vaihteluiden seurauksena. Autio ja Lettenmeier (2002) ovat laatineet yrityksen ekoteho-oppaan, jossa käsitellään luonnonvarojen riittävyttä. Heidän mukaansa tällä hetkellä noin 20 prosenttia maailmanväestöstä, johon teollisuusmaat kuuluvat, käyttää noin 80 prosenttia maailman luonnonvaroista. Mikäli loput 80 prosenttia maailman ihmisistä käyttäisi yhtä paljon luonnonvaroja, tarvitsisimme noin neljä maapalloa, jotta kaikilla olisi yhtä paljon luonnonvaroja käytettävänä. Kuitenkin huomattavasti aiemmin kuin luonnonvarat ehtyvät, toiminnan haitalliset ympäristövaikutukset tulevat näkyviksi (Mts. 12). Teollisuusmaiden kulutus- ja tuotantotottumukset ovat selvästi kestäättömällä tasolla. Teollistuvien maiden, kuten Kiinan ja Intian, seurattessa teollisuusmaiden esimerkkiä, sekä maailman väestönkasvun nopea kasvu lisäävät luonnonvarojen käyttöä.

Luonnonvarojen hyödyntäminen taloudellisessa toiminnassa aiheuttaa luonnonvarojen kulutusta vastaavan suuruisia ympäristöhaittoja, jotka vähentävät yhteiskunnan hyvinvointia. Puuttuvien markkinahintojen vuoksi ympäristöhaitat jäävät helposti päätöksenteon ulkopuolelle, jolloin markkinat eivät toimi tehokkaasti eivätkä resurssit allokoitu yhteiskunnassa optimaalisesti. Ympäristöhaittoja käsitellään uusklassisessa talousteoriassa ulkoisvaikutuksina. Tällä hetkellä näkyvin ympäristöhaittojen seuraus on ilmastonmuutos. Britannian hallituksen neuvonantaja ekonomisti Nicholas Stern (2006) on koonnut tähän mennessä kattavimman raportin ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista. Sternin raportin johtopäätösten mukaan ilmastonmuutoksen taloudelliset kustannukset voivat tulevina vuosina kasvaa hyvin suuriksi, mikäli toimenpiteitä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ei tehdä pian. Ilmastonmuutoksen ehkäisemisen tai lieventämisen kustannukset olisivat nyt vain pieni osa kustannuksista, jotka ilmastonmuutos tulee aiheuttamaan, arvioidaan raportissa. Sternin mukaan ilmastonmuutos on esimerkki suurimman asteen markkinahäiriöstä, mitä on koskaan koettu, mutta siihen voidaan kuitenkin vielä vaikuttaa poliittisin keinoin.

Erinäisten selvitysten mukaan luonnonvarojen kestävä kulutustaso on vain murto-osa nykyisestä, joka pitkän aikavälitavoitteiden mukaisesti olisi noin 10–20 prosenttia nykyisestä (ks. Weizsäcker, Lovins & Lovins 1997). Väestönkasvu ja talouden laajeneminen huomioiden tavoitteena on, että luonnonvarojen puolittuminen olisi tapahduttava vuoteen 2050 mennessä ja tämän lisäksi samassa ajassa tulisi maailmanlaajuisen hyvinvoinnin vähintään kaksinkertaistua, jotta luonnonvarojen käytön jakaantuminen globaalisti olisi tasapuolista ja kestävällä pohjalla (Autio & Lettenmeier 2002: 12). Tämä tarkoittaa globaalilla tasolla nelinkertaista hyvinvointia suhteessa luonnonvarojen kulutuksen määrään. Tavoitetta nimitetään Factor 4 -tavoitteeksi. Teollisuusmaiden käyttämien luonnonvarojen määrä on kuitenkin niin suurta, että mikäli edellä mainittuun Factor 4 -tavoitteeseen päästäisiin globaalilla tasolla, tulisi teollisuusmaiden nostaa luonnonvarojen tuottavuutta vähintään kymmenkertaiseksi samassa ajassa. Tällöin puhutaan Factor 10 -tavoitteesta. Factor 10 -tavoite vaikuttaa kovin haasteelliselta, jonka johdosta tavoite on usein jaettu siten, että vuoteen 2030 mennessä tulisi teollisuusmaiden ekotehokkuuden nelinkertaistua, vaikka silloin vuoteen 2050 mennessä ekotehostumista tapahtuisi factorilla 6. Tätä, teollisuusmaiden Factor 4 -tavoitetta käytetään tutkielman analyysissä.

Ekotehokkuuden tavoitteena on tarkastella luonnonvarojen käytön ja hyvinvoinnin välisen suhteen kehitystä. Schalteggerin ja Sturmin (1990) alun perin kehittämä ekotehokkuus -käsite on ympäristövaikutuksen, jonka pitäisi vähentyä ja tuotannon arvonlisäyksen, jonka pitäisi kasvaa, suhdeluku (Huppes & Ishikawa 2007: 10). Maailman liike-elämän kestävä kehityksen neuvosto (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) otti käyttöön ekotehokkuuden käsitteen yritysmailman vastauksena kestävä kehityksen haasteisiin vuonna 1992, jolloin ekotehokkuus tuli samalla tunnetuksi suurelle yleisölle. Ekotehokkuus tarkastelee kuinka tehokkaasti luonnonvaroja käytetään taloudessa. Tavoitteena on tuottaa mahdollisimman suuri hyvinvointi mahdollisimman pienellä luonnonvarojen kulutuksella. Taloudellinen toiminta käyttää tuotannossaan materiaali- ja energiapanoksia, jotka muuntuvat talouden tuotantoprosesseissa lopulta tuotteiksi, päästöiksi ja jätteiksi. Pientämällä tuotannossa käytettäviä materiaalivirtoja vähennetään tuotannosta ja kulutuksesta aiheutuvien päästöjen ja jätteiden määrää. Samaan aikaan tuotannosta aikaansaadun taloudellisen hyödyn ja hyvinvoinnin tulisi kasvaa tai vähintään säilyä ennallaan. Taloudellisen toiminnan painopisteen tulisi siirtyä palvelukeskeisempään (immaterialisaatio) ja vähemmän materiaaleja kuluttavampaan (dematerialisaatio) suuntaan eli toisin sanoen talouden ja hyvinvoinnin tulisi kasvaa laadullisesti.

1.2. Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelmat

Suomen metalliteollisuus ja erityisesti metallien jalostus tarjoavat hyvän tarkastelupohjan ekotehokkuuden mittaamiselle, sillä ala on erittäin materiaali- ja energiaintensiivinen. Metalliteollisuuden päästöt ja jätteet muodostavat myös suuren osuuden Suomen talouden toiminnan aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Vähentämällä materiaali- ja energiapanosten määrää, voidaan aikaansaada suuriakin vähennyksiä päästöjen ja jätteiden määrissä. Tuotantoprosessien teknologiset parannukset, toiminnan joustavampi omaksuminen teollisuuden suunnittelussa, uusiutuvien luonnonvarojen lisääntyvä käyttö, uusiutumattomien luonnonvarojen korvaaminen uusiutuvilla sekä materiaalipanosten korvaaminen kierrätysmateriaaleilla voivat lievittää aiheutunutta ympäristötaakkaa. Suomen metalliteollisuuden ekotehokkuustarkastelu tarjoaa uuden lähtökohdan ja näkökulman toiminnan kestävyuden arviointiin.

Tutkimuksen tavoitteena on analysoida ekotehokkuuden mittaamista ja menetelmiä Suomen metallien jalostuksessa sektori- sekä toimipaikkatasolla. Ekotehokkuutta ei ole aiemmin mitattu Suomen metallien jalostuksen toimipaikkatasolla, jolloin aineiston saatavuus liittyy olennaisesti tutkimuksen etenemiseen. Tarkoituksena on myös analysoida kierrätyksen huomioimista ekotehokkuustarkastelussa. Tutkimuksessa tarkastellaan ekotehokkuutta kuudella erilaisella mittarilla, joita sovelletaan kerättyihin tietoihin. Tehtaiden ekotehokkuuden kehittymistä analysoidaan ja verrataan sektoritasoon ja pidemmän aikavälin tavoitteisiin. Empiirisen tarkastelun pohjalta arvioidaan eri mittareiden soveltuvuutta metallien jalostuksen ekotehokkuuden mittaamiseen.

Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten metallin jalostuksen ekotehokkuus on käytettyjen mittareiden valossa kehittynyt Suomessa vuosina 2000–2006 ja ovatko tehdaskohtaiset ekotehokkuudet kehittyneet samansuuntaisesti sektorin yleisen kehityksen kanssa?
2. Mitkä ekotehokkuusmittarit soveltuvat parhaiten metallin jalostuksen ekotehokkuuden mittaamiseen? Soveltuvatko samat mittarit tehtaiden ja sektorikohtaisen ekotehokkuuden mittaamiseen sekä voiko niitä soveltaa myös muille toimialoille?
3. Mitä haasteita metalliteollisuuden ominaispiirteet tuovat ekotehokkuuden mittaamiselle? Miten kierrätysmateriaalien käyttö tulisi huomioida ekotehokkuuden mittaamisessa ja kuinka kierrätys vaikuttaa tehtaiden tai sektorin ekotehokkuuden kehitykseen?

1.3. Tutkielman rakenne

Ekotehokkuuden teoriapohja on monitieteinen ja se on saanut vaikutteita useasta eri teoriasta ja suuntauksesta. Kappaleessa kaksi esitellään ensiksi uusklassisen taloustieteen ratkaisumalleja ympäristövaikutusten huomioimiseksi. Tämän lisäksi kappaleessa kaksi esitellään ekotehokkuuden taustalla vaikuttavat teorit ja menetelmät sekä tarkastellaan taloudellisen toiminnan vaikutuksia ympäristöön. Myös kestävän kehityksen politiikan periaatteet käydään läpi. Kappaleessa kolme tarkastellaan ekotehokkuuden käsitettä lähemmin sekä käydään läpi ekotehokkuuden mittaamiseen liittyviä seikkoja. Ekotehokkuustarkastelun käytännön soveltamista yritystasolla esitellään muutaman käytännön esimerkin avulla. Myös ekotehokkuuden vahvuuksia ja heikkouksia analysoidaan. Metallien jalostusta Suomen kansantaloudessa sekä jalostuksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia käydään läpi kappaleessa neljä. Kappaleessa viisi tarkastellaan aineiston saatavuutta, esitetään tutkielmassa käytettävät menetelmät ja empiirinen toteutus sekä tehdään yhteenveto saaduista tutkimustuloksista. Lisäksi verrataan metallijalostuksen sektorin ja tehtaiden ekotehokkuuksien kehittymistä pitkän aikavälin Factor -tavoitteisiin.

Metallien kierrätyksellä on suuri merkitys sektorin toimintaan sekä toiminnasta aiheutuviin ympäristövaikutuksiin. Kierrätykseen viitataan useita kertoja tutkielmassa, joten liitteessä 4. on erikseen käsitelty metallien kierrätystä ja sen ympäristövaikutuksia. Kappaleessa kuusi pohditaan ekotehokkuustarkastelun kehittämistä ja tehdään tarkastelulle SWOT -analyysi. Lopuksi kappale seitsemän sisältää tutkimuksen johtopäätökset. Lisäksi kappaleessa seitsemän käydään läpi tarkastelun jatkokehitystarpeet ja ehdotetaan aiheita jatkotutkimukselle.

2. TALOUS, KESTÄVÄ KEHITYS JA EKOTEHOKKUUS

2.1. Talouden ulkoisvaikutukset

Kansantaloustieteessä talouden tehtävänä on tuottaa kuluttajille hyödykkeitä, palveluja ja tavaroita, jotka lisäävät heidän hyvinvointiaan. Kuluttajat hankkivat hyödykkeitä markkinahintaan, joka määräytyy markkinoilla kysynnän ja tarjonnan mukaan, jolloin hyödykkeiden tuottajat saavat vastaavasti tuloja tuottamistaan hyödykkeistä. Samoin kuin kuluttajat optimoivat omaa hyötyään, yritykset maksimoivat tuotannosta saatavaa voittoa. Tämä hyvin yksinkertaistettu näkökulma talouden toiminnasta kuvaa tämänhetkistä peruskäsitystä talouden toiminnasta. Kaikki perustuu täydellisesti toimiviin markkinoihin, jolloin kysynnän ja tarjonnan kohdatessa tapahtuvat osto- ja myyntipäätökset, jotka tehdään sillä oletuksella, että molemmilla osapuolilla on kaikki mahdollinen päätöksenteossa tarvittava tieto käytettävissään. Taloudellinen päätöksenteko voi myös vaikuttaa ihmisiin, jotka eivät ole päätöksenteossa mukana. Näitä päätöksenteon vuotoja (spillover), jotka voivat aiheuttaa joko negatiivisia tai positiivisia vaikutuksia, sanotaan Parkinin, Powellin ja Mathewsin (2000: 480) mukaan ulkoisvaikutuksiksi. Ulkoisvaikutusten hyötyjä tai kustannuksia on useimmiten hyvin vaikea ottaa päätöksenteossa huomioon, sillä niitä on vaikea tunnistaa koska niiden rahamääräinen arvioiminen markkinahintojen puuttuessa on monesti lähes mahdotonta. Cullis ja Jones (1998: 31) määrittävät ulkoisvaikutusten ilmenevän silloin, kun yksilön hyöty on riippuvainen hankkimisensa ja kuluttamiensa tavaroiden ja palveluiden lisäksi jonkun toisen yksilön toiminnasta. Kun ulkoisvaikutuksia on olemassa, eivät markkinat maksimoi hyvinvointia kuten niiden talousteorian mukaisesti tulisi tehdä (Cullis & Jones 1998: 32). Parkin ym. (2000: 480) toteavat, että ulkoisvaikutusten olemassaolo on markkinahäiriöiden suurin aiheuttaja. Esimerkkinä negatiivisesta ulkoisvaikutuksesta voidaan mainita ilmansaasteet, joita usein taloudellisesta toiminnasta aiheutuu ja jotka vaikuttavat kaikkien hyvinvointia heikentävästi. Kuluttajan tehdessä ostopäätöstä, hänellä ei ole tietoa kuluttamansa hyödykkeen tai palvelun haitallisista ulkoisvaikutuksista, sillä ne eivät sisälly markkinahintoihin.

Uusklassisen taloustieteen lähestymistapa ympäristöongelmiin ja luonnonvarojen hyödyntämiseen perustuu pitkälti ulkoisvaikutusten käsitteeseen. Koska ulkoisvaikutukset ovat seurausta markkinamekanismin epätäydellisestä toiminnasta, pyritään ulkoisvaikutukset tuomaan markkinoiden piiriin luomalla niille jokin markkinaehtoinen ratkaisumalli. Tunnetuimmat ratkaisuehdotukset ovat Pigoun ja Coasen teoreemat. Arthur Pigou

(1920) esitti, että ulkoisvaikutusten poistamiseksi asetettaisiin hyödykkeille veroja, jotka kompensoisivat ympäristöhaitan aiheutumisen, jolloin ympäristön saastuttamisesta aiheutuvat kulut jakaantuisivat saastuttajan ja yhteiskunnan välille (Hoffrén 1994: 29). Tällöin yhteiskunta keräisi saastuttajalta veroja, jotka edelleen jaettaisiin ympäristöhaitoista kärsivien kesken. Ronald Coase (1960) puolestaan ehdotti ulkoisvaikutusten tuomisen markkinatalouden piiriin määrittämällä ympäristöhyödykkeiden omistusoikeudet, jolloin saastuttaja maksaisi käyttämästään panoksesta ja aiheuttamastaan ympäristöhaitasta korvauksen suoraan haitasta kärsivälle (Hoffrén 1994: 35). Coasen teoreeman mukaan, mikäli omistusoikeudet ovat olemassa ja mikäli transaktiokustannukset eli vaihdannan kustannukset ovat alhaiset, yksityinen vaihdanta on tehokasta (Parkin ym. 2000: 484). Parkin ym. (2000: 484) toteavat, että omistusoikeuksien tarkempaa määrittämistä ei tällöin tarvita, sillä kun ulkoisvaikutukset on eliminoitu, on vaihdannan osapuolilla tieto kaikista vaihdantaan liittyvistä kustannuksista ja hyödyistä.

Coasen teoreema on puhtaasti markkinaehtoinen ratkaisu, jonka heikkouksia Cullis ja Jones (1998: 33–36) listaavat seuraavassa: (a) päätöksenteon transaktiokustannukset; (b) vapaamatkustajaongelma, mikäli ympäristöhaitoista kärsiviä on paljon; (c) epätasaisesti jakautuva tieto, jolloin jommallakummalla osapuolella on puutteelliset tiedot päätöksentekoon; (d) kaikkien kuluttajien omistuksia, esimerkiksi puhtaaseen ilmaan, on mahdotonta määrittää sekä (e) kaikkia ympäristöhaitoista kärsiviä on mahdotonta tunnistaa muun muassa ympäristöhaittojen yli ajan tapahtuvista vaikutuksista johtuen. Edellä mainituista syistä johtuen markkinaratkaisujen löytäminen ei aina ole mahdollista. Pigou (1932) esitti huolensa Cullisin ja Jonesin (1998: 33) mielestä perustellusti kaupankäyntiin liittyvistä (transaktio)kustannuksista, jotka aiheutuvat kaupan toteutumiseen käytetystä ajasta sekä panostusten suuruudesta. Mikäli transaktiokustannukset ovat suuremmat kuin kaupasta saatavat hyödyt, ei kauppa toteudu, jolloin valtion säännöstely olisi tehokasta (Cullis & Jones 1998: 34). Pigoun esitys perustuu julkisen vallan väliintuloon ulkoisvaikutusten pienentämiseksi. Cullisin ja Jonesin (1998: 36–37) mukaan julkinen valta voi vähentää ulkoisvaikutuksia asettamalla veroja, lisäämällä tukipalkkioita eri osapuolille, säännöstelemällä tuotantoa suoraan tai luomalla ulkoisvaikutuksille markkinat, joka määrää ulkoisvaikutusten hyvinvoinnin kannalta optimaalisen tason. Myös julkisen vallan väliintulossa on transaktiokustannuksia, joten mikäli yhteiskunta tavoittelee ulkoisvaikutusten poistamista, tulee sen valita keinot, jolla on mahdollisimman pienet transaktiokustannukset (Cullis & Jones 1998: 43). Tällöin esimerkiksi jos markkinoiden säätelyn seurannasta ja valvonnasta aiheutuu suuria kustannuksia, on verojen asettaminen säätelyä suotavampaa. Julkisen sektorin väliintulon vaikeuksia on

määrittää ulkoisvaikutusten oikea taso ja hinta sekä kuinka eri osapuolten välille saadaan aikaiseksi molempia osapuolia tyydyttävä sopimus (Mts. 37).

Tämänhetkiset toimenpiteet ulkoisvaikutusten poistamiseksi ovat olleet joko liian hitaita tai liian pieniä, sillä ympäristöhaitat vain kasvavat ja esimerkiksi ilmastonmuutos etenee hätkähdyttävää vauhtia. Luonnonvarojen hyödyntäminen ja ympäristöhaittojen määrä ovat jo nykyisellään ylittäneet kestävän kulutuksen tason, jolloin maapallon kantokykyä jo nyt koetellaan. Kun huomioidaan talouden laajentuminen ja odotettavissa oleva maapallon väestönkasvu, jonka ennustetaan olevan vuoden 2050 paikkeilla jopa 8-9 miljardia, tuntuvat tulevaisuuden haasteet luonnonvarojen ja ympäristöhaittojen vähentämisessä erittäin suurilta.

Ihmisten tavoitellessa kansantaloustieteen periaatteiden mukaisesti oman hyödyn maksimointia, ei rahallisia kannustimia kulutuksen pienentämiseksi ole, sillä hinnoissa ei ole huomioitu ulkoisvaikutuksia. Tämä luo tarpeen julkisen vallan väliintulolle, kuten aiemmin esitettiin. Verouudistukset ja muiden tavoitteiden asettaminen kyllä edesauttaa ulkoisvaikutusten pienentämistä mutta aivan liian hitaasti. Kun otetaan huomioon väestönkasvun ja luonnonvarojen suuren kestäättömän kulutuksen paineet, tulisi toimenpiteiden olla nykyistä paljon suurempia. Nykyisen taloustieteen riittämättömyys huomattiin jo 70–80 -lukujen vaihteessa, jolloin vastaukseksi tuleville haasteille esitettiin kestävän kehityksen politiikkaa, jonka lähtökohdat käsitellään seuraavassa kappaleessa.

2.2. Kestävän kehityksen politiikka

Luonnonvarojen rajallisuuteen ja rajattoman talouskasvun mahdottomuuteen kiinnitettiin ensimmäisen kerran huomiota 1970 -luvun alussa niin sanotun Rooman klubin raportissa Kasvun rajat (The Limits to Growth). Se nosti ensimmäisen kerran yleiseen tietoisuuteen maailman luonnonvarojen ehtymisen ja ympäristöongelmien valtavan kasvun. Ratkaisuja näihin ongelmiin ryhdyttiin etsimään jo 1970 -luvulla. Vuonna 1983 YK:n yleiskokouksen perustama ns. Bruntlandin komissio (World Commission on Environment and Development WCED) ryhtyi selvittämään ympäristön ja kehityksen haasteita sekä pohtimaan ratkaisuehdotuksia niihin. Komission vuonna 1987 ilmestyneessä loppuraportissa (Our Common future) määriteltiin luonnonvarojen ylihyödyntämisen ja kasvavien ympäristöongelmien ratkaisuksi kestävän kehityksen politiikkaa, joka ”*tyydyttäisi nykyisten sukupolvien tarpeet vaarantamatta tulevien sukupolvien*

mahdollisuuksia tyydyttää omat tarpeensa”. Kestävä kehitys määriteltiin tarkemmin vuonna 1992 Rio de Janeirossa YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa (United Nations Conference on Environment and Development, UNCED). Rion konferenssin pohjalta kestävä kehitys määriteltiin kolmen keskenään yhtä tärkeän ulottuvuuden kokonaisuudeksi. Nämä ulottuvuudet ovat taloudellinen, ympäristöllinen ja sosiaalinen ulottuvuus. Rion konferenssissa 178 valtiota sitoutui kestäväan kehitykseen korkeimmalla poliittisella tasolla. (Saurimo 1993, 10.)

Merkittävä kehityskaskel kestäväan kehityksen politiikan toimenpiteiden ja tavoitteiden määrittelyssä oli vuonna 1997 Kioton ilmastokokous. Kiotossa määriteltiin teollisuusmaille ensimmäisen kerran konkreettisia kasvihuonekaasupäästörajotteita, jotka sitovat oikeudellisesti sopimuksen allekirjoittaneita valtioita. Kioton sopimuksen on ratifioinut 17.4.2008 mennessä 180 valtiota ja 38 valtiolla on konkreettiset yksilöidyt tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi (UNFCCC 2008). Rion seurantakonferenssinä tunnettu (ns. Rio10+) maailman kestäväan kehityksen huippukokous pidettiin vuonna 2002 Johannesburgissa. Kokouksessa valtiot sitoutuivat tekemään konkreettisia toimenpiteitä Riiossa määriteltyjen periaatteiden pohjalta ja edistämään kestäväan kehityksen kolmen ulottuvuuden; taloudellisen, sosiaalisen ja ympäristön integrointia päätöksenteossa (UN 2002: 14). Raportissa esitetään tavoitteina kehittää erityisiä toimintoja, työkaluja, poliittisia keinoja, mittareita ja seurantaa sekä arviointiperusteita ja jos mahdollista niin käyttää elinkaarianalyysiä ja kansallisia indikaattoreita, joilla edistystä voitaisiin mitata.

Nykyinen Kioton ilmastopimus on voimassa vuoteen 2012 saakka ja neuvottelut uudesta sopimuksesta ovat jo alkaneet. Kööpenhaminan kokouksessa vuonna 2009 on tarkoituksena sopia maailmanlaajuiset tavoitteet ja keinot ilmastomuutoksen hidastamiseksi. Tavoitteena on saada myös Kioton sopimuksen ulkopuolelle jääneet yhdysvallat, kehitysmaat, kuten Kiina ja Intia, mukaan sopimukseen.

2.3. Kestäväan kehityksen haasteet

Kestäväan kehityksen suurimpia haasteita ovat tällä hetkellä maapallon väkiluvun ja talouskasvun nopean kasvun ohella, kasvihuonekaasujen liiallisen kasvun aikaansaama ilmaston lämpeneminen ts. ilmastomuutos; nykyisten kestäväntömiön kulutus- ja tuotantotapojen muuttaminen sekä uusiutumattomien luonnonvarojen ylihyödyttäminen.

Kestävän kehityksen mittareita ja toimintatapoja on tähän mennessä kehitetty useita. Maailmanpankin pääekonomisti Herman Daly (1991) on esittänyt kolme ehtoa, jotka luonnon ja yhteiskunnan välisen materiaali- ja energiakierron tulisi täyttää, jotta ne olisivat kestäviä (Daly 1991, Hoffrénin 1994, 26 mukaan):

- (1) Uusiutuvien luonnonvarojen käytön vauhti ei saa ylittää näiden varojen luonnossa tapahtuvan uusiutumisen nopeutta.
- (2) Uusiutumattomien luonnonvarojen käytön vauhti ei saa ylittää sitä vauhtia, jolla korvaavia uusiutuvia luonnonvaroja kehitetään, ja
- (3) saastepäästöjen ja jätteiden määrän kasvu ei saa ylittää luonnon kykyä käsitellä ja vastaanottaa saasteita.

Hoffrénin (1999: 61) mukaan ongelmana on kestävän tason määrittely, jolloin Dalyn kolme edellä mainittua luonnonvarojen kestävän käytön ehtoa on mahdotonta soveltaa käytännössä.

Tällä hetkellä merkittävin ympäristöhaaste on maailmanlaajuinen ilmastonmuutos. Britannian hallituksen neuvonantaja Nicholas Stern arvioi ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia raportissaan vuonna 2006. Sternin mukaan ilmastonmuutos on suurin markkinahäiriö, mitä maailmantalous on koskaan kohdannut. Ilmastonmuutoksen ominaispiirteitä Sternin mukaan ovat:

1. Ilmastonmuutos on maailmanlaajuinen ulkoisvaikutus niin syiltä kuin seurauksiltaan. Vähittäinen ilmastonmuutos, joka johtuu kasvihuonekaasupäästöistä, on riippumaton siitä, missä päin maailmaa se tuotetaan.
2. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat jatkuvia ja ne kehittyvät ajan myötä. Kasvihuonekaasupäästöjen seuraukset koetaan nyt, mutta niiden vaikutukset jatkuvat kasvamistaan ajan myötä. Ilmastosysteemi on hidas reagoimaan kasvihuonekaasujen kasvuun ilmakehässä ja ympäristön, talouden ja sosiaalisen vastuun vaikutukset ympäristön muutokseen tapahtuvat viiveellä.
3. Tiedot ilmastonmuutoksen laajuudesta, ajoituksesta ja kustannuksista ovat epävarmoja.
4. Ilmastonmuutoksella on hyvin suurella todennäköisyydellä suuri vaikutus koko maailman talouteen, mikäli toimia ilmastonmuutoksen estämiseksi ei tehdä.

Sternin (2006: 24) mukaan ilmastonmuutosta voidaan torjua ja hillitä taloudellisin ja poliittisin keinoin. Stern edustaa uusklassisen taloustieteen suuntausta, jossa pyritään

tuomaan ulkoisvaikutukset markkinatalouden hintamekanismin piiriin. Stern (Mts. 309) pitää käyttökelpoisimpina poliittis-taloudellisina keinoina verotusta sekä julkista päästökauppaa, jolla voitaisiin luoda yhteinen hintasignaali. EU:n päästökauppajärjestelmää Stern luonnehtii oikeasuuntaiseksi ratkaisuksi, sillä se on joustava sen suhteen missä, miten ja milloin päästövähennyksiä tehdään mutta globaalien päästökauppajärjestelmän toteutuminen, edellyttäisi entistä vahvempaa kansainvälistä yhteistyötä (Mts. 450). Päästökaupan on katsottu olevan yksi keskeisimmistä keinoista saavuttaa kasvihuonekaasujen vähennystavoitteet (Luonnonvarat ja ympäristö 2006: 18).

Ilmastonmuutoksen suuruutta on analysoinut ja raportoinut riippumaton hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC:n (2007) neljännessä arvioinnissa todetaan ilmastonlämpenemisen jatkuvan edelleen voimakkaana, eikä merkittävää lämpenemisen hidastumista ole nähtävissä tulevina vuosikymmeninä. Raportin mukaan vuodesta 1850 lähtien mitatuista maapallon vuosilämpötiloista kahdestatoista lämpimimmistä vuodesta yksitoista on mitattu vuoden 1995 jälkeen. Ihmisten aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat lisääntyneet 70 prosenttia vuosien 1970–2004 aikana ja IPCC:n arvioiden mukaan kasvu näyttää jatkuvan nykyisten käytäntöjen pysyessä ennallaan. Suurimmat uhat liittyen maapallon lämpenemiseen koskevat meren pinnan nousua, äärimmäisten säätilojen vaihtelua ja niistä aiheutuvia hirmumyrskyjä ja tulvia sekä kiihtyvää lajien sukupuuttoon kuolemista.

EU:n päästökauppajärjestelmä, jolla pyritään kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen, käynnistyi vuonna 2005 EU:ssa. Ensimmäinen kausi 2005–2007 on juuri päättynyt ja uudelle kaudelle 2008–2012 on jäsenvaltioille jaettu päästöoikeudet. Toistaiseksi jäsenvaltiot ovat saaneet 80 prosenttia oikeuksista ilmaiseksi ja pienen osan valtiot ovat voineet huutokaupata keskenään. Ilmaisen jaon prosenttiosuus kuitenkin laskee vuosi vuodelta siten, että vuoteen 2020 mennessä oikeuksia ei jaeta enää lainkaan ilmaiseksi vaan kaikki oikeudet huutokaupataan. Samoin päästöjä on tarkoitus vähentää vuosittain yhteensä noin 20 prosenttia aina vuoteen 2020 mennessä. Päästökauppaa kohtaan esitetty kritiikki koskee päästöoikeuksien jakoperusteita, päästökauppa -mekanismin toiminnan läpinäkyvyyden puutetta sekä päästökaupan kattavuutta.

2.4. Ekotehokkuuden teoriapohja

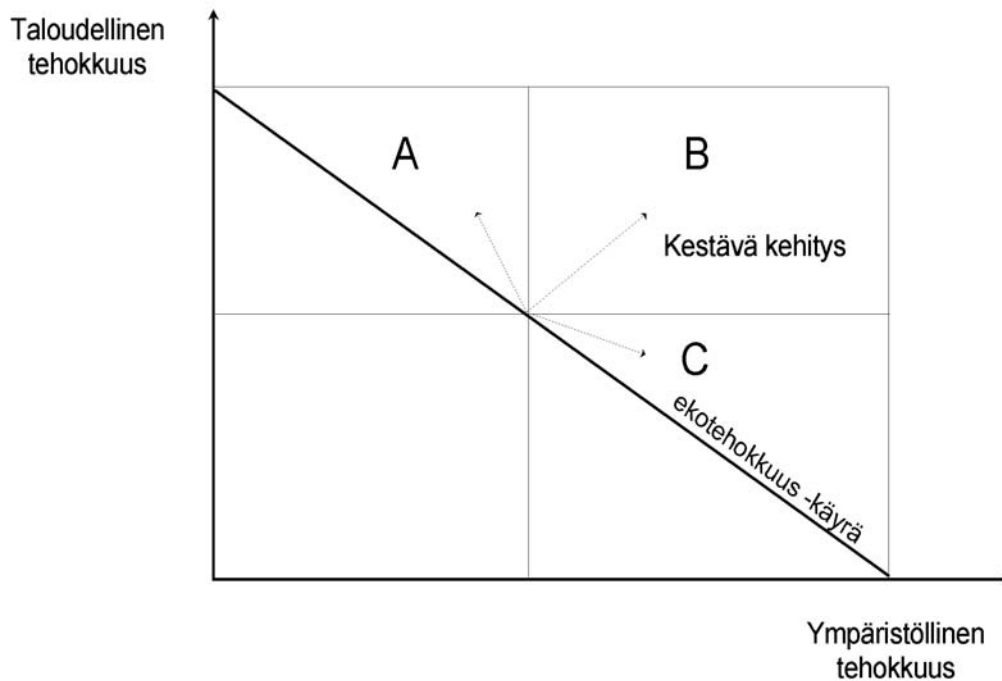
Ekotehokkuuden teoriapohja on monitieteinen ja siinä yhdistyvät eri tieteenalat uudeksi näkökulmaksi. Ekotehokkuuden taustalla ovat muun muassa ekologinen taloustiede, näkökulma talouden läpivirtauksesta, teollinen ekologia, materiaalivirtatilinpito, biologia sekä yhteiskunnallinen termodynamiikka. Hoffrénin (1999: 33) mukaan ekologisen taloustieteen perusajatus on talouden ja luonnon välisen vuorovaikutuksen yhteensovittaminen siten, että luonnon olemassaolo ei vaarannu. Ekologinen taloustiede alkoi kehittyä 1960–1970 -luvun vaihteessa pohjautuen muiden muassa Kenneth Bouldingin ajatuksiin luonnon ja talouden rajallisuudesta. Boulding (1971) havainnollisti tulevaisuuden talousjärjestelmää avaruusaluksen taloudeksi, jota väestönkasvun ja teollisuustuotannon kasvun myötä on maapallo alkanut muistuttaa (Boulding 1971 Hoffrénin 1999: 31 mukaan). Perinteistä toisen maailmansodanjälkeistä talousjärjestelmää Boulding kutsui 'lännenmiehen taloudeksi', jossa maksimoidaan tuotannontekijöiden, kuten raaka-aineiden läpivirtaus eikä näitä virtoja minimoida, kuten avaruusaluksen taloudesta täytyisi tehdä, jotta tavaroiden ja palveluiden tarjonta pysyisi vakaana (Mts. 32). Hoffrénin mukaan ekologisen talousteorian pyrkimys hyödykevirtojen vakaana pitämiseksi määrittävät ensimmäisinä kestävän kehityksen rajat.

Ekologisen taloustieteen pohjalta on kehittynyt näkemys läpivirtaustaloudesta, joka kuvaa materiaalivirtojen läpivirtausta talouden prosessien läpi. Talouden läpivirtausajattelu perustuu yhteiskunnallisen termodynamiikkaan ja etenkin kahteen termodynamiikan peruslakiin, joiden mukaan globaalin teollisen ekosysteemin materiaalikierto on suljettu, ts. materiaaleja ei voida luoda tai tuhota, vaan ainoastaan muuttaa energian avulla toisiin muotoihin (Hoffrén 1999: 65). Mitä enemmän teollisuus ottaa luonnonvarapankkia sisään prosessiin ja muuttaa niitä energian avulla toiseen muotoon, sitä enemmän aiheutuu ympäristöhaittoja. Saasteita ja jätteitä syntyy tuotantoprosesseissa ja kuluutukseen päätyvät hyödykkeetkin muuttuvat lopulta saasteiksi ja jätteiksi.

Teollisuuden materiaalivirtoja tarkastelee myös teollinen ekologia. Lifset ja Graedel (2002: 3–4) ovat koonneet teollisen ekologian määritelmiä ja heidän mukaansa teollinen ekologia näkee teollisuuden eräänlaisena ihmisen luomana ekosysteeminä ja soveltaa tarkastelussa luonnon ekosysteemien ilmiöitä. Teollinen ekologia tarkastelee teollisuutta luonnon ekosysteemien näkökulmasta keskittyen niissä tapahtuvaan yhtenäiseen jatkuvaan materiaalien ja energian kiertoon. Korhosen (2001: 257) mukaan luonnon ekosysteemien tavoin teolliset yritykset toimivat omassa ekosysteemissään, hyödyntäen toinen toistensa jäännösmateriaaleja sekä -energiaa ja samalla minimoivat neitseellisten mate-

riaali- ja energiapanosten määrän. Teollisen osasysteemin toimiessa saumattomasti vuorovaikutuksessa koko luonnon ekosysteemin kanssa, luonnon sietokyky pysyy tasapainossa (Korhonen 2002: 41). Samalla teollinen ekosysteemi tuottaa taloudellisia ja ympäristöllisiä hyötyjä, sillä raaka-aineiden ja energian käytön sekä jätteiden ja päästöjen vähentyessä, panosten hankintakustannukset sekä jätteistä ja päästöistä aiheutuvat kustannukset pienenevät.

Ekotehokkuus tarjoaa uudenlaisen näkökulman, joka pyrkii huomioimaan tuotannossa tapahtuvat materiaalivirrat taloudellisessa toiminnassa. Ekotehokkuus yhdistää taloudellisen tehokkuuden ja ympäristöllisen tehokkuuden. Ekotehokkuus alkoi näkyä tutkimuksen kentässä 90 -luvun alussa, jolloin Hoffrénin (1999: 76–77) mukaan Schaltegger ja Sturm (1990) määrittelivät ekotehokkuuden ensimmäisen kerran. Schaltegger et al. (1996) yhdistivät ekotehokkuuden kestävän kehityksen suuntaukseen kuvion 1. mukaisella tavalla (Helminen 1998: 40).



Kuvio 1. Ekotehokkuus -käyrä (Schaltegger et al. 1996 Helminen 1998: 40 mukaan).

Kuvion mukaan liikuttaessa ekotehokkuus–käyrällä suuntaan A tai mikäli käyrä siirtyy ja jäädään alueelle A, taloudellinen tehokkuus kasvaa ja ympäristöllinen tehokkuus pienenee. Jos taas liikutaan käyrällä suuntaan C tai käyrän siirtyessä ollaan alueella C, ympäristöllinen tehokkuus kasvaa taloudellisen tehokkuuden heikentyessä. Ekotehokkuus on kestävä kehityksen suuntainen, kun liikutaan kohti aluetta B, jolloin joko ympäristöllisen tehokkuuden pysyessä ennallaan saavutetaan suurempi taloudellinen tehokkuus tai taloudellisen tehokkuuden pysyessä ennallaan ympäristöllinen tehokkuus kasvaa. Tämä voidaan saavuttaa ainoastaan käyrän siirtymisellä, jolloin käyrää liikuttavan tekijän täytyy tulla mallin ulkopuolelta. Teknologinen kehitys on yksi suurimmista eksogeenisista tekijöistä, jotka vaikuttavat ekotehokkuutta parantavasti ja käyrä siirtyy. Helminen (1998: 39) pitää kuviota 1 ongelmallisena kestävä kehityksen näkökulmasta, sillä se ei ota huomioon kestävä kehityksen kolmatta, sosiaalista ulottuvuutta.

Maailman liike-elämän kestävä kehityksen neuvosto WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) on pitänyt ekotehokkuuden lähestymistapaa liike-elämän vastauksena kestävä kehityksen muodostamalle haasteelle. Business Council for Sustainable Development (BCSD, myöhemmin WBCSD) määritteli ekotehokkuudelle, nykyisin ehkä yleisimmin käytetyn määritelmän (WBCSD 2000: 4):

”Ekotehokkuus on saavutettavissa tuottamalla kilpailullisesti hinnoiteltuja tuotteita ja palveluita, jotka tyydyttävät ihmisten tarpeet ja takaavat elämänlaadun samalla vähentäen edistyksellisesti ekologiaa vaikutuksia ja raaka-aineintensiteettiä koko elinkaaren aikana vähintäänkin maapallon arvioidun sietokyvyn tasolle.”

WBCSD:n lisäksi ekotehokkuus käsitteestä ovat olleet kiinnostuneita mm. Euroopan Unioni, lukuisat teollisuusmaat, kuten Japani, USA ja Saksa, OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ja EEA (Euroopan ympäristökeskus). OECD:n mukaan ekotehokkuus ilmaisee tehokkuutta, jolla luonnonvaroja käytetään inhimillisten tarpeiden tyydyttämiseksi. Ekotehokkuus määritellään tuotoksen ja panoksen suhdeluvuksi, jossa tuotoksena käsitetään tuotteiden ja palveluiden arvoa, jonka yritys, sektori tai koko talous tuottaa ja jossa panos puolestaan kuvaa ympäristön kuormituksen summaa, jonka yritys, sektori tai koko talous on aiheuttanut. (OECD 1998: 7). Euroopan ympäristökeskus (EEA), joka käyttää ekotehokkuus–indikaattoreita mitataksaan kestävä kehityksen muutoksia makrotasolla, määrittelee ekotehokkuuden ”Suuremmaksi hyvinvoinniksi vähemmällä luonnonvarojen panoksella”, joka voidaan saavuttaa erottamalla materiaalin käyttö ja saastepäästöt taloudellisesta kehityksestä (EEA WBCSD 2000: 9 mukaan). Ekotehokkuudella pyritään siis tarkastelemaan, kuinka te-

hokkaasti luonnonvaroja käytetään taloudessa. Keskeiseksi kysymykseksi nousee, kuinka paljon arvonlisäystä talous pystyy tuottamaan tietyllä määrällä luonnonvaroja. Lisäksi EEA:n määritelmän mukaan taloudellinen kehitys [i. taloudellinen kasvu] tulisi saada aikaiseksi ilman materiaalipanosten käytön kasvua. Toisin sanoen talouden laadullisen kasvun myötä ekotehokkuus kasvaa.

3. EKOTEHOKKUUDEN MITTAAMINEN YRITYSTASOLLA

Ekotehokkuuden avulla taloudelliset toimijat pystyvät kvantitatiivisesti arvioimaan omaa edistystään kohti kestävästä kehityksestä. Ekotehokkuuden mittaamisesta yrityksen tasolla on olemassa ja kehitteillä yrityksen ekotehokkuus oppaita, kuten Aution ja Lettenmeierin (2002) Yrityksen ekoteho-opas. Opas perustuu Suomessa vuosina 2000–2002 toteutetun Factor X – ekotehokkaasti markkinoille -hankkeeseen, jossa oli mukana 14 Suomalaista yritystä. Suomen kansantalouden ekotehokkuutta on tutkinut Hoffrén (1999, 2001) sekä metsäteollisuuden osalta muun muassa Helminen (1998, 2000) sekä Pihlatie (2006) pro gradu -tutkielmassaan. Lisäksi Kauppa- ja teollisuusministeriön KTM (1998) ekotehokkuustyöryhmä on pohtinut ekotehokkuuden ja factor -ajattelun mahdollisuuksia tuotanto- ja kulutustapojen muuttamisessa. Maailman liike-elämän kestävä kehityksen neuvosto (WBCSD) on julkaissut kaksi ekotehokkuutta käsittelevää yrityksille suunnattua julkaisua, joista toisessa (WBCSD 2000b) on ohjeistettu yrityksiä tarvittavien indikaattoreiden valinnassa ja ekotehokkuuden mittaamisessa ja toisessa (WBCSD 2000a) on ekotehokkuuden määritelmiä sekä esimerkkejä ekotehokkuuden käytöstä. Lisäksi vuonna 2004 pidettiin Hollannissa Leidenissä ensimmäinen kansainvälinen konferenssi ekotehokkuuden määrittämiseksi, jonka pohjalta tieteellinen aikakauslehti *Journal of Industrial Ecology* (2005 9:4) julkaisi erikoisnumeron ekotehokkuudesta. IFEE – hankkeeseen liittyen on myös julkaistu erikoisnumero strategisesta ekotehokkuudesta tieteellisessä aikakauslehdessä *Progress in Industrial Ecology* (2007 4:1/2).

3.1. Ekotehokkuus käsitteenä

Huppelin ja Ishikawan (2007: 3) mielestä ekotehokkuusanalyysi [heidän tässä nimenomaisessa artikkelissa] on ensisijaisesti työkalu kestävyuden analysoinnissa. Heidän mukaan ekotehokkuus kertoo empiirisesti ympäristön laadun tai parannuksen suhteesta taloudelliseen hyvinvointiin, toisin sanoen, mikä tulisi talouden ja ympäristön vaihtosuhteen (tradeoff) olla, jos halutaan säilyttää tietty ympäristön laatu (Mts. 3). Myös Ehrenfeld (2005: 6) pitää ekotehokkuuden käytännöllisenä ja teoreettisena etuna sen kykyä yhdistää kaksi kestävä kehityksen komponenttia, ympäristö ja talous, mutta sen huonoutena sitä, että kolmas, sosiaalinen komponentti jää tarkastelun ulkopuolelle, jolloin ekotehokkuus ei ole täysin käyttökelpoinen kestävä kehityksen analysoinnissa.

Ekotehokkuus kuvaa, kuinka paljon parannusta elämän laadussa talous tuottaa suhteessa aiheutuneisiin ympäristövaikutuksiin. WBCSD (2000a) mukaan ekotehokkuustarkastelun päätavoitteena on saavuttaa lisää palvelua, toiminnallisuutta ja arvoa pienemmillä ympäristövaikutuksilla. Tällöin tavoitteena on auttaa yrityksiä kasvamaan laadullisesti vaikka ekotehokkuus on määrällinen menetelmä (Gabriel & Braune 2005: 20). Ekotehokkuusajattelu lähtee Hoffrénin (2001) mukaan liikkeelle siitä, että haitalliset ympäristövaikutukset voitaisiin ennalta ehkäistä vähentämällä materiaalien ja energian käyttöä. Monet tämänhetkiset ympäristöongelmat johtuvat tuotannossa tarvittavien materiaalien käytön suuruudesta, jolloin tavoitteeksi on ehdotettu tuotannon dematerialisaatiota, jotta ympäristövaikutukset pienenisivät (Dalström & Ekins 2005: 172). Usein ekotehokkuuteen liitetään termi *decoupling*, mikä tarkoittaa talouskasvun ja ympäristön laadun kehitysten irtikytkentää (ks. Huppés & Ishikawa 2005: 31; Dalström & Ekins 2005: 174). Yksinkertaistettuna talouskasvu tulisi saada aikaan ilman ympäristön laadun heikkenemistä.

Ekotehokkuus on väline, jolla yksittäinen yritys, sektori tai valtio voi yhdellä tavalla mitata kehitystään luonnonvarojen käytön ja ympäristövaikutusten vähentämisessä suhteessa tuotettuun hyötyyn. Tarkoituksena on asettaa ympäristöllinen tehokkuus keskeiseksi tavoitteeksi yrityksen taloudellisen tehokkuuden rinnalle. Hoffrén (2001) korostaa ekotehokkuuden toimivuuden kehittämisen ja parantamisen tärkeyttä, jotta ekotehokkuus tulisi osaksi talouden, sen sektoreiden ja yritysten jokapäiväistä toimintaa, joka lopulta johtaisi standardoinnin kautta ekotehokkuustavoitteiden asettamiseen jokapäiväisten toimintojen rinnalle.

Suomessa ekotehokkuuden ja factor -ajattelun mahdollisuuksia tuotanto- ja kulutustapojen muuttamisessa pohtinut Kauppa- ja teollisuusministeriön (1998: 43) työryhmä piti ekotehokkuutta hyvin käyttökelpoisena työvälineenä, jota tulisi tuoda laajasti esille kaikilla yhteiskunnan tasoilla, jotta se edistäisi kestäväen kehityksen tavoitteiden saavuttamista. Ekotehokkuuden ja factor -tarkastelun suurimpana hyötynä perinteiseen ympäristöpolitiikkaan nähden työryhmä mainitsi huomion ja tavoitteiden kohdentamista prosessien alkupäähän, raaka-aineiden ja luonnonvarojen käyttöön, jolloin siirrytään enemmän saasteita ja jätteitä ennalta ehkäisevään suuntaan (Mts. 39). Factor 10 ja Factor 4 -tavoitteet havainnollistavat työryhmän raportin mukaan erittäin hyvin tulevien haasteiden vakavuutta ja tarvittavien muutosten suuruusluokkaa sekä kestäväen kehityksen edellyttämiä radikaaleja muutostarpeita tuotanto- ja kulutustavoissa (Mts. 41, 43).

3.2. Ekotehokkuuden mittaaminen yritystasolla

WBCSD (2000b: 8) on määritellyt ekotehokkuuden mittaamiselle hyvin väljän viitekehysten, joka antaa suuntaa yritysten valitessa ekotehokkuuden mittaamiseen eri indikaattoreita. Ohjeistuksen tarkoituksena on myös koota yhteen ja selkeyttää monenkirjaiset määritelmät, periaatteet ja indikaattorit, joita ekotehokkuustarkasteluissa yleisesti esiintyy (Mts. 2). Yritysten täytyy valita ekotehokkuus -mittarit sen mukaan, mikä parhaiten sopii niiden toimintaan ja päätöksentekoprosessiin (Mts. 8). Yleisesti WBCSD (2000b: 8) määrittelee ekotehokkuuden mittaamisen yritystasolla seuraavasti:

$$\text{Ekotehokkuus} = \frac{\text{Tavaroiden tai palveluiden arvo}}{\text{Ympäristövaikutus}} \quad (1)$$

Osoittajan määrittelyssä tuotteiden tai palveluiden arvot voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, jotka ovat *volyymi* (esim. myytyjen tuotteiden lukumäärä), *massa* (esim. myytyjen tuotteiden massa tonneina) tai *hinta* (esim. liikevaihto tai arvonlisäys euro-määräisenä) (WBCSD 2000b: appendix 1). Nimittäjänä olevan ympäristövaikutusten arvioina voidaan käyttää, riippuen tarkastellaanko tavaroiden ja palveluiden valmistamista vai niiden käyttämistä. Tavaroiden ja palveluiden tuottamisessa voidaan käyttää ympäristövaikutusten arvioina *energian kulutusta* (GWh tai päästöjä), *materiaalien tai luonnonvarojen kulutusta* (raaka-aineiden, veden, maan, ruoan ym. kulutusta tonneina), *kasvihuonekaasupäästöjä* tai *epäsuotuisten tapahtumien määrää* (esim. onnettomuuksia, joiden johdosta myrkyllisiä aineita pääsee luontoon) (Mts. appendix 1). Ympäristövaikutusten arvioina liittyen tavaran tai palvelun kulutukseen voidaan käyttää muun muassa tuotteen käyttökertojen lukumäärä, pakkausjätteet, energian kulutus tai päästöt, joita aiheutuu käytön tai loppuhävityksen aikana. WBCSD (2000b: 2) perustelee edellä esitettyjen indikaattoreiden käytön sillä, että ne ovat yleisesti hyväksyttäviä ja helposti mitattavissa ja sovellettavissa yrityksessä kuin yrityksessä.

Vaikka ekotehokkuutta pidetään usein ensisijaisesti yritysjohton työkaluna, mahdollisuus ekotehokkaaseen toimintaa voi syntyä missä vain tuotteen elinkaaren (Life Cycle, LC) aikana (WBCSD 2000a). Ekinsin (2005: 13) mukaan yritykset voivat tehdä ekotehokkaita valintoja useasta erinäisestä syystä, joista ensisijaisena kannustimena ovat yrityksen saamat kustannushyödyt, joita syntyy esimerkiksi raaka-aineiden käytön vähentämisestä sekä jätemäärien pienenemisestä. Muita syitä ovat *kilpailuedut*, joita saadaan

ennakoimalla tulevia lainmuutoksia ja säädöksiä; uudet puhtaammat tuotteet ja tuotanto ovat *kuluttajille houkuttelevampia* ja avaavat mahdollisesti *uusia menestymismahdollisuuksia* sekä *yrittäjien maine* ympäristötoimijana parantaa rekrytointimahdollisuuksia, henkilöstön tyytyväisyyttä ja sijoittajien tukea (Ekins 2005: 13). Myös Gabriel & Braune (2005: 20) toteavat vastuullisen yritystoiminnan ohessa ekotehokkuusanalyysin käyttämistä puoltavat myös taloudelliset motiivit.

Yritystasolla ekotehokkuuden suurimmat käyttömahdollisuudet ovat Ehrenfeldin (2005: 7) mielestä tehtäessä päätöksiä eri prosessien tai tuotteiden välillä sekä arvioitaessa yrityksen tai organisaation suoriutumista kokonaisuutena. Van Berkel (2007: 534) pitää tärkeänä ekotehokkuusarvioinnin liittämistä tavanomaisen projektin jokaiseen arviointivaiheeseen, jolloin jokaisen vaiheen jälkeen pohdittaessa kyseisen projektin jatkumisesta, olisi ekotehokkuus päätöksenteossa mukana.

WBCSD (2000a) on yksilöinyt seitsemän konkreettista toimenpidettä, joilla yritykset voisivat parantaa ekotehokkuuttaan:

1. Vähentää materiaali-intensiteettiä
2. Vähentää energiaintensiteettiä
3. Vähentää myrkyllisten aineiden leviämistä
4. Tehostaa kierrätystä
5. Maksimoida uusiutuvien luonnonvarojen käyttöä
6. Lisätä tuotteiden kestävyyttä
7. Lisätä palveluintensiteettiä

Haasteena yrityksessä on löytää ne ekotehostumismahdollisuudet, jotka ovat kustannustehokkaita ja käyttökelpoisia kyseisen yrityksen toiminnan parantamisessa, kun huomioidaan prosessipanokset, prosessitekniikka sekä tuotteen ominaisuudet (Van Berkel 2007: 532). Hänen mukaansa ekotehostumismahdollisuudet ovat käyttökelpoisia vain jos ne poistavat tai minimoivat tietyn ongelman aiheuttajan oli kyse jätteiden, päästöjen, energian, veden tai materiaalinkäytön tai ongelmajätteiden synnyn ehkäisemisestä (Mts. 532). Vastaavasti ekotehostumismahdollisuudet ovat tehokkaita, jos niiden taloudelliset ja ympäristölliset hyödyt yhteenlaskettuna ylittävät ponnistelut ja riskit, joita yritys ottaa muuttaessa toimintatapojaan (Mts.532) Ekotehokkuus ei kuitenkaan johda automaattisesti kestävämpään kehitykseen, sillä vaikka suhteellinen tehokkuus kasvaisi, voivat toiminnan absoluuttiset ympäristövaikutukset kasvaa (WBCSD 2000a: 10).

Jotta ekotehokkuustarkastelulle voitaisiin kehittää analyyttinen viitekehys, täytyisi todelliset yhteydet talouden ja ympäristön välillä mallintaa tarkemmin. Kun menetelmät ovat kunnossa, lopulliseksi kysymykseksi jää kuinka ekotehokkuus voidaan sisällyttää käytännön päätöksentekoon. Ekotehokkuuden ominaisuuksien tarkempi määrittäminen sekä sen vahvuuksien, heikkouksien ja rajoitusten tunnistaminen täytyy tehdä selkeämmäksi. (Huppes & Ishikawa 2007.)

3.3. Yritysten käyttämät ekotehokkuusmittarit

Ekotehokkuuden käsite on omaksuttu mitä moninaisimpiin toimintoihin ja tarkasteluihin. Leidenin kansainvälisessä konferenssissa ekotehokkuuden mittaamisesta oli Gabrielin ja Braunen (2005: 19) mukaan esillä laaja kirjo erilaisia metodeja ja lähestymistapoja ekotehokkuustarkasteluun (ks. Ehrenfeld 2005, Huppes & Ishikawa 2005, Gabriel & Braune 2005). Aiemmin esitelty WBCSD ohjeistus ekotehokkuuden mittaamiseen mahdollisesti käytettävistä tuotoksista ja panoksista yritystasolla kertoo paljon yleisten määritelmien suuresta hajanaisuudesta, joka johtaa myös keskenään hyvinkin erilaisten menetelmien soveltamiseen. Vaikka määritelmien väljyys mahdollistaa joustavan ekotehokkuuden mittaamisen, voivat yritykset kokea juuri tästä syystä vaikeuksia ottaa ekotehokkuuden mittaaminen käyttöön. Tällöin mittarit jäävät helposti vaille käytännön sovelluksia.

Kuitenkin useat yritykset ovat ottaneet ekotehokkuuden mittaamisen muiden taloudellisten ja ympäristöllisten mittareiden rinnalle ja raportoivat vuosittain ekotehokkuuden kehittymisestä. Yritykset ovat useimmiten itse kehittäneet ekotehokkuusajatuksen pohjalta mittareita, joilla ne pyrkivät seuraamaan ja kehittämään omasta toiminnasta aiheuttuvia ympäristövaikutuksia. Seuraavassa muutama esimerkki eri yritysten ekotehokkuusindikaattoreiden käytöstä, joita Kauppa- ja teollisuusministeriön ekotehokkuustyöryhmä (1998: 20) on esimerkkeinä käyttänyt:

- Novo Nordisk on tanskalainen bioteknologia yritys, joka on kehittänyt ekotuotavuusindeksin (Eco-Productivity Index, EPI), joka ilmaisee yrityksen resurssien kokonaiskäytön. EPI -indeksi lasketaan yrityksen liikevaihdon ja resurssien käyttöä kuvaavien indeksilukujen suhdelukuna.

- Roche on sveitsiläinen lääkkeitä valmistava yritys, jolla on käytössään itse kehittämä ekotehokkuusmittari (Eco-Efficiency Rate, EER). EER lasketaan tuotannon myynnin arvon sekä ympäristön suojelukustannusten ja rahamääräistettyjen ympäristöhaittojen suhteena.
- Dow Europe on kehittänyt erillisen ekokompassin, jota käytetään uusien tuotinnovaatioiden arvioinnissa. Kompassi muodostuu kuudesta tavoitteesta, jotka on määritelty olemassa olevan tuotteen pohjalta. Uutta tuotetta verrataan tavoitteisiin ja annetaan jokaiselle kuudelle kohdalle oma arviolukunsa, tällöin uuden tuotteen muodostama pinta-ala kertoo ekotehokkuudesta suhteessa jo olemassa olevaan tuotteeseen.
- Nortel on kanadalainen tietoliikennetuotteita ja -järjestelmiä kehittävä yritys, joka on kehittänyt ympäristöindikaattorin (Environmental Performance Index, EPI), jolla arvioidaan toiminnan ympäristötavoitteiden kehittymistä. Neljään eri luokkaan mahtuu yhteensä 25 parametria, joiden pohjalta lasketaan luokittain painotettu indeksi.

Suomessa Helsingin pörssiin listautuneista yrityksistä M-real, joka on paperin ja kartongin tuottaja, käyttää ympäristövaikutustensa arvioinnissa kahta mittaria, kokonaisuhahtaa ja ekotehokkuutta. M-real määrittelee ekotehokkuuden yhtiön tuottaman lisäarvon suhteena yrityksen ympäristövaikutukseen, jossa lisäarvo määritellään yrityksen maksamien palkkojen ja voittojen summana ja ympäristövaikutukset yrityksen kokonaisuhahtana (M-real Oyj 2003). Lisäksi suomalainen pörssi-yhtiö Atria Yhtymä mittaa Suomen tuotantolaitosten osalta ekotehokkuutta viiden eri ympäristövaikutusta kuvaavan tekijän, sähkönkulutuksen, vedenkulutuksen, kaatopaikkajätteen, pakkausmateriaalien määrän ja jäteveden kuormituksen, välisenä suhteena yhtymän liikevaihtoon (Atria Yhtymä Oyj 2007).

3.4. Ekotehokkuustarkastelun vahvuudet ja heikkoudet

Ekotehokkuustarkastelu tarjoaa selkeän toiminnallisen strategian ja useita erilaisia indikaattoreita, jotka täydentävät kuvaa tarkasteltavan toiminnan kokonaiskestävyydestä (Hoffrén 2004). Ekotehokkuustarkastelun vahvuutena on sen toimintaperiaatteiden helppo ymmärrettävyys sekä mittaustavan läpinäkyvyys. Ekotehokkuuden määritelmät

ovat sopivan joustavia, jolloin tarkastelua voidaan soveltaa useisiin erilaisiin yrityksiin ja sektoreihin.

Ekotehokkuustarkastelu yhdistää taloudellisen ja ympäristöllisen ulottuvuuden yhdeksi mittariksi, joka kertoo selkeästi kuinka tehokkaasti luonnonvaroja käytetään, jotta tietty taloudellinen tuotos saadaan aikaiseksi. Yrityksiltä odotetaan yhä enemmän luonnonvarojen ja ympäristön huomioimista omassa arvioinnissa ja päätöksenteossa, jolloin ekotehokkuus tarjoaa tähän selkeän keinon seurata ympäristöllisten tavoitteiden saavuttamista. Seuraamalla pelkästään ympäristöllisiä indikaattoreita, jää yrityksen toiminnan arviointi helposti yksipuoliseksi, kun kytkeä taloudelliseen toimintaan puuttuu. Tällöin niitä on hyvin vaikea ottaa huomioon taloudellisessa päätöksenteossa. Mitä vähemmän yrityksen toiminnasta aiheutuu päästöjä ja jätteitä, sitä kestävämpää toiminta on. Sitä kuinka paljon päästöjen tulisi vähentyä, eivät perinteiset ympäristöindikaattorit määríttele. Yritykset ovat asettaneet omia tavoitteitaan päästöjen ja jätteiden vähentämiseksi, jolloin on mahdollista seurata omia ympäristötavoitteita. Laajempaa kytkeä näillä tavoitteilla ei yleensä ole. Ekotehokkuustarkastelussa voidaan ekotehokkuuden kehityksen määrä suhteuttaa esimerkiksi Factor -tavoitteisiin.

Perinteiset ympäristöindikaattorit keskittyvät usein toiminnasta aiheutuvien ympäristövaikutusten kehityksen seurantaan. Ekotehokkuustarkastelun vahvuutena on pyrkimys ennaltaehkäistä ympäristövaikutuksia vähentämällä materiaalien ja energian käyttöä, jotka tuotantoprosessiin tarvitaan, jolloin päästöjen ja jätteiden määrä vastaavasti pienee. Tällöin siirrytään perinteisestä end-of-pipe -ympäristönsuojelusta, joka on keskitynyt tuotannosta aiheutuvien päästöjen ja jätteiden vähentämiseen, uudenlaisiin ennaltaehkäiseviin tavoitteisiin. Ekotehokkuusanalyysi soveltuu juuri parhaiten prosessien sisäisen tehokkuuden arviointiin (Hoffrén 2004).

Ekotehokkuustarkastelun huomioiminen yritysten päätöksenteossa voi tuottaa luonnonvarojen käytön vähenemisen lisäksi suuriakin kustannushyötyjä ja kilpailuetuja. Yritykset, jotka ottavat huomioon luonnonvarojen riittävyyden ja kestävä käytön, ovat todennäköisesti tulevaisuudessa voittajia, kun luonnonvarat alkavat ehtyä ja niiden hinnat ennen ehtymistä nousevat. Tällöin ekotehokkaimmat yritykset hyötyvät eniten.

Ekotehokkuusmittareita on usein kritisoitu siitä, että ne ovat suhteellisia lukuja eivätkä huomioi materiaalien, energian ja ympäristöpäästöjen absoluuttisia määriä. Hoffrén ja Korhonen (2007: 15) katsovat ekotehokkuuden olevan suhteellinen luku, joka ei voi olla yleinen päämäärä kestäväyydelle, joten sillä sitä ei voida välttämättä saavuttaa absoluut-

tisia määrällisiä parannuksia. Talouden laajentuminen sekä kulutus- ja tuotantotapojen kestävä taso kumoavat helposti saavutetut ekotehokkuusparannukset. Tämä niin sanottu talouden rebound -efekti mitätöi ekotehostumisesta saavutetut hyödyt. Siten ekotehokkuusparannukset mikrotasolla eivät riitä parannuksiin makrotasolla (Huppel & Ishikawa 2007: 2). Kun kulutuksen ja tuotannon jatkuva kasvu mitätöi parannukset ja ympäristöhaittojen kokonaismäärä jatkaa kasvua.

Ekotehokkuustarkastelun heikkous kestävä kehityksen näkökulmasta on se, että tarkastelu jättää kestävä kehityksen kolmannen ulottuvuuden, sosiaalisen ulottuvuuden huomioimatta (ks. Brattebø 2005, Ehrenfeld 2005, Huppel & Ishikawa 2007). Jotta kaikki kolme ulottuvuutta voitaisiin ottaa huomioon kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti, täytyy sosiaalinen ulottuvuus huomioida erikseen arvioitaessa kehitystä kohti kestävämpää toimintaa.

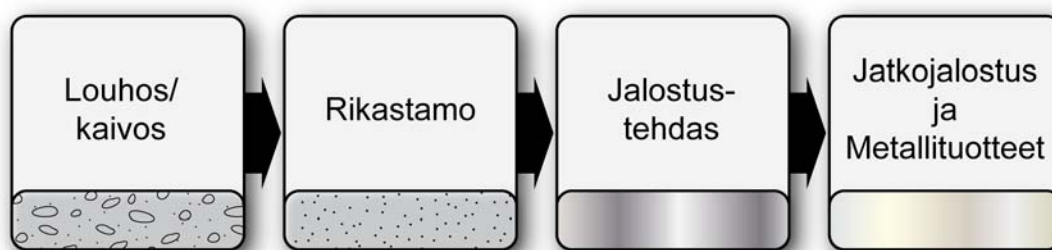
Ekotehokkuuden mittaamisen suurimpana käytännön haasteena on osoittajan ja nimittäjän valinta (Ehrenfeld 2005: 6; Huppel & Ishikawa 2007: 8). Osoittajan määrittelemisen haasteena on, mikä indikaattori ilmaisee parhaiten hyvinvointia, jonka talous tuottaa yhteiskunnan jäsenille. Esimerkiksi bruttokansantuotetta hyvinvoinnin indikaattorina on kritisoitu paljon siitä, että se ei todellisuudessa enää teollisuusmaissa kerro hyvinvoinnin määrää. Muita korvaavia indikaattoreita ovat esimerkiksi ISEW (Index of Sustainable Economic Welfare) -indeksi, joka lähtee liikkeelle ihmisten kulutuksesta ja heidän hyvinvointiaan lisäävien ja vähentävien tekijöiden ottamisesta huomioon (Hoffrén 2001) tai ympäristökorjattu bruttokansantuote EDP -indeksi, jossa bruttokansantuotteesta vähennetään ympäristömenot (Hoffrén 2005). Eri ekotehokkuustarkasteluissa nimittäjänä on käytetty materiaali- ja energiapanosten kokonaismäärää, ympäristönsuojelukuluja ja rahamääräistettyjen ympäristöhaittojen summaa tai eritavoin painotettuja ympäristöhaittoja ja niistä laskettua kokonaisindeksiä. Esimerkiksi mikäli tarkastelussa käytetään nimittäjänä ympäristöhaittoja, joudutaan valitsemaan mitä ympäristövaikutuksia tarkastelussa otetaan huomioon ja kuinka ne painotetaan laskettaessa kokonaisindeksiä (Ehrenfeld 2005: 7).

Taloudellisen tuotannon tulisi tapahtua maapallon kantokyvyn rajoissa. Ekotehokkuusindikaattoreissa tämä tavoite jää huomioitta (Ehrenfeld 2005: 7). Mikrotason ekotehokkuustarkastelun yhdistäminen makrotason ympäristötavoitteisiin ei ole Huppelin ja Ishikawan (2007: 2) mukaan suoraviivaista vaikka viime kädessä materiaalien ja energian käyttö sekä aiheutuvat ympäristöhaitat tapahtuvat mikrotasolla. Jotta makrotason ekotehokkuus, joka on kaikkien mikrotason toimintojen summa, saavutettaisiin, täytyisi yk-

sittäisillä toiminnoilla ja päätöksillä olla jonkinlaiset tavoitteet (Mts. 6) Ennen kuin pystymme määrittämään vaatimukset toiminnoille, täytyy ensin empiirisesti selvittää eri toimintojen kehityssuunnat sekä selvittää mikä on nykyisten toimintojemme ekotehokkuus, sen kehityssuunnat sekä vaihtoehdot, joilla ekotehokkuutta voitaisiin edelleen parantaa (Huppel & Ishikawa 2007: 2).

4. METALLIEN JALOSTUS SUOMESSA

Metalliteollisuus on tärkeä teollisuuden toimiala Suomen kansantaloudessa. Metallien jalostuksella tarkoitetaan metallien muuttamista metallimalmeista, malmirikasteista ja muista raaka-aineista metallijalosteiksi energian avulla. Metallijalosteet ovat edelleen metallituotteiden ja jatkojalostuksen raaka-ainetta. Metalliteollisuuden erittely metallien jalostusteollisuuden, jatkojalostusteollisuuden sekä metallituoteteollisuuden välillä ei ole aina yksiselitteinen (Seppälä, Koskela, Palperi & Melanen 2000: 11). Kuvassa 4 on pyritty hahmottamaan pelkistetysti metallien jalostuksen prosessia ja asemoitumista metalliteollisuuteen.



Kuvio 2. Metallien tuotannon vaiheet.

Seppälä et al. (2000: 41) ovat tutkineet metallien jalostuksen ympäristövaikutuksia Suomessa Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) toteuttamassa elinkaaritutkimuksessa (Life Cycle Assessment, LCA). Tutkimuksessa on tehty laajan selvitystyö ja niin sanottu inventaarioselvitys metallien jalostuksen elinkaaren aikaisesta ympäristökuormituksesta metallien raaka-ainetuotannossa vuosien 1998–2000 aikana. Tässä tutkielmassa on viitattu useaan otteeseen heidän elinkaaritutkimukseen, joka on laajuudessaan merkittävä selvitys Suomen metallien jalostuksen ympäristövaikutuksista. Metallituotteiden valmistus ja niiden käyttö on rajattu inventaarioselvityksen ulkopuolelle (Mts. 41).

4.1. Metallien jalostuksen kehitys

Suomen metalliteollisuuden kehittyminen on perustunut Suomen varsin rikkaaseen kallioperään, joka sisältää monenlaisia malmivarantoja. Suomen metallien jalostuksella on pitkä historia, joka on saanut alkunsa ensimmäisten kaivosten perustamisesta 1500 -

luvulla (Puustinen 2003). Aina 1900 -luvun alkuun saakka metallien jalostus perustui ruukkeihin ja rautaruukkeihin, joita oli Suomessa melko runsaasti (Mt.). Metallien jalostus oli Suomessa pitkään lähinnä kotimarkkinateollisuutta, joka hyödynsi pääosin kotimaisia kaivannaisia ja oli riippuvainen näiden tuotannosta (Hjerppe 1987: 89). Metallimalmien louhinta alkoi hiipua tultaessa 1900 -luvulle, jolloin esimerkiksi rautamalmi tuotiin pääosin Ruotsista (Puustinen 2003). Puustisen (2003) mukaan uudenlaisen kaivosteollisuuden aikakauden alkuna voidaan pitää vuotta 1908, jolloin Outokummun kupariesiintymä löytyi ja Outokummun kaivos perustettiin. Tästä huolimatta vielä 1940 -luvulla louhitun malmin määrä oli vielä melko vaatimatonta, mutta alkoi 1950–1960 luvulla löydettyjen uusien esiintymien vuoksi kasvaa voimakkaasti (Hjerppe 1987: 90). Hjerpeen (1987: 91) mukaan tyypillistä tuon ajan kaivosteollisuudelle oli louhia pieniäkin esiintymiä, jotka kuluivat pian loppuun. Tultaessa 1990-luvulle kotimaiset metalliset malmivarat alkoivat jälleen pienetä metalliteollisuuden tuotantoon nähden ja eräät tunnetut malmivarat kuluivat kokonaan loppuun (Puustinen 2003).

Tällä hetkellä Suomessa louhitaan sinkkiä (metallipitoisuus prosentteina 2.38), kuparia (0.81) ja kultaa (0.55) Pyhäsalmen sinkkikaivoksessa, nikkeliä (0.6) ja kuparia (0.22) Hituran kaivoksella sekä kromia (25.48) Keminmaalla Elijärvellä (Geologian tutkimuskeskus 2007; malmin metallipitoisuudet suluissa Puustinen 2003). Kaikki edellä mainitut esiintymät ovat suuria 1960 -luvun taitteessa perustettuja kaivoksia. Lisäksi kultaa (9.54 g/t) louhitaan Oriveden kultakaivoksella, joka on avattu vuonna 1990 ja Sodankylässä Pahtavaaran kaivoksella, joka on toiminut vuodesta 1996 lähtien ja jonka pitoisuus on 4 g/t (Geologian tutkimuskeskus 2007; pitoisuudet suluissa Puustinen 2003). Suomen kaivostoiminta on 2000-luvun puolen välin jälkeen jälleen kasvussa, kun Kittilän Suurikuusikossa avataan vuoden 2008 aikana kultakaivos (5.1 g/t), joka tulee olemaan Euroopan Unionin suurin (Mainio 2006) sekä Sotkamon Talvivaarassa Euroopan suurimman nikkeliäsiintymän louhinta on jo alkanut ja tulee arviolta tuottamaan lähes 3 prosenttia maailman nikkelistä (Nurmi 2008).

Suomen nykyaikaisen metallien jalostuksen alkuna voidaan pitää 1930 -luvulla Imatralle perustettua Outokumpu Oyj:n kuparitehdasta, joka oli aikanaan Euroopan suurin sekä nykyisin Ovako Oy Ab:lle kuluva Imatra Steelin rauta- ja terästehdasta (Seppälä et al. 2000: 11) Metallien perusteollisuus oli nopeimmin kasvava teollisuuden toimiala 1960-luvulla, jolloin Rautaruukki Oy perustettiin, ja Outokumpu Oy:n metallien jalostusta laajennettiin. Vaikka Suomessa ei enää ole merkittäviä rautamalmeihin perustuvia varantoja, arvellaan Puustisen (2003) mukaan metallien jatkojalostuksen jatkuvan maassa vielä pitkään ulkomaisen raaka-aineen ja kierrätyksen avulla, koska Suomen metalliteol-

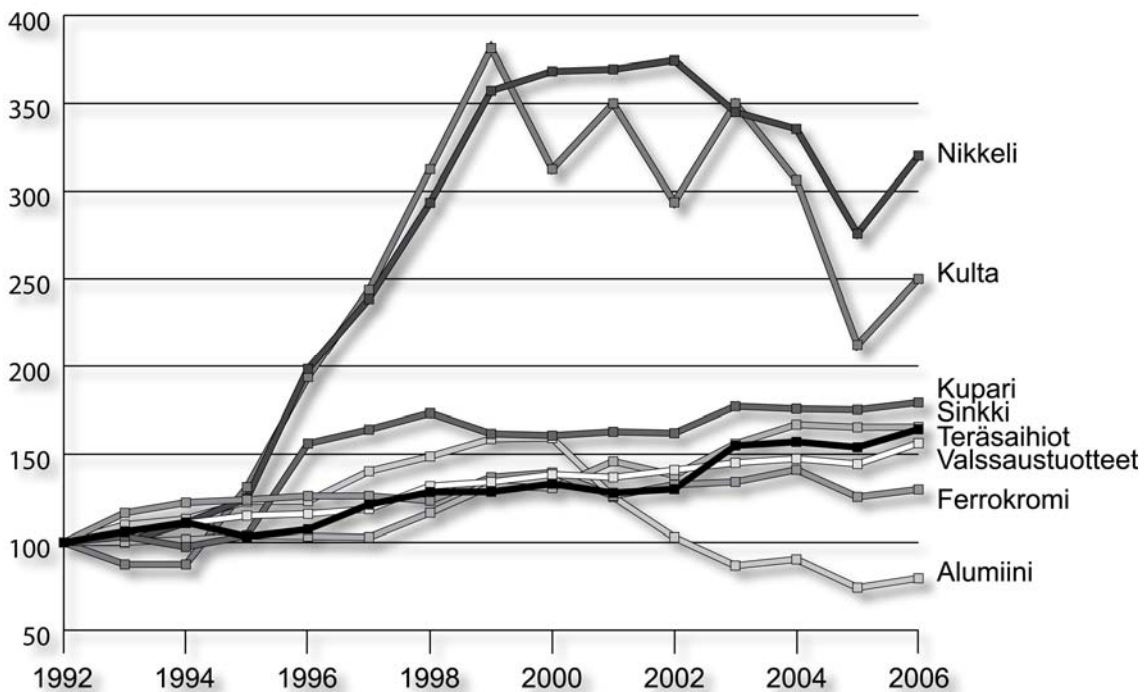
lisuuden prosessit ovat hyvin uudenaikaista ja kilpailukykyistä. Seppälä et al. (2000: 15) mukaan Suomen metallien jalostus on laadukasta ja vaativiin käyttötarkoituksiin erikoistuneiden teräslajien valmistusta. Suomessa valmistettavien metallien valmistusmäärien osuudet maailman tuotannosta ovat kuparilla noin 2 prosenttia, sinkillä 3 prosenttia, nikkelillä 4 prosenttia ja ruostumattomilla teräksillä 5 prosenttia (Koponen 2000 Seppälä et al. 2000: 14 mukaan).

Suomessa valmistetaan ja jalostetaan rautaa ja teräksiä, ferrokromia, ruostumattomia teräksiä, sinkkiä, kuparia ja sen seoksia, nikkeliä ja alumiinia. Näiden sivutuotteina syntyvät muun muassa kadmium, elohopea, koboltti, hopea, kulta, platinametallit ja seleeni, joista valmistetaan myyntituotteita päätuotteiden myynnin ohella (Seppälä, Koskela, Palperi & Melanen 2000: 11–12). Suomessa sinkin, kuparin ja nikkelin valmistus perustuu metallimalmien jalostukseen, alumiini valmistetaan kierrätysmetallista sekä rauta ja teräkset valmistetaan osaksi kierrätysmetallista ja osaksi metallimalmeista. Ruostumattoman teräksen valmistukseen käytetään kierrätysterästä ja ferrokromia, joka on sen tärkein ainesosa sekä lisäksi nikkeliä. Kuviossa 5 ovat suurimmat Suomessa toimivat metallinjalostusyrietykset sekä niiden tehtaot Suomessa.

Taulukko 1. Suomessa toimivat metallinjalostajat ja tehtaot sekä niiden tuotantomäärät ja henkilöstömäärät vuonna 2007.

Konserni/yhtiö	Tehdas	Metalli	tuotanto 1000 tonnia	Henkilöstö
Rautaruukki	Raahe	teräs	2545	2800
Outokumpu	Tornio	ruostumaton teräs ja ferrokromi	975	2170
Rautaruukki	Hämeenlinna	teräs	755	750
Ovako	Koverhar	teräs	601	340
Ovako	Imatra	teräs	273	695
Ovako	Dalsbruk	teräs		200
Luvata	Pori	kupari	58	608
Boliden	Kokkola	sinkki	305	620
Boliden	Harjavalta	kupari ja nikkeli	yht. 713	417
Kuusakoski	Heinola	alumiini, rauta, teräs, jalometalli ja muut	yht. 194	157

Metallijalosteiden tuotanto Suomessa on kasvanut jatkuvasti 1970 -luvulta lähtien voimakkaasti. Kaikista eniten on kasvanut nikkelin tuotanto, joka lähes 11-kertaistui vuodesta 1970 vuoteen 1998 mennessä (Seppälä et al. 2000: 14). Samassa ajassa ferrokromin tuotanto on 7-kertaistunut, kullan 8-kertaistunut, kuparin ja sinkin tuotanto 4-kertaistunut sekä terästen tuotanto 3-kertaistunut (Mts. 14). Lisäksi ruostumattomien terästen tuotanto on 1980 lähtien kasvanut 6-kertaiseksi vuoteen 1998 mennessä. Ruostumattoman teräksen ja ferrokromin tuotannon kasvu liittyvät toisiinsa, sillä ferrokromi on ruostumattoman teräksen tärkein ainesosa. Myös nikkeliä tarvitaan ruostumattoman teräksen lisäainekosana. Kuviossa 5 on Suomen metallien tuotantomäärien kehitys vuodesta 1992 lähtien vuoteen 2006 saakka.

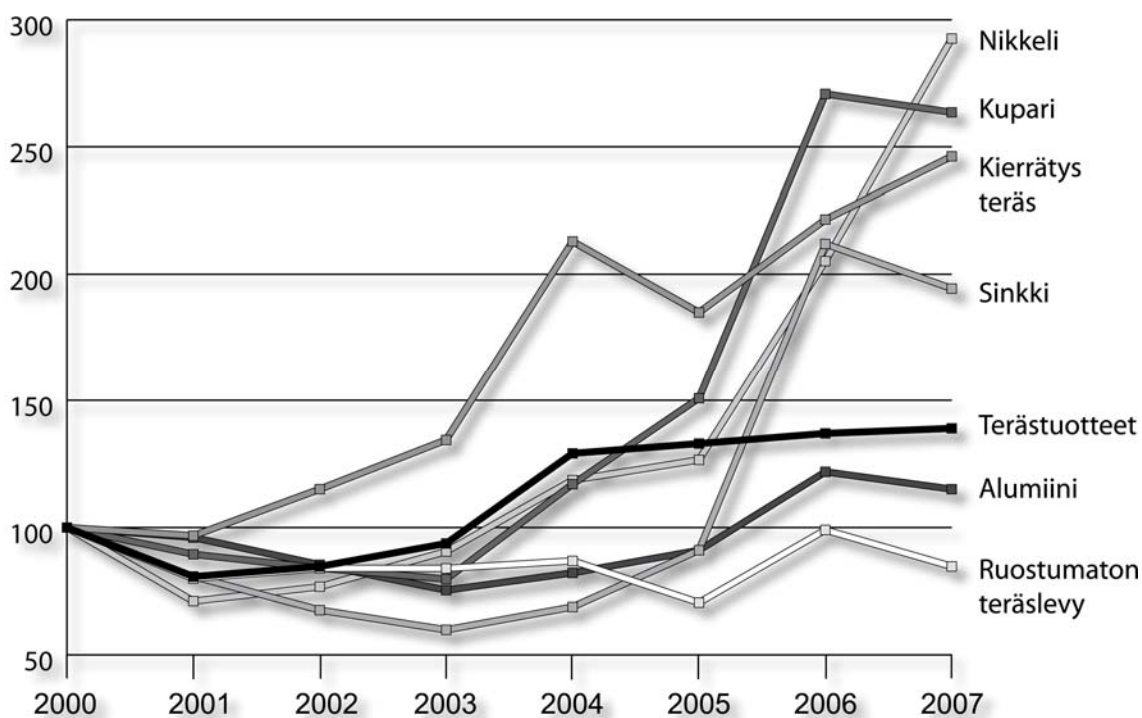


Kuvio 3. Nikkelin, kuparin, sinkin, teräksen ja raudan, ferrokromin ja alumiinin tonni-tuotannon kehitys 1992–2006 (1992=100) (teknologiateollisuus ry).

Vuodesta 1992 lähtien nikkelin tuotanto on kasvanut Suomessa rajusti ja vuonna 2006 tuotettiin kolminkertainen määrä nikkeliä vuoteen 1992 nähden. Samoin kullan tuotanto on kasvanut rajusti ollen kaksi ja puolikertainen vuoteen 1992 nähden. Suuret kasvulu-vut selittyvät yksinkertaisesti uusien nikkeli- ja kultakaivosten avaamisella Suomessa. Uusien kaivossuunnitelmien mukaan näiden tuotanto tulee kasvamaan edelleen Suo-messa. Kuparin, sinkin ja teräksen tuotanto on melko tasaisesti kasvanut 50 – 70 pro-

senttia viimeisten 14 vuoden aikana. Ainoastaan alumiinin tuotanto on ollut laskussa vuodesta 2000 lähtien.

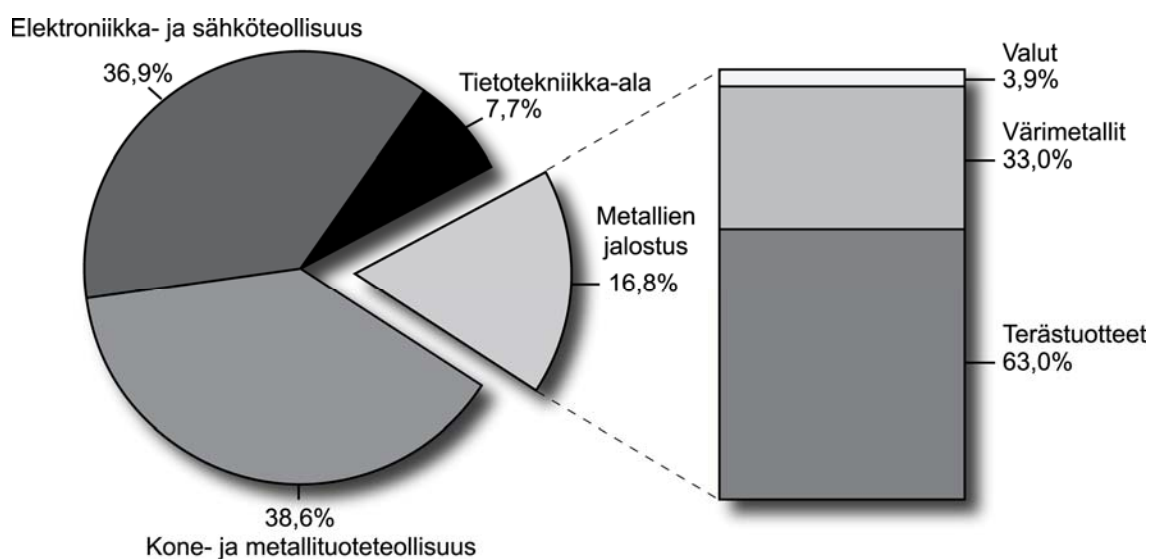
Metallien jalostus on toimialana kansainvälisesti kilpailtu ja metalleilla käydään kauppaa muun muassa Lontoon metallipörssissä. Kuviossa 6 on metallien maailmanmarkkinahintojen kehitys. Standardi-terästuotteiden perushinnat ovat kuukauden lopun keskiarvoja ja värimetallien hinnat ovat Lontoon metallipörssin euromääräisiä hintoja.



Kuvio 4 Metallien hintojen kehitys 2000–2007 (2000=100) (Teknologiateollisuus ry 2007).

Metallien hinnat ovat kasvaneet voimakkaasti 2000 -luvulla. Eniten on kasvanut nikkelin hinta, joka on melkein 3-kertaistunut viimeisten kahdeksan vuoden aikana. Kuparin ja kierrätys teräksen hinnat ovat myös nousseet vahvasti, noin 2,5-kertaistuneet viimeisten kahdeksan vuoden aikana. Terästuotteiden hinnat ovat nousseet tasaisesti vuodesta 2000 noin 40 prosenttia. Ruostumattoman teräslevyn hinnat ovat puolestaan noin 20 prosenttia pienemmät kuin vuonna 2000.

Metallien jalostus on tärkeä teollisuuden toimiala Suomessa. Teknologiateollisuus ry:n (2007: 6-7) uusimman vuosikirjan mukaan koko teknologiateollisuus työllisti vuonna 2006 noin 270 000 ihmistä, josta metallien jalostuksen osuus oli noin 6 prosenttia ja teknologiateollisuuden osuus Suomen viennistä oli lähes 60 prosenttia, josta metallien jalostuksen osuus oli 21 prosenttia. Vuonna 2006 teknologiateollisuuden osuus koko teollisuudesta liikevaihdolla mitattuna oli 52 prosenttia, josta metallien jalostuksen osuus oli 17 prosenttia (Mts. 6-7). Kuviossa 7 on metallien jalostuksen asemoituminen teknologiateollisuuteen liikevaihdolla mitattuna.



Kuvio 5 Teknologiateollisuuden päätoimialat vuonna 2006 liikevaihdon mukaan (Teknologiateollisuus ry 2007).

Teknologiateollisuus koostuu neljästä päätoimialasta: elektroniikka- ja sähköteollisuudesta, kone- ja metallituoteteollisuudesta, metallien jalostuksesta sekä tietotekniikka-alasta. Suurin toimiala on kone- ja metallituoteteollisuus. Metallien jalostuksessa selvästi suurin alatoimiala on terästuotteiden valmistus, jonka osuus oli kaksi kolmasosaa metallien jalostuksesta vuonna 2006.

4.2. Materiaalien ja energian kulutus

Metallien valmistuksessa neitseellisten luonnonvarojen kulutus on suurinta metallien alkutuotannossa, joka kattaa metallimalmien kaivamisen ja niiden rikastuksen. Kaivannaisteollisuudessa syntyy suuria kivi- ja maa-ainessiirtoja, joita sanotaan piilovirroiksi esim. (ks. Seppälä et al. 2000: 14; Hoffrén 2005: 26). Piilovirrat kattavat siis sen osan maa-ainesta, joka täytyy siirtää, jotta päästään käsiksi metallimalmeihin ja joka ei mene eteenpäin rikastusprosessiin. Suurimmat materiaalivirrat liittyvät Seppälän et al. (2000: 41) selvityksessä kuparin, nikkelin ja sinkin alkutuotantoon, sillä niiden louhinnassa syntyy suuret määrät sivukiveä ja rikastamisesta rikastushiekkaa, johtuen kuparin, nikkelin ja sinkin metallimalmien metallipitoisuuksien pienuudesta. Suomen kaivostoiminnan ainevirtoja on selvitetty Oulun Yliopiston Thule Instituutin tekemässä Suomen kaivostoiminnan ainevirtojen kehitystä ja nykytilaa koskevassa hankkeessa, jonka tuloksena saatiin Suomen kaivostoiminnan ainetaseet vuosilta 1990–2003, joita on sittemmin päivitetty vuoteen 2006 saakka. Suomen metallikaivosten hyötysuhdeprosentti eli tuotettujen rikasteiden määrän suhde louhinnan määrään on vuodesta 1990 lähtien yli kaksinkertaistunut ollen vuoden 2006 lopussa 22 prosenttia (Härmä, Dahl & Mäenpää 2005: 17). Eli kaikesta louhitusta metallimalmista saadaan rikastetta 22 prosenttia. Lisäksi määriteltiin sivuvirtakertoimet eli sivuvirran kokonaismäärän suhde tuotettuun rikasteeseen, pieneni metallikaivoksilla 8,1:stä 3,6 vuosien 1990 ja 2006 aikana (Härmä, Dahl & Mäenpää 2005: 18). Eli vuonna 2006 tuotetuista rikasteista syntyi puolet vähemmän sivukiveä vuoteen 1990 verrattuna. Sivukivi- ja rikastushiekkamääriin vaikuttavat ratkaisevasti metallimalmien metallipitoisuudet (Seppälä et al. 2000: 41).

Metalleja voidaan valmistaa neitseellisten luonnonvarojen lisäksi kierrätysmetalleista. Haikka (2007) on tehnyt mittavan selvityksen teräksen kokonaisvarannosta, teräsvirroista sekä kierrätyksestä Suomessa, Metallinjalostajat ry:n toteuttamassa tutkimuksessa *Teräs Suomen kansantaloudessa*. Metallien kierrätys on lisääntynyt viime vuosina voimakkaasti. Haikan (2007: 39) tekemän selvityksen mukaan Suomen teräksen kokonaiskierrätysaste eli kierrätetyn metallin suhde saatavilla oleviin kierrätysmetalleihin on Suomessa noin 90 prosenttia. Selvityksen mukaan (Mts. 33) lopputuotekierrätysaste on 81 prosenttia eli kuinka suuri osuus metallituotteista kierrätetään, ja kierrätysmateriaalien osuus tuotannosta on 42 prosenttia. Vuonna 2005 maailmalla tuotettiin 1140 miljoonaa tonnia terästä, jonka valmistuksessa käytettiin 470 miljoonaa tonnia kierrätysterästä eli käytöstä poistettuja teräksestä valmistettuja tuotteita, jonka johdosta teräs on maailman kierrätetyin materiaali. Haikan (2007: 2) mukaan Suomen terästeollisuus käyttää

tällä hetkellä kaiken Suomessa tarjolla olevan kierrätysteräksen, jonka lisäksi Suomeen tuodaan kierrätysmetalleja.

Metallien valmistuksessa käytettävät metallimalmit ovat uusiutumattomia luonnonvaroja. Metallit eivät kuitenkaan jalostuksen jälkeen häviä käytöstä pois vaan kiertävät yhteiskunnassa (Seppälä et al. 2000). Kotimaisesta terästuotannosta arviolta 70 prosenttia menee suoraan tai välillisesti ulkomaille (Haikka 2007: 2). Kierrätysmetallien käyttö ei kuitenkaan korvaa kokonaan primäärimetallien tuotantoa, sillä metallien kasvavaa kysyntää ei pystytä pelkillä kierrätysmetalleilla tyydyttämään (Seppälä et al. 2000: 93). Kierrätystä on käsitelty liitteessä 4 enemmän.

Kansainvälisen ympäristö- ja kehitysintituutin (International Institute for Environment and Development, IIED) hankkeen kaivostoiminnasta, mineraaleista ja kestävästä kehityksestä (Mining, Minerals and Sustainable Development, MMSD) raportissa, on esitetty (Taulukko 2.) arvioita maailman mineraalivarantojen riittävydestä (MMSD 2002, 78–79).

Taulukko 2. Maailman tunnettujen mineraalivarantojen riittävyys vuosina sekä tuotannon kasvuvauhti (MMSD 2002, 78–79).

Tunnetut varannot	Primäärituotannon kasvu (%) ja varannon riittävyys vuosina			Tuotannon keskimääräinen vuosikasvu (%)
	0 %	2 %	5 %	1975–1999(%)
Kivihiili	216	84	49	1,1
Raakaöljy	44	31	23	0,8
Luonnon kaasu	64	41	29	2,9
Alumiini	202	81	48	2,9
Kupari	28	22	18	3,4
Rauta	132	65	41	0,5
Lyijy	21	17	14	-0,5
Nikkeli	41	30	22	1,6
Hopea	17	15	13	3
Tina	37	28	21	-0,5
Sinkki	25	20	16	1,9
Uraani	nykykulutuksella riittää n. 50 vuodeksi*			

* Geologian tutkimuskeskus

Taulukosta 2 nähdään kuinka nopeasti metallien tuotannon kasvu tulee vaikuttamaan tunnettujen varantojen riittävyyteen. Suurimman osan yllä olevassa taulukossa olevien mineraalien kulutuksen ei ainakaan lähitulevaisuudessa odoteta pienenevän vaan lähinnä päinvastoin kiihtyvän. Mikäli suuria, uusia ja merkittäviä varantoja ei löydetä, voidaan taulukon mukaan varautua keskimmäisen skenaarion mukaan siihen, että esimerkiksi rautamalmivarannot ehtyvät 65 vuodessa ja sinkki-, nikkeli- ja kuparivarannot 20–30 vuodessa. Usein kuitenkin luotetaan siihen, että uusia varantoja aina vaan löytyy ja uusien teknologioiden avulla varannot riittävät pitempään. Mutta mikäli tuotantoa ei saada ekotehostettua ja absoluuttista metallimineraalien kulutusta alennettua, uhkaa tunnettujen malmivarantojen ehtyminen keskipitkällä aikavälillä metallien jalostuksen sekä koko talouden toimintaa.

Seppälä et al. (2000: 93) mukaan malmivarantojen riittävyys ei kuitenkaan ole ongelma, sillä metallien hintojen kohotessa tulevat aiemmin kannattamattomatkin esiintymät kannattaviksi ja kaivostoiminta on kannattavaa käynnistää. Suuntana malmivarantojen hyödyntämisessä on siirtyminen kohti metallipitoisuuksiltaan pienempien malmivarantojen hyödyntämiseen, joka aiheuttaa yhä suurempia piilokivi-, sivukivi- ja rikastushiekkavirtoja sekä ympäristöhaittoja. Myös malmivarantojen hyödyntämisteknologioiden löytymiselle asetetaan suuria toiveita (Mts. 93).

Metallien jalostukseen tarvitaan huomattava määrä energiaa, johtuen muun muassa metallien korkeista sulamislämpötiloista. Osa jalostuksessa tarvittavasta energiasta syntyy metallien jalostusprosesseissa ja osan kulutettavasta energiasta tehdas saa ostamalla sähköä. Metallien jalostus on hyvin riippuvainen ostosähköstä. Jalostuksen sähkön kulutus Suomen koko sähkönkulutuksesta vuonna 2005 oli noin 6 prosenttia ja osuus koko teollisuuden käyttämästä sähköstä oli noin 12 prosenttia (Energiatilasto 2006).

Metallien jalostuksen käyttämällä tuotantoteknologialla ja raaka-aineiden valinnalla on merkitystä tarvittavaan energian määrään sekä siihen kuinka paljon tehdas ostaa sähköä. Esimerkiksi kierrätysteräksestä jalostetun metallin tuottamiseen käytetään sähköuuneja, joiden sähkönkulutus on suuri. Malmipohjaisessa metallintuotannossa käytetään raaka-aineena kalkkikiveä, rautarikastetta ja kivihiiltä, jotka sisältävät jo itsessään runsaasti energiaa ja palaessaan tuottavat energiaa, jota tuotannossa hyödynnetään (Haikka 2008). Yleisesti ottaen metallien kierrätys kuitenkin vähentää huomattavasti metallien jalostuksen aikaista energian kulutusta (Luonnonvarat ja ympäristö 2006: 31). Kuviossa 6 on havainnollistettu Tilastokeskuksen virallisten tietoaineistojen pohjalta metallien jalos-

tuksen kuluttaman energian ja sähkön määrä sekä vertailun vuoksi tuotannon ja materiaalien kulutuksen kehitykset vuosien 1992–2006 aikana.

Vuosi	Sähkön kulutus	Tuotanto	Energian kulutus	Materiaalien kulutus
1992	100	100	100	100
1994	110	110	105	105
1996	115	115	105	100
1998	130	130	120	110
2000	140	140	125	110
2002	145	145	125	110
2004	165	155	135	120
2006	170	160	140	125

Kuvio 6. Metallien jalostuksen sähkön, energian ja materiaalien kulutuksen sekä tuotannon kehitys 1992–2006 (1992=100).

Kuviosta 6 voidaan nähdä, että sähkön kulutus kasvaa samassa suhteessa tuotannon kasvun kanssa. Energian kulutus ja materiaalien kulutus eivät ole kasvaneet yhtä paljon kuin tuotanto. Tästä voidaan päätellä, että tuotantoprosessien materiaalien ja energian käytön tehokkuus on kasvanut vuosien 1992–2006 aikana.

Seppälän et al. (2000: 92) mukaan tulevaisuudessa metallien jalostusteollisuuden energiankulutus tulee kasvamaan vaikka jalosteiden energian ominaiskulutukset eli energian kulutus tuotettua metallitonnia kohtaan ovat laskeneet. Syynä tähän on viime vuosina tapahtunut metallien jalostuksen tuotannon kasvu ja korkealle jalostettujen metallituotteiden määrän kasvu (Mts. 92). Vaikka metallijalostajat voivat vaikuttaa ostosähkön tuottamiin päästöihin vain rajallisesti, voidaan jalostusprosessin energiatehokkuutta kuitenkin parantaa tehostamalla prosessikaasujen hyväksikäyttöä tehtaan omassa sähkön tuotannossa. Seppälä et al. (2000: 92) kuitenkin arvioivat metallien jalostusteollisuuden

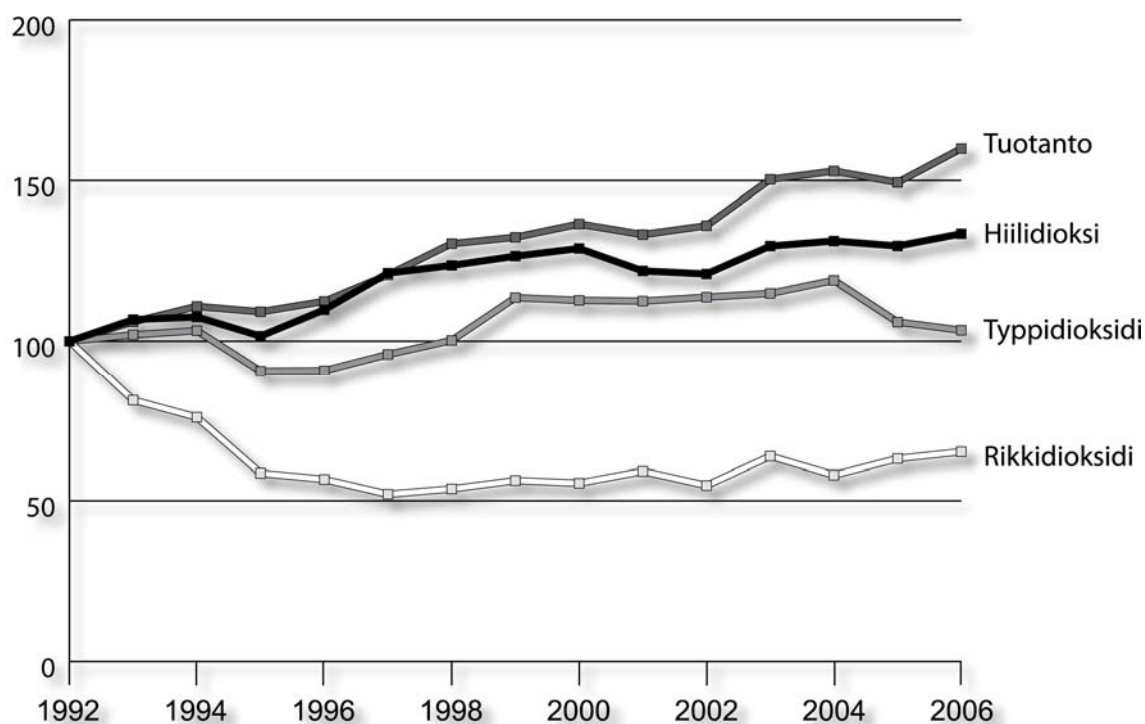
suurimpien energiansäästötoimenpiteiden olleen jo tehty, joten lähivuosina ei ole odotettavissa suuria energiantehokkuusparannuksia ja ostosähkön osuus säilyy metallien jalostuksessa suurena.

4.3. Metallien jalostuksen ympäristövaikutukset

Suurin osa koko metalliteollisuuden päästöistä ja ympäristövaikutuksista syntyvät metallien jalostuksessa (Luonnonvarat ja ympäristö 2006: 31). Metallimalmien louhinnan ja prosessoinnin aikaisten ympäristövaikutusten suuruuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Ensiksi ympäristövaikutusten suuruuteen vaikuttavat metallimalmien metallipitoisuudet, sillä siirryttäessä prosessoimaan metallipitoisuuksiltaan pienempiä esiintymiä, energian kulutus kasvaa ja sen seurauksena kasvihuonekaasupäästöt kasvavat. Toiseksi ympäristövaikutusten suuruuteen vaikuttaa prosesseissa käytettävän sähkön tuotantotapa eli onko sähkön tuotannossa käytetty esimerkiksi fossiilisia polttoaineita (Norgate, Jahanshahi & Rankin 2007: 841). Muita vaikuttavia tekijöitä ovat prosesseissa käytettävät polttoainetyypit, materiaalien kuljetustapa sekä valittu prosessiteknologia (Mts. 844).

Seppälän et al. (2000) tutkimuksen mukaan Suomessa toimivien eri metallinjalostajien ympäristövaikutukset vaihtelevat keskenään suuresti. Metallien tuotannossa muodostuu päästöjä, joita ovat erilaiset kiintoaineet, nesteet ja kaasut, joita aiheutuu joko suorasti metallimalmien louhinnasta ja prosessoinnista sekä epäsuorastisuorasti raaka-aineiden kulutuksen yhteydessä (Norgate et al. 2007: 847). Kaivannaisten metallimalmit rikastetaan rikastamoissa, jonka jälkeen ne muunnetaan erilaisten vaiheiden kuten kemiallisten menetelmien avulla raakametalleiksi (Mts. 842). Lisäksi metallien jalostuksessa tarvitaan erilaisia seosaineita, vettä sekä polttoaineita. Norgate et al. (2007: 847) mielestä metallien tuotannon prosesseja tulisi arvioida tuotteen koko elinkaaren osalta, jotta prosesseista saataisiin todellinen ympäristöllinen kuva.

Metallien jalostuksessa suurimmat päästöt ilmaan ovat hiilidioksidi, rikkidioksidi, typen oksidit, pöly ja metallit sekä vastaavasti suurimmat päästöt vesistöihin ovat metallipäästöjä (Seppälä et al. 2000: 97–101). Kuviossa 7 ovat metallien jalostuksen hiilidioksidin (CO₂), rikkidioksidin (SO₂) ja typpidioksidin (NO₂) päästöjen kehitys sekä vertailun vuoksi tuotannon kehitys vuodesta 1990 vuoteen 2006 saakka.

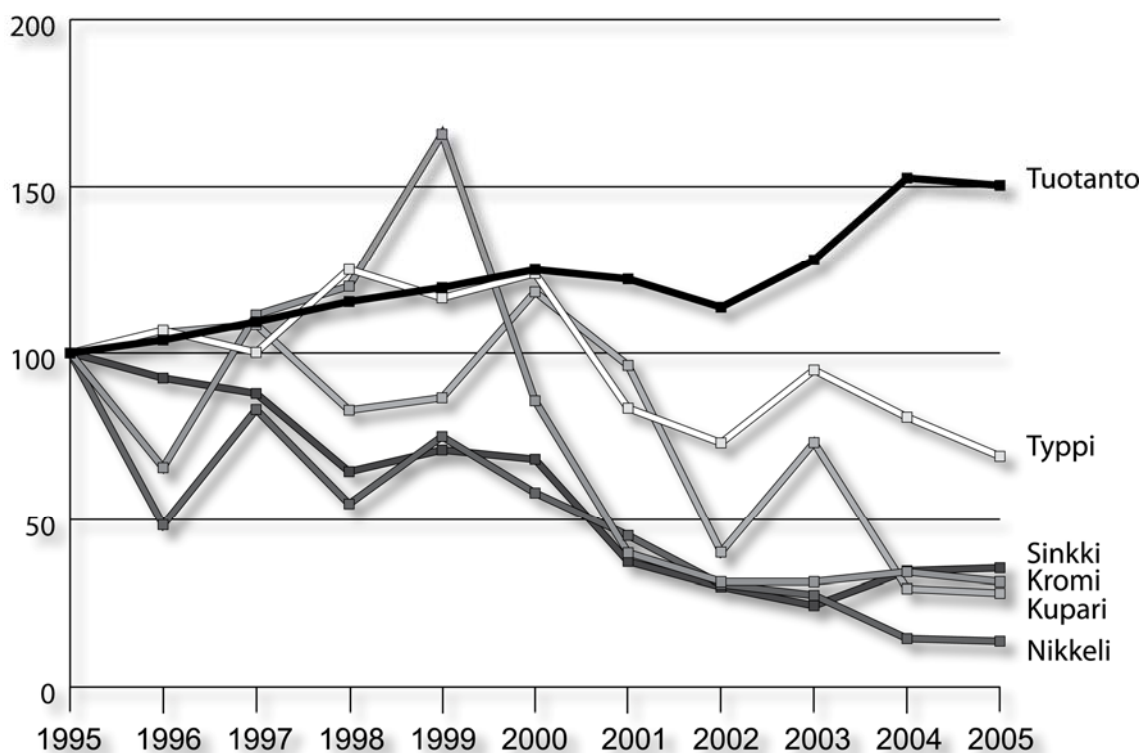


Kuvio 7. Metallien jalostuksen CO₂, SO₂ ja NO₂ päästöjen sekä tuotannon kehitys 1992–2006 (1992=100).

Metallien jalostuksen hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet vuosien 1992–2006 aikana noin 30 prosenttia. Typpidioksidipäästöjen määrä on säilynyt suunnilleen ennallaan ja rikkidioksidipäästöt ovat pienentyneet noin puoleen. Kuvioista 7 voidaan myös nähdä, että tuotannon kasvaessa myös hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet mutta tehostumista hiilidioksidipäästöjen suhteen on tapahtunut. Metallien tuotanto on kasvanut noin 60 prosenttia ja hiilidioksidi päästöt noin puolet tästä. Suurin hiilidioksidin aiheuttaja Suomen metallien jalostusteollisuudesta on malmipohjaisen teräksen tuotanto, jonka osuus koko metallien jalostusteollisuuden elinkaarenaikaisista hiilidioksidipäästöistä oli vuonna 1997 noin 70 prosenttia (Seppälä et al. 2000: 97).

Vaikka Suomen koko metalliteollisuuden hiilidioksidin ominaispäästöt ovat kansainvälisessä vertailussa keskitasoa, on hiilidioksidipäästöjen vähentäminen keskeinen tavoite, sillä metallien jalostuksesta aiheutuu merkittävät hiilidioksidipäästöt (Seppälä et al. 2000: 97). Metallien jalostuksen hiilidioksidipäästöt koko Suomen hiilidioksidipäästöistä on arviolta 13 prosenttia, rikkidioksidipäästöt noin 14 prosenttia ja typpidioksidipäästöt 2,3 prosenttia sekä hiukkaspäästöt noin 9 prosenttia Suomen päästöistä (Energiatilas-

to 2006: 143–146). Kuviossa 8 on esitetty metallien jalostuksesta aiheutuvat päästöt vesistöihin, jotka koostuvat pääosin metallipäästöistä.



Kuvio 8. Vesistöihin pääsevien metallipäästöjen kehitys vuosina 1995–2005 (1995=100) (luonnonvarat ja ympäristö 2006: 31).

Metallin jalostuksen päästöt vesistöihin ovat pienentyneet huomattavasti vuodesta 1995 vuoteen 2005 saakka. Metallien tuotanto on kasvanut vastaavana ajanjaksona noin 50 prosenttia, typpipäästöt ovat pienentyneet noin 35 prosenttia ja metallien päästöt vesistöihin pienentyneet noin 70–90 prosenttia. Vuonna 1999 kromipäästöt ovat äkillisesti hypähtäneet mutta laskeneet tämän jälkeen voimakkaasti. Kymmenen vuoden aikana on onnistuttu pienentämään vesistöjen kuormitusta.

Vaikka Suomen tämänhetkinen ympäristönsuojelu metalliteollisuudessa on hyvällä tasolla, täytyy energiankäytön, jätteiden ja pölyn vähennyksien sekä hiilidioksidi-, rikki-dioksidi-, typenoksidi- ja metallipäästöjen pienemisen jatkua tulevaisuudessa. Ekotehokkuusparannukset ovat mahdollisia vähentämällä energian kulutusta, lisäämällä prosessien tehokkuutta ja lisäämällä metallien uudelleen käyttöä ja kierrätystä. (Seppälä et al. 2002: 74). Seppälän et al. (2002: 74) pitävät kuitenkin parhaana keinona lisätä pitkän

aikavälin ekotehokkuutta, vähentämällä metallien kulutusta kehittämällä ja paremmin hyödyntämällä niiden ominaisuuksia sekä lisäämällä metallisten lopputuotteiden elinikää (Mts. 74).

5. METALLIEN JALOSTUKSEN EKOTEHOKKUUS 2000 – 2006

5.1. Käytetty tietoaineisto

Tutkimuksen empiirinen osuus kattaa metalliteollisuuden metallien jalostusvaiheen ekotehokkuustarkastelun. Suurin osa metallien tuotannossa tarvittavasta energiasta ja materiaalipanoksista käytetään metallimalmien prosessoinnissa ja jalostusvaiheissa, joten ekotehokkuustarkastelun soveltaminen toimialaan on sopivaa.

Aineistona on kuuden Suomen suurimpiin metallijalostajiin kuuluvan tehtaan tilastotiedot vuosilta 2000–2006 sekä vertailuindeksinä Suomen metalliteollisuussektorin tiedot. Useimmat suomalaiset metallinjalostajat kuuluvat monikansallisiin konserneihin, jolloin konsernitason tiedoissa on mukana myös muissa maissa tapahtuva metallinjalostus. Koska tutkimus käsittelee Suomessa tapahtuvaa metallien jalostusta, on analyysi rajattu toimipaikkatasolle eli tehdastasolle, jolloin mukana on ainoastaan Suomessa tapahtuva jalostus. Lisäksi toimialan yrityksissä on tapahtunut perustavanlaatuisia rakenteellisia muutoksia, jolloin koko konsernitason tietojen käyttö (vaikka konsernissa olisi vain Suomessa tapahtuvaa jalostusta), on huonon vertailukelpoisuuden vuoksi ongelmallista. Tehdaskohtaisten tietojen käyttäminen antaa tarkemman kuvan ekotehokkuuden kehityksestä, kun tarkasteluun vaikuttavat tehtaan käyttämän materiaalien ja energian kulutuksen tehokkuus.

Suurin osa tutkimuksessa käytetyistä tiedoista on kerätty suoraan tehtailta, sillä toimipaikkakohtaisia tietoja, etenkin materiaalipanoksista ei juuri ole yritysten raporteista saatavissa. Tietojen kerääminen toteutettiin syksyn 2007 ja talven 2007/2008 aikana. Yritysten yritysvastuu- tai ympäristövastuuraportit ovat kehittyneet viimeisten viiden vuoden aikana huomattavasti ja useimmat raportit sisältävät niin sanotun ekotaseen tai erillisen läpivirtauskaavan, josta käy ilmi tuotantoon otettujen materiaalien ja energian määrät sekä tuotettujen materiaalien, päästöjen ja jätteiden määrät. Esimerkiksi Outokummun ja Rautaruukin raporteissa on ilmoitettu tuotannossa tarvittavien materiaalipanosten määrät vuosilta 2004–2005 alkaen, mikä mahdollistaa kehityksen seurannan tältä ajalta mutta aikaperiodi on analyysin tekemiseen hyvin lyhyt. Tiedot on ilmoitettu yleensä konsernitasolla, eikä yksittäisten tehtaiden käyttämiä materiaalipanoksia ole eritelty, mikä tekee tarkastelun rajaamisesta Suomen tasolle haasteellisen. Rautaruukin Raahen ja Hämeenlinnan tehtailla on omat hyvät ja kattavat ympäristöraportit. Tehdaskohtaisten ympäristöraporttien, joissa olisi mukana ekotase tai kattava läpivirtauskaavio

yleistyminen olisi suotavaa. Sektoritason tiedot on kerätty Tilastokeskuksen virallisista tilastoista sekä teknologiateollisuus ry:n vuosikirjasta. Aineisto on rajattu ajanjaksolle 2000 – 2006, sillä kaikilta tarkasteltavilta tehtailta ei ole saatavissa kaikkia tietoja ennen vuotta 2000. Tutkimuksessa ei tarkemmin nimetä eikä eritellä tehtaita johtuen toimijoiden pienestä määrästä, jolloin liiketoiminnasta voitaisiin eritellä salaiseksi luokiteltavia tietoja. Tämä oli yritysten ehto tilastotietojen luovuttamiseksi tutkimuksen käyttöön.

5.2. Käytetyt ekotehokkuusmittarit

Tutkimuksessa käytetyt ekotehokkuusmittarit perustuvat OECD:n ekotehokkuuden määritelmälle. OECD määrittelee ekotehokkuuden taloudellisesta toiminnasta aiheutuvien hyötyjen eli tuotoksen ja taloudelliseen toimintaan käytettyjen panosten väliseksi suhdeluvuksi. Tutkimuksessa tuotoksena käytetään tarkastelun tehtaiden ja sektorin liikevaihtoa ja arvonnäystä, joka saadaan vähentämällä liikevaihdosta tuotannossa käytettävät ostopanokset eli ostetut materiaalit ja palvelut sekä ympäristökorjattua arvonnäystä. Panoksina ovat tuotannossa käytettävät materiaali- ja energiapanokset. Vuotta 2000 käytetään perusvuotena eli kaikki indikaattorit saavat vuonna 2000 arvon 100. Ekotehokkuudet ovat suhdelukuja ja kuvaavat kehitystä vuoteen 2000 nähden. Tutkimuksessa käytettävät mittarit (2) – (7) ovat:

$$\text{Ekotehokkuus 1} = \frac{\text{Liikevaihto}}{\text{Materiaalien käyttö}} \quad (2)$$

$$\text{Ekotehokkuus 2} = \frac{\text{Liikevaihto}}{\text{Energian käyttö}} \quad (3)$$

$$\text{Ekotehokkuus 3} = \frac{\text{Arvonnäys}}{\text{Materiaalien käyttö}} \quad (4)$$

$$\text{Ekotehokkuus 4} = \frac{\text{Arvonnäys}}{\text{Energian käyttö}} \quad (5)$$

$$\text{Ekotehokkuus 5} = \frac{\text{Arvonnäys - ympäristövaikutukset}}{\text{Materiaalien käyttö}} \quad (6)$$

$$\text{Ekotehokkuus 6} = \frac{\text{Arvonnäys - ympäristövaikutukset}}{\text{Energian käyttö}} \quad (7)$$

Kuten luvussa 3.4 on todettu, tuotetun hyvinvoinnin eli taloudellisesta toiminnasta aikaansaatuja hyötyjen määrittäminen ei ole yksiselitteistä. Edellä mainittuja taloudellisia tuotoksia käytetään kuvaamaan tehtaiden luomaa hyvinvointia yhteiskunnalle. Hyvinvointia pienentävät taloudellisesta toiminnasta aiheutuvat saasteet ja päästöt. Suomessa liikenne- ja viestintäministeriö on arvioinut tieliikenteen ilmanpäästöjen rahamääräiset arvot päästölajeittain, joita Tiehallinto käyttää ja soveltaa eri suunnittelutilanteissa sekä tienpidon hankkeiden vaikutusarvioinneissa (Tiehallinto 2005). Pakokaasupäästöjen yksikköarvot kuvaavat aineellisia ja aineettomia taloudellisia menetyksiä, joita seuraa pakokaasujen aiheuttamista terveys- ja luontovaikutuksista sekä ilmastonmuutoksesta. Suurimmat painoarvot ovat päästöillä, jotka aiheuttavat terveysvaikutuksia (esim. sydän- ja hengityselinsairauksia ja syöpiä) sekä edistävät ilmastonmuutosta (Tervonen, Ristikartano & Penttinen 2005). Tiedot päästöjä aiheuttavista kustannuseurauksista on koottu suomalaisista selvityksistä ja kansainvälisistä tutkimustuloksista (ks. tarkemmin Tervonen et al. 2005). Tutkimuksessa tuotoksena käytettävä ympäristökorjattu arvonlisäys lasketaan vähentämällä sektorin ja tehtaiden arvonlisäyksestä niiden aiheuttamat päästöt, jotka on kerrottu päästökustannusten yksikköarvoilla. Tutkimuksessa käytetään taulukossa 3 esitettyjä päästökustannusten euromääräisiä yksikköarvoja.

Taulukko 3. Tieliikenteen päästökustannusten yksikköarvot (Tervonen et al. 2005).

Yhdiste	euroa/tonni
Rikkidioksidi (SO _x)	8 760
Typen oksidit (NO _x)	773
Hiukkaset (PM)	109 000
Hiilidioksidi (CO ₂)	33,8
Hiilivedyt (HC)	70,2
Hiilimonoksidi (CO)	16,4

Käyttämällä edellä mainittuja päästökustannuksia, tarkoituksena on havainnollistaa päästöjen kustannusvaikutuksia, jotka alentavat yhteiskunnan jäsenien hyvinvointia. Ilmanpäästöt ovat ulkoisvaikutuksia, jotka tulisi sisältyä arvioihin taloudellisen toiminnan hyvinvointivaikutuksista. Päästökustannusten yksikköarvot ovat jo käytössä ja

muodostavat pohjan arvioitaessa päästöjen vaikutuksia tieliikenteen suunnittelussa ja siten niitä voidaan pitää luotettavina.

Tutkimuksessa lasketaan ekotehokkuusmittareiden lisäksi kaksi fyysistä panos-tuotomittaria, jotta ekotehokkuuden kehitystä voitaisiin selittää ja tarkastella laajemmin. Nämä mittarit (8) ja (9) ovat tuotannossa tarvittavien materiaali- ja energiapanosten käyttösuhteessa tuotannon määrään eli materiaalitehokkuus ja energiatehokkuus:

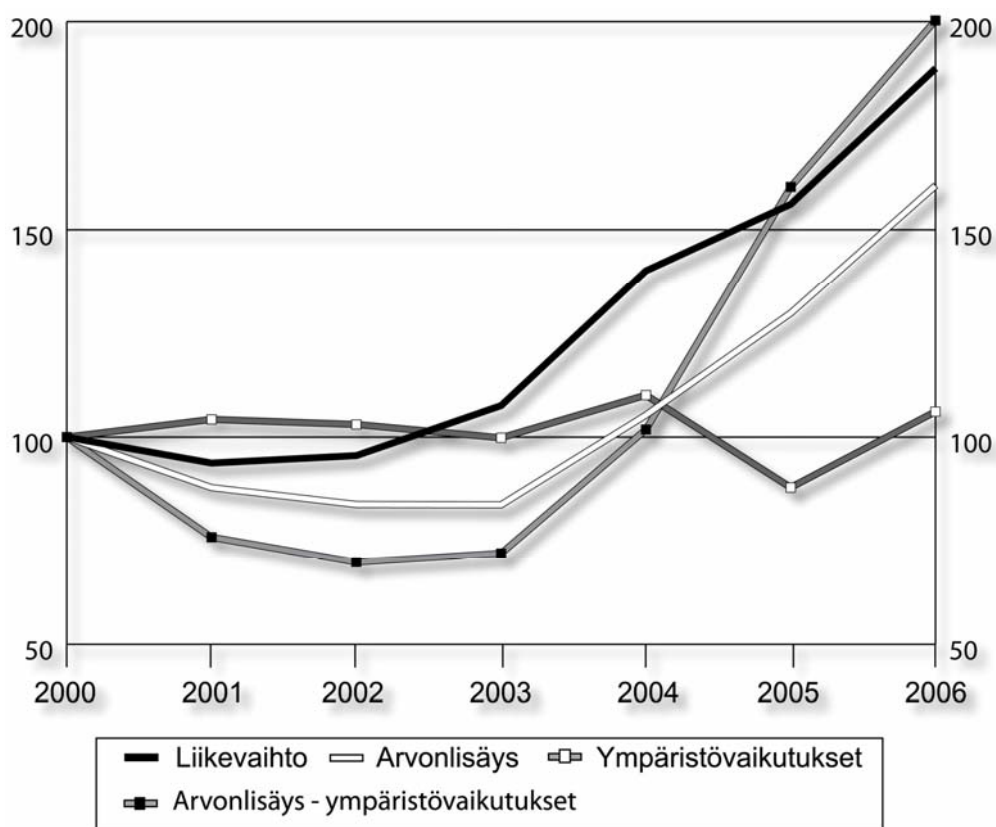
$$\text{Materiaalitehokkuus} = \frac{\text{Tuotanto}}{\text{Materiaalien käyttö}} \quad (8)$$

$$\text{Energiatehokkuus} = \frac{\text{Tuotanto}}{\text{Energian käyttö}} \quad (9)$$

Materiaali- ja energiatehokkuuden laskeminen antavat tehtaiden ja sektorin toiminnasta hieman laajemman kuvan, kuin pelkästään käyttämällä ekotehokkuuslukuja. Nämä, fyysiset panos-tuotos -mittarit kertovat konkreettisemmin itse tuotantoprosessin tehokkuudesta ja siitä, kuinka paljon luonnonvaroja on tarvittu tietyn suuruisen tuotannon aikaansaamiseksi. Myös materiaali- ja energiatehostuminen ovat avainasemassa tulevaisuuden haasteiden, kuten esimerkiksi ilmastonmuutoksen ja kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemisessä sekä luonnonvarojen kulutuksen vähentämisessä.

5.3. Metallien jalostuksen sektorin tuotosten ja panosten kehitys 2000 – 2006

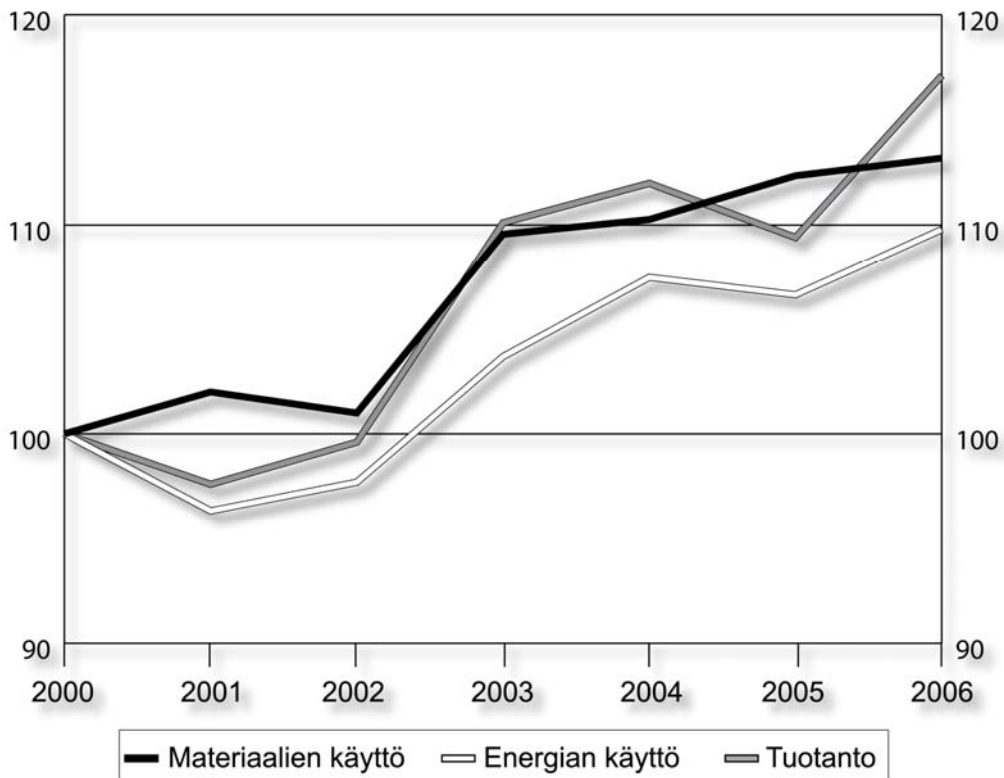
Tarkasteltaessa sektorin ekotehokkuuden mittaamisessa käytettyjä panos-tuotos indikaattoreita tarkemmin voidaan paremmin ymmärtää, mitkä tekijät vaikuttavat ekotehokkuusmittareihin. Kuviossa 9 on sektorin tuotosta kuvaavat tuotokset sekä ympäristövaikutusten kehitys tarkasteluperiodilla.



Kuvio 9. Sektorin tuotosten sekä ympäristövaikutusten kehitys 2000 – 2006 (2000=100).

Tarkastelukautena sektorin liikevaihto on kasvanut noin 89 prosenttia, arvonlisäys noin 60 prosenttia ja ympäristövaikutuksilla korjattu arvonlisäys 100 prosenttia. Euromääräiset ilmanpäästöt ovat kasvaneet tarkasteluperiodilla noin 6 prosenttia. Koska euromääräiset ilmanpäästöt ovat kasvaneet suhteessa vähemmän kuin arvonlisäys, on ympäristövaikutuksilla korjattu arvonlisäys noussut voimakkaasti. Toisin sanoen tuotannosta on aiheutunut suhteessa enemmän hyvinvointia kuin hyvinvointia alentavia ilmanpäästöjä.

Kuviossa 10 tarkastellaan sektorin panosten sekä tuotannon kehitystä tarkasteluperiodilla



Kuvio 10. Sektorin panosten ja kokonaistuotannon kehitys 2000 – 2006 (2000=100).

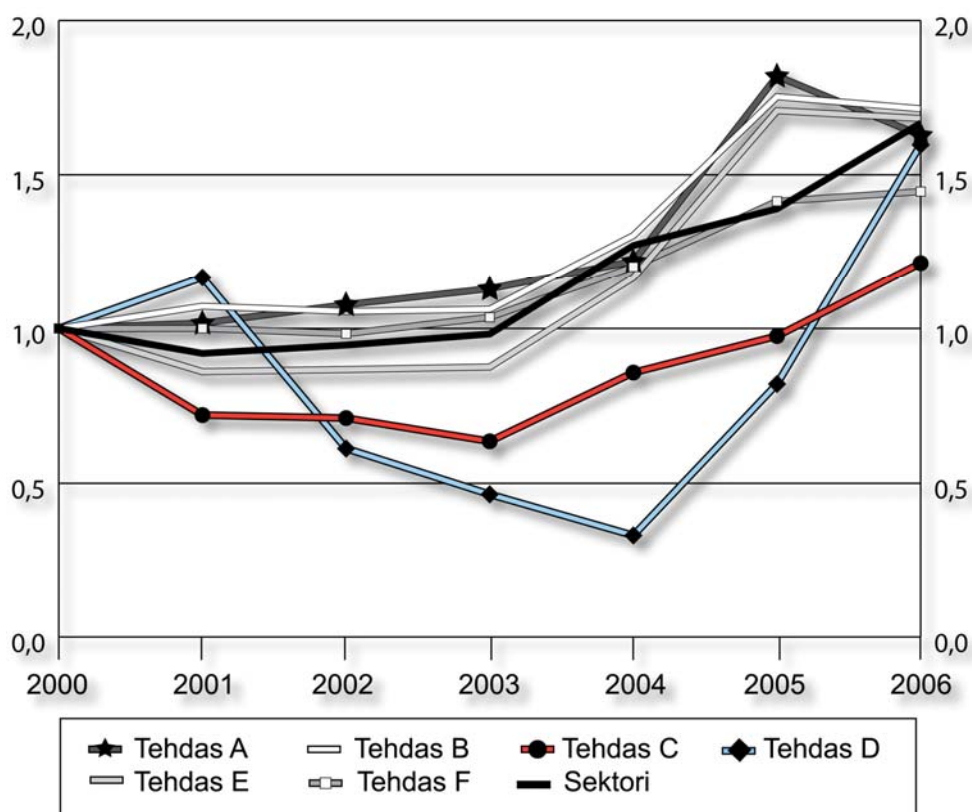
Kuviosta 10 nähdään, että materiaalien käyttö on kasvanut noin 13 prosenttia ja energian käyttö noin 10 prosenttia tarkasteluperiodilla. Sektorin kokonaistuotanto puolestaan on kasvanut tarkasteluperiodilla noin 17 prosenttia. Tästä voidaan päätellä, että tuotanto on tehostunut suhteessa tuotannossa käytettyyn energiaan ja materiaalien määrään. Eli tuotannon kasvu on aikaansaatu pienemmillä energia- ja materiaalipanoksilla.

Sektoritason liikevaihto ja arvonlisäykset ovat kasvaneet tarkasteluperiodilla huomattavasti enemmän kuin energian ja materiaalien käyttö. Vuosien 2000–2006 aikana tuotoksen kasvu on aikaan saatu panosten pienemmällä kasvulla eli metallien jalostuksessa on tarkasteluperiodilla saatu enemmän taloudellista kasvua pienemmällä luonnonvarojen käytöllä. Kun tarkastellaan tuotannon kasvua suhteessa liikevaihdon kasvuun, on tuotannosta saatava kate kasvanut. Karkeasti voidaan sanoa, että on tapahtunut laadullista kehitystä, jolloin on tuotettu esimerkiksi pidemmälle jalostettuja tuotteita, joista saadaan

parempi markkinahinta. Tällöin liikevaihto ei ole kasvanut pelkästään tuotannon määrän lisääntymisen seurauksena.

5.4. Metallien jalostuksen ekotehokkuus 2000 – 2006

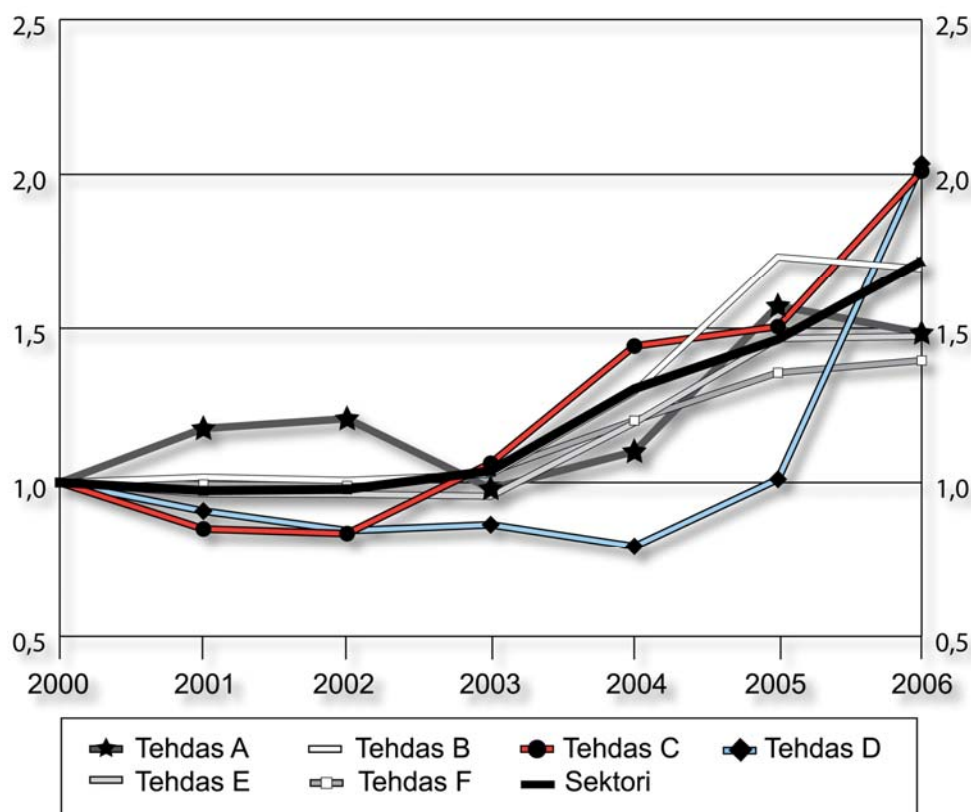
Seuraavissa kappaleissa esitetään metallien jalostuksen sektori- ja tehdaskohtaiset ekotehokkuudet käyttämällä aiemmin määriteltyjä mittareita (2) – (7) sekä sektori- ja tehdaskohtaiset materiaali- ja energiatehokkuudet. Kuviossa 11 on esitetty liikevaihdon kehitys suhteessa materiaalien käytön kehitykseen.



Kuvio 11. Sektorin ja tehtaiden liikevaihdon kehitys suhteessa materiaalien käytön kehitykseen 2000–2006 (2000=100).

Kuviosta 11 havaitaan, että kaikkien tehtaiden ekotehokkuudet liikevaihdon ja materiaalien käytön suhteen ovat kasvaneet. Tehtaiden A, B ja E ekotehokkuudet ovat seuranneet sektorin yleisen kehityksen mukaisesti, samoin tehdas F aina vuoteen 2005 saakka, jon-

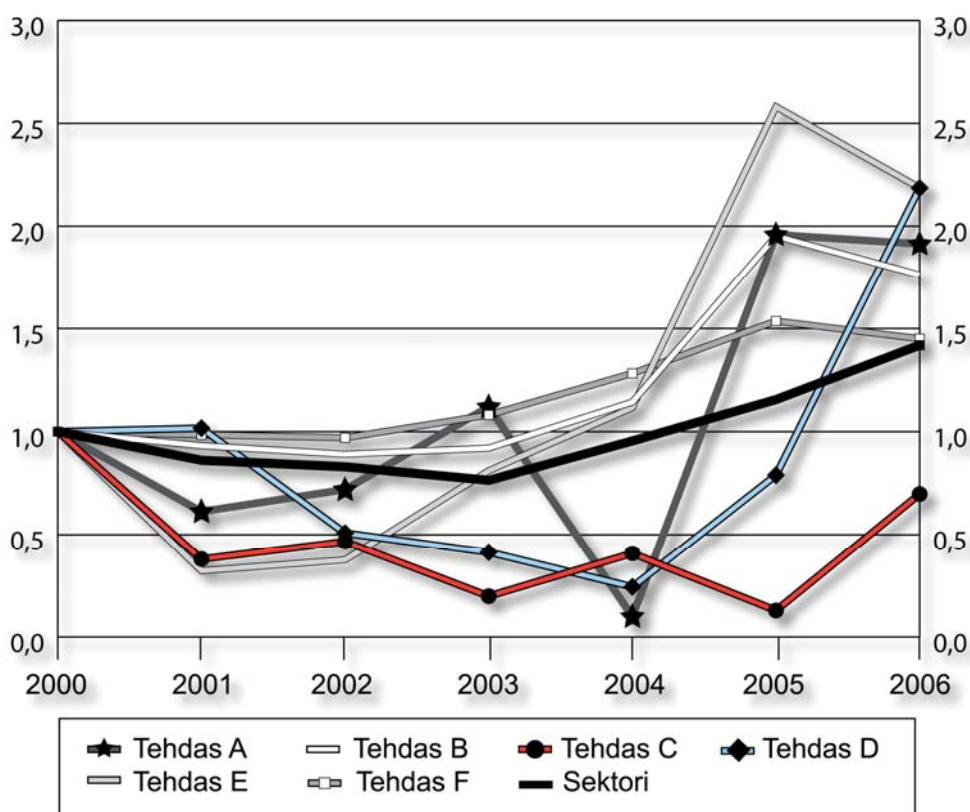
ka jälkeen ekotehostuminen on tasaantunut. Tehtaiden C ja D ekotehokkuus on jäänyt jälkeen muista vuosien 2001 – 2005 välisenä aikana, kunnes vuonna 2006 molempien tehtaiden ekotehokkuus on lähtenyt nousemaan. Tehtaalla D ekotehokkuus on heilahdellut rajusti kuuden vuoden aikana. Sektorin ekotehokkuus on kasvanut tarkastelukautena lähes 70 prosenttia. Tehtaiden ekotehokkuuden kehitykset vaihteluväli tarkastelu-periodilla on 20 – 70 prosentin välillä. Kuviossa 12 on esitetty tehtaiden liikevaihdon kehityksen suhde energian käytön kehitykseen.



Kuva 12. Sektorin ja tehtaiden liikevaihdon kehitys suhteessa energian käytön kehitykseen 2000–2006 (2000=100).

Kaikkien tehtaiden ekotehokkuudet ovat kasvaneet voimakkaasti. Tehtaiden C ja D ekotehokkuudet ovat kaksinkertaistuneet. Koko sektorin ekotehokkuus on kasvanut tarkastelukautena noin 70 prosenttia. Tehtaiden A, E ja F ekotehokkuudet ovat kehittyneet sektorin tasoon nähden vaatimattomammin ollen noin 40–50 prosenttia suuremmat kuin tarkastelujakson alussa.

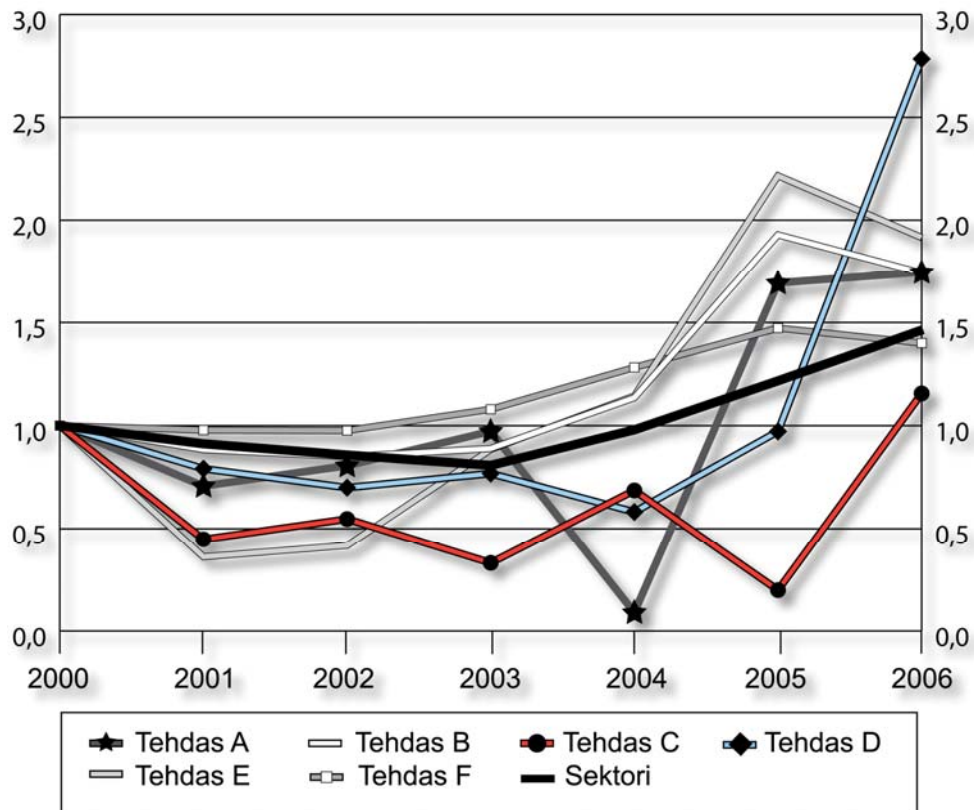
Tehtaan tuottaman arvonlisäyksen kehitystä suhteessa materiaalin käytön kehitykseen tarkastellaan ekotehokkuus -mittarilla (4) ja suhteessa energian käytön kehitykseen ekotehokkuus -mittarilla (5). Arvonlisäys on laskettu vähentämällä liikevaihdosta tuotannossa käytettävien ostettujen raaka-aineiden ja palveluiden ostot. Arvonlisäykseksi jäävä osuus menee palkkojen ja verojen maksuun, tuotannon kehittämiseen sekä muille sidosryhmille maksettaville etuuksille. Kuviossa 13 esitetään arvonlisäyksen kehitys suhteessa materiaalien käytön kehitykseen.



Kuvio 13. Sektorin ja tehtaiden arvonlisäyksen kehitys suhteessa materiaalien käytön kehitykseen 2000 – 2006 (2000=100).

Kuviosta 13 nähdään, että tehtaiden E ja D ekotehokkuudet ovat yli kaksinkertaistuneet ja tehtaiden A ja B lähes kaksinkertaistuneet. Tehtaan F ekotehokkuuden kehitys on seurannut sektorin kehitystä ollen noin 40 prosenttia suurempi kuin tarkastelukauden alussa. Tehtaan C ekotehokkuus mitattuna arvonlisäyksen kehityksen suhteella materiaalin käytön kehitykseen, on tarkastelukautena pienentynyt. Vuonna 2004 tehtaan A ekotehokkuus on heikentynyt hetkellisesti. Tämä johtuu arvonlisäyksen heikkenemis-

tä yhtäaikaaisesti materiaalien käytön kasvun kanssa, jolloin raaka-ainekustannukset ovat olleet suurempia kuin muina vuosina. Kuviossa 14 on esitetty arvonlisäyksen kehityksen suhde energian käytön kehitykseen.

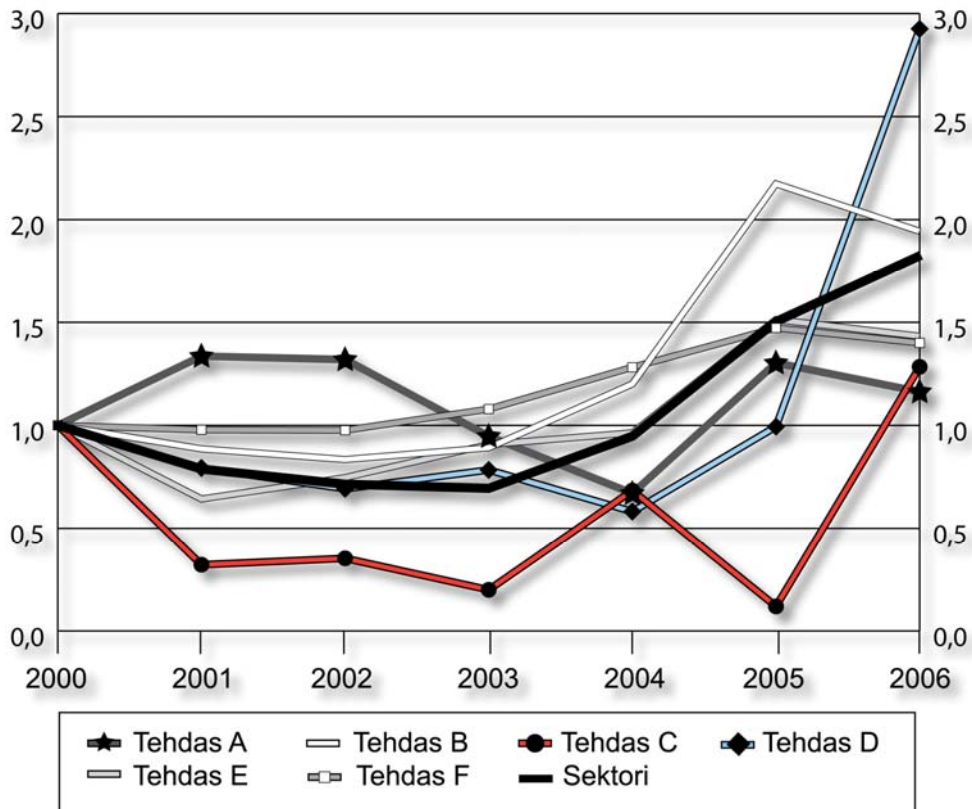


Kuvio 14. Sektorin ja tehtaiden arvonlisäyksen kehitys suhteessa energian käytön kehitykseen 2000 – 2006 (2000=100).

Tarkasteltaessa ekotehokkuuksia käyttäen arvonlisäyksen suhdetta energian käytön kehitykseen, ovat kaikkien tehtaiden ekotehokkuudet kasvaneet. Edelleen vuosi 2004 näkyy tarkastelussa poikkeavan sektorin kehityksestä. Tämä johtuu suurelta osin arvonlisäyksen äkillisestä heikentymisestä ja raaka-aineiden käytön hetkellisestä noususta, mikä toisaalta juuri vaikuttaa arvonlisäystä heikentävästi. Arvonlisäyksen kehitys kertoo tehtaan tuottaman hyödyn kehityksestä tarkasteluperiodilla.

Tehtaan tuottaman hyödyn lisäksi tuotannosta aiheutuu myös hyötyä tai hyvinvointia vähentäviä ulkoisvaikutuksia. Näitä ovat muun muassa tuotannossa syntyvät päästöt ilmaan ja vesistöihin. Seuraavissa kahdessa ekotehokkuus -mittarissa on mitattu ympä-

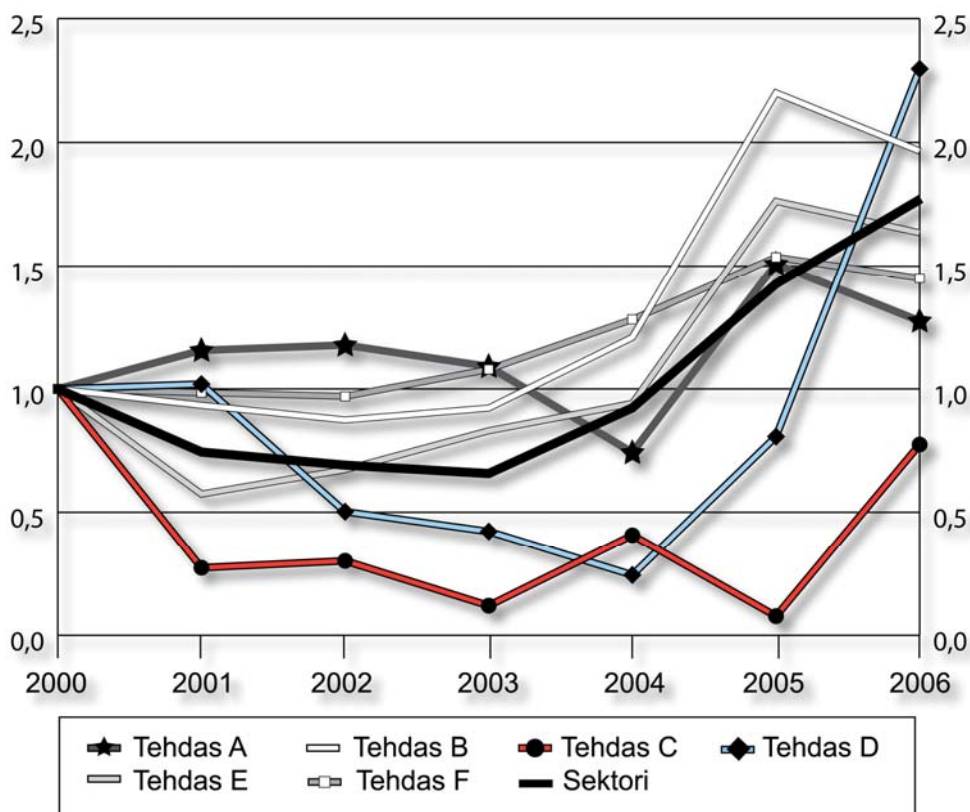
ristövaikutuksilla korjatun arvonlisäyksen kehityksen suhdetta materiaalien käytön kehitykseen (6) sekä energian käytön kehitykseen (7). Kuviossa 15 havainnollistetaan ympäristövaikutuksilla korjattua arvonlisäystä suhteessa materiaalien käytön kehitykseen.



Kuvio 15. Sektorin ja tehtaiden ympäristövaikutuksilla korjatun arvonlisäyksen kehitys suhteessa materiaalien käytön kehitykseen 2000 – 2006 (2000=100).

Kuviosta 15 nähdään, että kaikkien muiden tehtaiden ekotehokkuudet ovat kasvaneet, paitsi yhden tehtaan ekotehokkuuden kehitys on jäänyt sektorin yleisestä kehityksestä. Koko sektorin ekotehokkuus on kasvanut tarkasteluperiodilla lähes 80 prosenttia. Kuviosta 15 voidaan havaita, että ekotehokkuudet ovat usealla tehtaalla laskeneet vuosien 2000–2004 välisenä aikana, sillä lähes kaikkien tehtaiden arvonlisäykset ovat pienentyneet kyseisenä ajanjaksona. Kahdella tehtaalla ympäristövaikutukset ovat olleet suuremmat kuin tehtaan arvonlisäys koko tarkastelujakson ajan, mikä tarkoittaa sitä, että tehtaot eivät ole tuottaneet mittarilla (6) ja (7) mitattuna hyvinvointia, sillä ympäristövaikutukset ovat olleet suuremmat kuin tehtaiden tuotokset. Tehtaalla C ei ole tapahtu-

nut koko tarkasteluperiodilla ekotehostumista. Sektorikohtaiset ympäristövaikutukset ovat kasvaneet tarkasteluperiodilla noin 6 prosenttia. Kuviossa 16 on esitetty ympäristövaikutuksilla korjatun arvonlisäyksen kehitys suhteessa energian käytön kehitykseen.

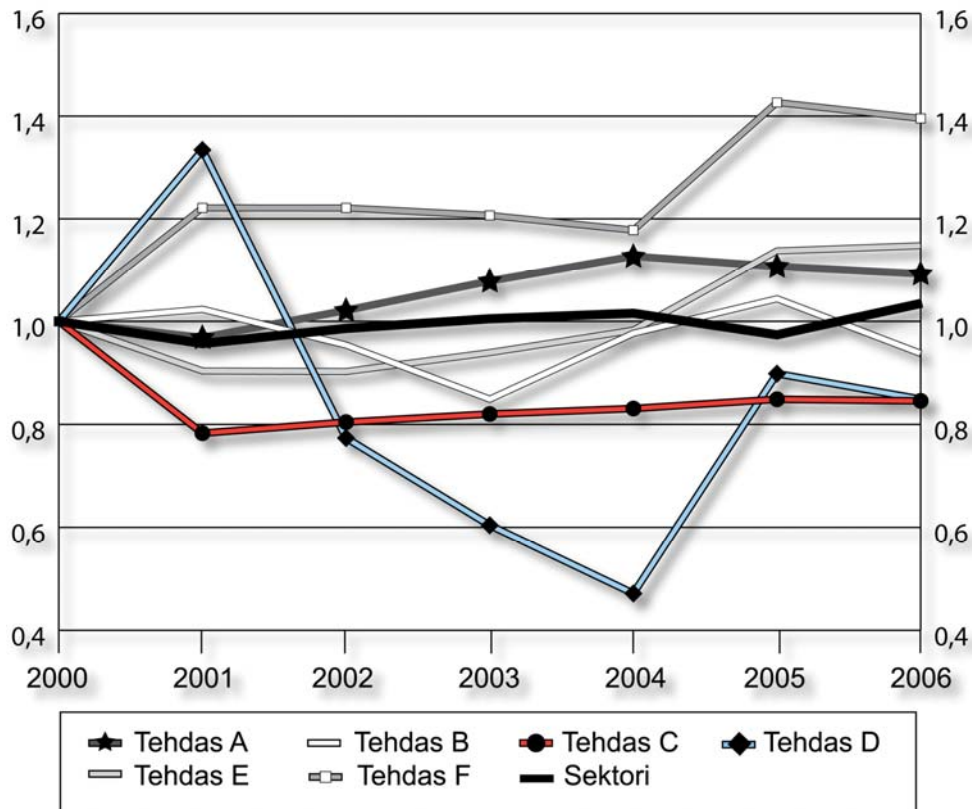


Kuvio 16. Sektorin ja tehtaiden ympäristövaikutuksilla korjatun arvonlisäyksen kehitys suhteessa energian käytön kehitykseen 2000 – 2006 (2000=100).

Kuvion 16 mukaan kaikkien tehtaiden ekotehokkuudet ovat kasvaneet tarkasteluperiodilla. Tämä merkitsee sitä, että tehtaiden tuotos on aikaan saatu suhteessa pienemällä energian käytöllä. Sektorikohtainen ekotehokkuus on kasvanut lähes 90 prosenttia. Tehtaan D ekotehokkuus on lähes kolminkertaistunut. Tehtaan C ekotehokkuus on kasvanut voimakkaasti tarkasteluperiodin lopussa.

Ekotehokkuustarkastelussa on käytetty ekotehokkuuksien analysoinnin tukena materiaali- ja energiatehokkuutta. Materiaalitehokkuus kertoo tehokkuudesta, jolla tuotannossa on käytetty materiaaleja tietyn suuruisen tuotoksen aikaansaamiseksi. Vastaavasti energiatehokkuus ilmaisee, kuinka tehokkaasti tuotannossa on käytetty energiaa tietyn suu-

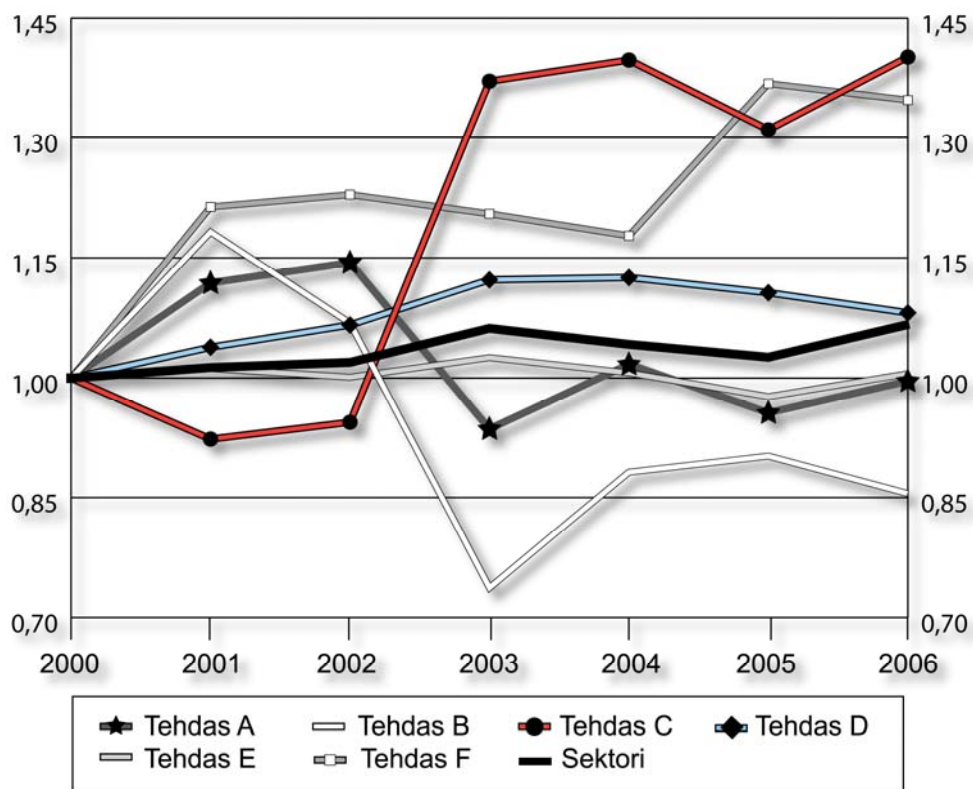
ruisen tuotannon aikaansaamiseksi. Kuviossa 17 on esitetty sektorin ja tehtaiden materiaalitehokkuuden kehitys tarkasteluperiodilla.



Kuvio 17. Sektorin ja tehtaiden materiaalitehokkuuden kehitys 2000 – 2006 (2000=100).

Sektorikohtainen materiaalitehokkuus on tarkastelukautena noussut hieman, ollen vuonna 2006 kolme prosenttia suurempi kuin tarkasteluperiodin alussa. Tehtaiden materiaalitehokkuuksissa on suuria eroja. Tehtaiden B, C ja D materiaalitehokkuudet ovat tarkasteluperiodilla heikentyneet, kun tuotanto on kasvanut suhteellisesti vähemmän kuin tehtaiden käyttämät materiaalienpanokset. Eli tehtaiden tuotanto ei ole kasvanut suhteessa yhtä paljon kuin materiaalien käyttö on kasvanut. Tehtaan D materiaalitehokkuuden poikkeuksellisen hyvä kehitys vuonna 2001 on johtunut materiaalien käytön hetkellisestä pienenemisestä kun taas vuonna 2004 materiaalien käyttö on hetkellisesti noussut. Tehtaan F materiaalitehokkuus on kasvanut tarkasteluperiodilla eniten, noin 40 prosenttia.

Sektorikohtainen energiatehokkuus on kasvanut tarkasteluperiodilla noin seitsemän prosenttia (Kuvio 18). Suurinta energian käytön tehokkuus on ollut tehtailla C ja F, joilla energiatehokkuus on kasvanut noin 35 – 40 prosenttia. Tehtailla A, B ja E ei ole tapahtunut energian käytön tehostumissa suhteessa tuotannon määrään.



Kuvio 18. Sektorin ja tehtaiden energiatehokkuuden kehitys 2000 – 2006 (2000=100).

Kuvioista 17 ja 18 voidaan havaita, että tehtaiden materiaali- ja energiatehokkuudet eivät muutu samansuuntaisesti. Eli jos tehtaan materiaalitehokkuus on ollut heikko voi sen energiatehokkuus olla kuitenkin hyvä. Poikkeuksen tästä tekee tehdas F, jonka materiaali- ja energiatehokkuudet ovat molemmat kasvaneet. Verrattuna materiaali- ja energiatehokkuutta yleisesti, voidaan sanoa, että metallinjalostustehtaat ovat olleet tarkasteluperiodilla enemmän energiatehokkaampia kuin materiaalitehokkaita.

5.5. Tulosten yhteenveto

Tutkimuksessa on tarkasteltu kuuden eri metallinjalostustehtaan sekä koko metallien jalostussektorin ekotehokkuuksien kehittymistä käyttämällä kuutta erilaista ekotehokkuusmittaria. Taulukossa 4 on esitetty tulosten yhteenvetotaulukko tarkasteluperiodin lopussa.

Taulukko 4. Yhteenveto ekotehokkuustarkastelun tuloksista.

Mittari	Menetelmä	Sektori	Tehdas A	Tehdas B	Tehdas C	Tehdas D	Tehdas E	Tehdas F
Ekotehokkuus 1	$\frac{\text{Liikevaihto}}{\text{Materiaalien käyttö}}$	1,67	1,63	1,71	1,21	1,60	1,68	1,45
Ekotehokkuus 2	$\frac{\text{Liikevaihto}}{\text{Energian käyttö}}$	1,72	1,48	1,69	2,01	2,03	1,47	1,40
Ekotehokkuus 3	$\frac{\text{Arvonlisäys}}{\text{Materiaalien käyttö}}$	1,42	1,91	1,76	0,70	2,19	2,19	1,45
Ekotehokkuus 4	$\frac{\text{Arvonlisäys}}{\text{Energian käyttö}}$	1,46	1,74	1,74	1,16	2,78	1,92	1,40
Ekotehokkuus 5	$\frac{\text{Arvonlisäys - ymp.vaik}}{\text{Materiaalien käyttö}}$	1,77	1,28	1,97	0,77	2,30	1,64	1,45
Ekotehokkuus 6	$\frac{\text{Arvonlisäys - ymp.vaik}}{\text{Energian käyttö}}$	1,82	1,16	1,94	1,28	2,93	1,43	1,40
Materiaali-tehokkuus	$\frac{\text{Tuotanto}}{\text{Materiaalien käyttö}}$	1,03	1,09	0,94	0,85	0,85	1,15	1,40
Energia-tehokkuus	$\frac{\text{Tuotanto}}{\text{Energian käyttö}}$	1,07	1,00	0,85	1,40	1,08	1,01	1,35

Tuotosta on kuvattu kolmen eri indikaattorin avulla, jotka ovat liikevaihdon kehitys, arvonlisäyksen kehitys ja ympäristövaikutuksilla korjatun arvonlisäyksen kehitys. Pa-

noksia kuvaavia indikaattoreita on kaksi, jotka ovat materiaalin käytön kehitys sekä energian käytön kehitys. Lisäksi taulukossa 4 on esitetty tehtaiden ja sektorin materiaali- ja energiatehokkuudet. Taulukossa 5 on esitetty factor 4 ja factor 10 -tavoitteet, joita pidetään yleisesti tavoiteltavina ekotehokkuustavoitteina. Taulukkoon 4 on merkitty factor -tavoitteiden mukaisesti kehittyneet tehtaot tummennuksilla.

Taulukko 5. Factor -tavoitteet periodille 2000 – 2006.

Factor 4*	$\frac{\text{Hyvinvointi}}{\text{Luonnonvarojen käyttö}}$	Aikaperiodilla 2000-2006 tulisi tapahtua ekotehostumista factorilla 1,84 , jotta factor 4 -tavoite saavutettaisiin vuoteen 2030 mennessä.
Factor 10**	$\frac{\text{Hyvinvointi}}{\text{Luonnonvarojen käyttö}}$	Aikaperiodilla 2000-2006 tulisi tapahtua ekotehostumista factorilla 2,26 , jotta factor 10 -tavoite saavutettaisiin vuoteen 2050 mennessä.

* Nelinkertainen hyvinvointi suhteessa luonnonvarojen käyttöön 2030 mennessä

** Kymmenkertainen hyvinvointi suhteessa luonnonvarojen käyttöön 2050 mennessä ts. luonnonvarojen tuottavuus kymmenkertaiseksi 2050 mennessä

Mitattaessa ekotehokkuuksia liikevaihdon kehityksen suhteella materiaalien ja energian käytön suhteen, ovat ekotehokkuudet kasvaneet kaikilla tehtailla vaihdellen 20 – 70 prosentin vaihteluvälillä. Tehtaiden ekotehokkuudet ovat keskimäärin kasvaneet ekotehokkuus 1 -mittarilla 50 prosenttia. Vastaavasti ekotehokkuus 2 -mittarilla tehdaskohtaiset ekotehokkuudet ovat keskimäärin kasvaneet 70 prosenttia. Sektorin ekotehokkuus edellä mainituilla mittareilla on kasvanut 67 ja 72 prosenttia. Tehtaiden C ja D ekotehokkuudet kasvaneet Factor 4 -tavoitteen mukaisesti ekotehokkuus 2 -mittarilla mitattuna eli energian käytön suhteen ekotehostumista on tapahtunut enemmän kuin materiaalien käytön suhteen. Factor 10 -tavoite on suurimmalla osalla tehtaista melko kaukana. Sektoritason ekotehokkuudet jäävät hieman Factor 4 mukaisesta tavoitteesta.

Kun ekotehokkuutta mitataan ekotehokkuus 3 -mittarilla eli arvonlisäyksen kehityksen suhde materiaalien käytön kehitykseen, ovat ekotehokkuuksien kehitysten vaihtelut tehtailla suurempia. Ekotehokkuudet ovat kasvaneet ekotehokkuus 3 -mittarilla vaihdellen -30 – 120 prosentin välillä, koska tehtaalla C ekotehokkuus on laskenut. Vastaavasti ekotehokkuus 4 -mittarilla mitattuna ekotehokkuudet ovat kasvaneet 16 – 178 prosenttia. Keskimäärin tehdaskohtaiset ekotehokkuudet ovat kasvaneet ekotehokkuus 3 -mittarilla noin 70 prosenttia ja ekotehokkuus 4 -mittarilla 80 prosenttia. Sektorin vastaavat ekotehokkuudet ovat kasvaneet 40 ja 50 prosenttia. Factor -tavoitteisiin nähden tehtaiden

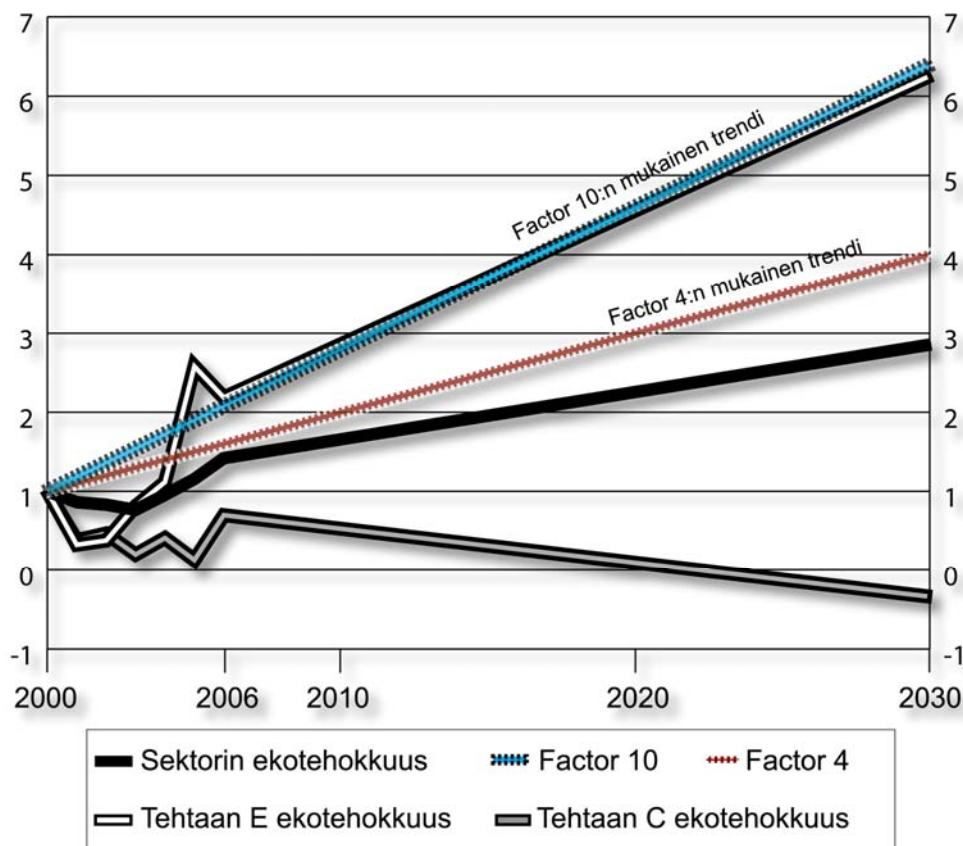
ekotehokkuudet saavat keskimäärin suurempia arvoja ekotehokkuus 3 ja 4 -mittareilla kuin ekotehokkuus 1 ja 2 -mittareilla. Kolmen tehtaan A, D ja E ekotehokkuudet ovat kasvaneet Factor 4 -tavoitteiden mukaisesti.

Mitattaessa ekotehokkuutta ympäristövaikutuksilla korjatun arvonlisäyksen ja materiaalien ja energian käytön suhteen, ekotehokkuuden vaihtelut tehtaiden välillä kasvavat edelleen. Kahden tehtaan ympäristövaikutukset suhteessa arvonlisäykseen ovat olleet suuremmat, jolloin voidaan yksinkertaistaen tulkita, että tehtaiden toiminta on ollut yhteiskunnallisesti kannattamatonta, koska tehtaot ovat periaatteessa tuottaneet yhteiskuntaan enemmän päästöjä kuin hyvinvointia (ks. liite 3 aineiston käsittelystä). Ekotehokkuus 5 -mittarilla mitattuna tehtaiden ekotehokkuudet vaihtelivat -23 – 130 prosentin välillä. Vastaavasti ekotehokkuus 6 -mittarilla vaihteluväli on 16 – 193 prosentin välillä. Tehtaiden ekotehokkuudet ovat keskimäärin kasvaneet noin 60 prosenttia ekotehokkuus 5 -mittarilla mitattuna ja noin 70 prosenttia ekotehokkuus 6 -mittarilla. Sektoritasolla ekotehokkuudet ovat kasvaneet ekotehokkuus 5 ja 6 -mittareilla keskimäärin 80 prosenttia.

Materiaali- ja energiatehokkuudet ovat tarkasteluperiodilla 2000 – 2007 kehittyneet melko vaatimattomasti. Sektorilla materiaalitehokkuus on kasvanut 3 prosenttia ja energiatehokkuus 7 prosenttia. Tarkastelussa mukana olleiden tehtaiden materiaalitehokkuudet ovat kasvaneet keskimäärin 4 prosenttia ja energiatehokkuudet noin 11 prosenttia. Materiaali- ja energiatehokkuudet ovat kehittyneet erisuuntaisesti ekotehostumisen kanssa. Eli tehtaot, jotka ovat ekotehostuneet, eivät ole olleet erityisen materiaali- ja energiatehokkaita. Materiaali- ja energiatehokkuudet eivät kerro ekotehostumisesta. Käyttämällä ainoastaan materiaali- ja energiatehokkuutta kuvaamaan teollisuustuotannon kehitystä, ei saada kuvaa tuotannon ekotehostumisesta. Toisaalta käyttämällä pelkästään ekotehokkuuslukuja ei puolestaan saada tarpeeksi hyvää kokonaiskäsitystä tuotannon vaikutuksista. Tehtaiden ekotehokkuudet ovat kasvaneet tarkasteluperiodilla voimakkaasti. Energia- ja materiaalitehokkuus puolestaan kertovat, että tuotannossa käytettävien materiaali- ja energiapanosten tehostuminen on ollut melko vaatimatonta mutta keskimäärin tehostumista on kuitenkin tapahtunut.

Metallien jalostuksen tehtaiden ekotehokkuudet Suomessa ovat yleisesti, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kasvaneet vuosina 2000–2006. Kaiken kaikkiaan kuudesta tehtaasta viiden tehtaan ekotehokkuudet ovat jollain ekotehokkuusmittarilla kehittyneet Factor 4 -tavoitteen mukaisesti. Suurin ekotehokkuuden kehitys mitattiin mittarilla 6 eli ympäristökorjatun arvonlisäyksen kehityksen suhde energian käytön kehitykseen, joka

oli Factor 10 -tavoitteen mukainen. Myös sektoritasolla ekotehokkuus on tarkastelupe-
riodilla kasvanut mutta tarkasteltavien tehtaiden ekotehokkuudet kasvoivat keskimäärin
enemmän kuin sektoritason ekotehokkuus. Kuviossa 19 on tehtaiden sekä sektorin eko-
tehokkuuden kehittyminen ekotehokkuus 3 -mittarilla verrattuna Factor 4 ja Factor 10 -
tavoitteiden mukaiseen kehitykseen.



Kuvio 19. Ekotehokkuusvertailua Factor 4 ja Factor10 -tavoitteisiin

Mikäli sektoritason ekotehokkuus kehittyy samaa vauhtia kuin tässä tarkasteluperiodilla
aina vuoteen 2030 saakka, tulee sektoritason luonnonvarojen tuottavuus kasvamaan
noin factorilla 3 vuoteen 2030 mennessä. Vastaavasti, mikäli tässä tarkastelussa mukana
olevien tehtaiden ekotehokkuudet kehittyvät jatkossa, kuten parhaiten kehittyneet eko-
tehokkuudet ovat tehneet, tulee luonnonvarojen tuottavuus kasvamaan noin faktorilla
6,4 vuoteen 2030 mennessä. Nykyisten tietojen ja arvioiden perusteella tämä ei tule riit-
tämään saavuttaaksemme kestävän luonnonvarojen käytön tason suhteessa hyvinvoinnin
määrään eli Factor 10 -tavoitteen vuoteen 2050 mennessä.

6. EKOTEHOKKUUSTARKASTELUN KEHITTÄMINEN

Ekotehokkuustarkastelu tuo esille uudenlaisen näkökulman talouden toiminnan vaikutuksista sekä sen suhteesta ympäristöön. Tällä hetkellä käytössämme on vain rajallinen määrä välineitä ratkaista tulevaisuuden suuria haasteita, joita väestön räjähdysmäinen kasvu, ilmastonmuutoksen eteneminen ja kasautuvat ympäristöhaitat sekä luonnonvarojen suuri kulutus tulevat vääjäämättä aiheuttamaan. Uusklassinen taloustiede pyrkii ratkaisemaan edellä mainitut haasteet ulkoisvaikutusten teoreemien pohjalta, joita muun muassa Coase ja Pigou ovat ehdottaneet. Näiden vaikutus on kuitenkin rajallinen tai liian hidaskäyttöinen, kun otetaan huomioon, kuinka nopeasti esimerkiksi talouden suurimmaksi ulkoisvaikutukseksi nimetty ilmastonmuutos etenee. Nykyinen päästökauppajärjestelmä on oikeansuuntainen ratkaisumalli mutta ilmeisen riittämätön, sillä vaikutuksia mahdollisesta ilmastonmuutoksen etenemisen hidastumisesta ei ole vielä havaittavissa. Päästökauppajärjestelmän laajentuminen kattaen koko globaalin talouden, on vielä kaukana tulevaisuudessa.

Ekotehokkuuden Factor 4 ja factor 10 -tavoitteet herättävät ajattelemaan kuinka suuria täytyisivät muutosten olla, jotta edes jossain määrin pystyisimme sopeuttamaan toimiamme ympäristön ja luonnonvarojen kulutuksen rajallisuuteen. Tästä herätyksestä kertovat myös uusien tieteellisten suuntauksien kehittyminen, kuten ekologinen taloustiede tai teollinen ekologia, jotka molemmat tutkivat ihmisten taloudellisessa toiminnassa aikaansaamia materiaalien liikkeitä sekä niistä aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Ekotehokkuustarkastelun riittävyttä ottaa huomioon edellä mainitut haasteet on myös kritisoitu, mutta ehdottomasti ekotehostuminen on suuntana oikeanlainen. Ekotehokkuuden empiirinen soveltaminen on ehdottoman tärkeää, jotta saadaan lisätietoa tarkastelun vaikutuksista, siihen vaikuttavista tekijöistä sekä tämän hetkisen kehityksen suunnasta.

Pro gradu -tutkielmassa toteutettu ekotehokkuuden empiirinen tarkastelu on tärkeä osa tämänhetkistä tutkimusta vieden omalta osaltaan tarkastelun kehittämistä eteenpäin. Teollisuuden toimijat ovat jo nyt suurten haasteiden edessä EU:n ottaessa keskipitkän aikavälin tavoitteekseen seuraavien parinkymmenen vuoden aikana vähentää 20–30 prosenttia kasvihuonekaasupäästöjä, joihin Suomikin on sitoutunut. Suurimmat hiilidioksidipäästöt Suomessa syntyvät teollisuuden toiminnassa pääosin uusiutumattomien luonnonvarojen käytön sekä energian tuotannon seurauksena. Metallien jalostus toimialana Suomessa on erittäin energia- ja materiaali-intensiivinen ja pohjautuu pitkälti uusiutumattomien luonnonvarojen kulutukseen. Siksi erityisesti metallien jalostus toimialana on hyvin suurten haasteiden edessä.

Ekotehokkuustarkastelu sopii hyvin materiaali- ja energiaintensiivisten toimialojen kuten metallinjalostuksen kehityksen seurantaan, missä kriittisimmät ympäristövaikutukset syntyvät prosesseissa tarvittavien materiaalien ja energian käytön seurauksena. Tässä mielessä metallinjalostuksen toimiala on merkittävä tutkimus- ja kehityskohde. Metallinjalostuksen suurimmat toimialakohtaiset erityispiirteet liittyvät metallien kierrätykseen. Käyttämällä kierrätysmetalleja voidaan saada aikaan huomattavia säästöjä niin materiaalien kuin energian kulutuksessa (ks. liite 4. metallien kierrätyksestä ja kierrätyksen ympäristövaikutuksista). Tällöin saadaan myös ympäristöhyötyjä, esimerkiksi säästämällä neitseellisten luonnonvarojen kulutusta ja kaivamisesta aiheutuvia ympäristöhaittoja sekä ohittamalla joitain tuotantoketjun vaiheita, joita metallimalmien prosessointi vaatii. Erot metallimalmien ja kierrätysmetallien prosessien välillä eivät kuitenkaan ole aivan yksiselitteiset. Esimerkiksi kierrätysmetallien prosesseihin tarvitaan enemmän ostosähköä, jonka ympäristöhaitat riippuvat täysin sähkön tuotannossa käytetyistä energian lähteistä. Sitä vastoin metallimalmien jalostuksessa osa tarvittavasta energiasta syntyy prosessissa sisäisesti malmissa olevien palavien ainesosien palaessa, jolloin tehtaan ulkopuolelta verkosta tulevaa ostosähköä tarvitaan vähemmän. Näillä tekijöillä on huomattava vaikutus toimialan ympäristövaikutusten suuruuteen.

Ekotehokkuutta ei ole aiemmin analysoitu empiirisen aikasarja-aineiston avulla toimipaikkakohtaisesti metallien jalostuksessa Suomessa. Metsäteollisuudessa ekotehokkuutta ovat tutkineet Pihlatie (2005) pro gradu -tutkielmassaan yritystasolla, sekä Helminen (1998) väitöstyössään Suomen ja Ruotsin sellu- ja paperiteollisuutta tehdaskohtaisesti. Mielestäni teollisuuden toimialoilla ekotehokkuutta tulisi tarkastella juuri tehdastasolla, jolloin päästään hyvin lähelle prosessin tehokkuuden seurantaan. Tällöin pystyttäisiin näkemään konkreettisemmin mistä erot tehokkuuksien välillä johtuvat ja kuinka tehokkuutta voitaisiin lisätä.

Tutkimuksen päätavoitteena oli analysoida ekotehokkuuden mittaamista ja käytettyjä menetelmiä sekä tarkastella kuinka ekotehokkuus on metallin jalostuksessa kehittynyt vuosien 2000 – 2006 aikana. Olennaisen tärkeää tarkastelun onnistumisen kannalta oli käytettävän tietoaineiston saatavuus. Tietojen kerääminen julkisista lähteistä osoittautui erittäin haasteelliseksi, sillä suurissa monikansallisissa metalliteollisuuden konserneissa, joihin useat suomalaiset metallinjalostajat nykyään kuuluvat, on viime vuosina tapahtunut perustavanlaatuisia rakenteellisia muutoksia. Tästä syystä yritysten raportoidessa toimintaansa, ei aina ollut varmuutta, mitkä toimipaikat milloinkin kuuluivat raportoinnin piiriin. Muutamien tehtaiden toiminnasta ei ollut lainkaan ympäristöraportointia,

jolloin ainoaksi vaihtoehdoksi jäi tietojen kerääminen suoraan tehtailta. Tehdastason tiedot mahdollistivat tutkimuksen rajaamisen Suomessa tapahtuvaan metallin jalostukseen. Ekotehokkuustarkastelu oli menetelmänä osalle tehtaista uusi, jolloin tietoaineistoa ei ollut valmiina vaan osa tiedoista jouduttiin keräämään arkistoista. Tavoitteena oli kerätä mahdollisimman pitkät aikasarjat niin tuotoksista kuin panoksista. Tietojen kerääminen tehdastasolta mahdollisti kaikkien tietojen saamisen samasta lähteestä, jolloin tutkimuksessa käytetyt tiedot edustavat parasta mahdollista saatavissa olevaa tietoa. Tuotosten ja panosten valintaan vaikutti näin ollen tietojen saatavuus.

Ekotehokkuuden mittaamiselle ei ole yhtä ja ainoaa vakiintunutta tapaa vaan eri mittareiden käyttö vaihtelee aiemmissä tutkimuksissa. Haasteellisinta ekotehokkuuden indikaattoreiden valinnassa oli valita tuotos, joka parhaiten kuvaisi hyvinvoinnin määrää, sillä luonteen mukaisesti hyvinvointi on usein subjektiivisesti koettu ja on siten vaikea määrämällistä. Vertailun vuoksi tutkimuksessa käytettiin osoittajana kolmea eri tuotosta: liikevaihdon, arvonlisäyksen ja ympäristövaikutuksilla korjattua arvonlisäyksen kehitystä. Näistä ympäristövaikutuksilla korjatulla arvonlisäyksellä päästään ehkä lähimmäksi todellista hyvinvoinnin määrää, sillä se huomioi tuotoksessa ympäristöpäästöjen vaikutukset hyvinvointia alentavasti. Ympäristövaikutuksilla korjattua arvonlisäystä ei ole sovellettu tuotoksena kovin usein ilmanpäästöjen hinnoitteluun liittyvien vaikeuksien vuoksi. Tästä syystä yrityksillä voi olla kynnys käyttää kyseistä mittaria. Ilmanpäästöjen yksikköhinnat myös vaihtelevat ajassa, sillä uusien tutkimusten ja arvioiden mukaan saadaan aina yhä tarkempaa tietoa eri päästöjen haitallisuudesta. Lisäksi yli ajan tapahtuva päästöjen haitallisuuden kumuloituminen vaikeuttaa haitallisuuden arvioimista, sillä tämän hetkiset päästöt vaikuttavat pitkälle tulevaisuuteen ja tällä hetkellä ympäristöä kuormittavat päästöt ovat aiheutuneet menneinä vuosina ja jopa vuosikymmeninä.

Tutkielmassa ekotehokkuustarkastelun panoksiksi valittiin kaksi resurssien käyttöä kuvaavaa indikaattoria, jotka ovat materiaalien ja energian käyttö. Aiemmissä tutkimuksissa panoksena on käytetty myös päästöjen ympäristövaikutuksia, jossa päästöt on jaettu niistä aiheutuvien vaikutusten mukaisesti luokkiin (vaikutusluokat) ja arvioitu niiden haitallisuutta erilaisten haittakertoimien avulla. Tämän jälkeen eri vaikutusluokat on painokertoimien avulla aggregoitu yhdeksi ympäristövaikutusindeksiksi esim. (ks. Puolamaa, Kaplas & Reinikainen 1996; Helminen 1998). Ympäristövaikutusten aggregointi yhdeksi indeksiksi on kuitenkin hyvin työläs ja aikaa vievä prosessi, jota ei tämän tutkielman resurssien puitteissa toteutettu. Taulukossa 5 on arvioitu tutkimuksessa sovelletun ekotehokkuustarkastelun vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia.

Taulukko 6. Tutkimuksessa sovelletun ekotehokkuustarkastelun SWOT

<p style="text-align: center;">Vahvuudet (Strengths)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tarkastelu kytkee luonnonvarojen käytön kehityksen taloudelliseen kehitykseen. - Tarkastelun toimintaperiaatteiden helppo ymmärrettävyys. - Tarkastelu antaa uuden näkökulman taloudellisen toiminnan arviointiin. - Ekotehokkuus menetelmänä on yhteensopiva nykyisen talousjärjestelmän kanssa. 	<p style="text-align: center;">Heikkoudet (Weaknesses)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tarkastelussa ei huomioida absoluuttisia määriä vaan tulokset kertovat suhteellisesta kehityksestä. - Tarkastelu ei kykene huomioimaan kestävän kehityksen sosiaalista ulottuvuutta. - Tarkastelu ei huomioi eroja materiaalien laadussa eikä sitä, miten energia tuotetaan. - Metallin hintojen heilahtelun vaikutukset.
<p style="text-align: center;">Mahdollisuudet (Opportunities)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tarkastelun huomioiminen päätöksenteossa edistää kestävämmän kehityksen mukaista toimintaa. - Käyttämällä tarkastelua päätöksenteossa voidaan saada suuria kustannushyötyjä. - Ennakoimalla tulevia haasteita ja lisäämällä ekotehokkuutta saavutetaan kilpailuetuja tulevaisuudessa. 	<p style="text-align: center;">Uhat (Threats)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uhkana on pitää toimintaa kestävän kehityksen mukaisena, kun saavutetaan riittävänä suuri ekotehokkuuden kehitys. - Uhkana on, että ekotehokkuustavoitteiden saavuttaminen mikrotasolla ei ole riittävä makrotason tavoitteiden saavuttamisessa. - Ekotehostumisesta saavutetut hyödyt lisäävät suoraan kulutusta (Rebound).

Ekotehokkuustarkastelun suurin vahvuus on siinä, että se ottaa huomioon kaksi kestävän kehityksen komponenttia ympäristön ja talouden, mikä on tullut todettua monissa ekotehokkuuteen liittyvissä tutkimuksissa. Taustalla piilee vanha viisaus: *what get's measured get's managed*, ainoastaan mitattavissa olevia asioita voidaan ottaa huomioon päätöksenteossa. Ekotehokkuusmittarin käyttäminen perustuu sen kykyyn havainnollistaa kuinka tehokkaasti yritys käyttää luonnonvaroja suhteessa yrityksen tuottamaan hyvinvointiin, joka on sen perimmäinen tarkoitus. Tavoitteena on saada muitakin mittareita päätöksenteon avuksi kuin pelkästään taloudellinen tehokkuus, jonka mukaan päätökset kuitenkin usein markkinataloudessa tehdään. Ekotehokkuus voi toimia yhtenä tällaisena mittarina, jota yritykset voivat käyttää taloudellisten mittareiden ohella. Ekotehokkuus tarjoaa selkeän ja ymmärrettävän mittarin taloudellisen toiminnan kehityksen uudenlaiseen arviointiin.

Ekotehokkuustarkastelun heikkoutena on se, että ekotehokkuus on kehityksestä kertova suhdeluku, jolloin absoluuttinen ympäristökuormitus ja maapallon kantokyky jää tarkastelussa huomioimatta. Ekotehokkuus kertoo kuitenkin tämän hetkisten toimiemme vaikutusten kehityssuunnasta. Uhkana on ekotehostumisen riittämättömyys, jolloin ekote-

hostumisesta huolimatta ympäristökuormitus kasvaa maapallon kantokykyä uhkaavalle tasolle. Tähän liittyen vaarana ekotehostumisessa on myös, että ekotehokkuudesta saavutetut hyödyt lisäävät suoraan kulutusta. Kun tuotanto tehostuu, voidaan tuotantoa lisätä. Tätä kutsutaan yleisesti Rebound -efektiksi. Kestävän kehityksen näkökulmasta ekotehokkuustarkastelu ei ota huomioon sosiaalista ulottuvuutta, joka on kestävän kehityksen politiikan periaatteiden mukaisesti yhtä tärkeä kuin taloudellinen ja ympäristöllinen ulottuvuus.

Ekotehokkuustarkastelussa käytetyssä materiaalipanoksessa ei pystytä huomioimaan eroja materiaalien laaduissa toisin sanoen kaikki materiaalit kemikaaleista malmeihin ja kierrätysmetalleihin on summattu yhteen. Eri materiaaleilla on kuitenkin hyvinkin erilaisia ja erisuuruisia ympäristövaikutuksia. Vastaavasti energiapanoksessa summataan yhteen kaikki tehtaan käyttämä energia ja sähkö, jolloin tarkastelussa ei huomioida onko esimerkiksi tehtaan ulkopuolelta ostettu sähkö tuotettu fossiililla polttoaineilla vai onko käytetty uusiutuvia energianlähteitä kuten tuuli- ja vesivoimaa vai tuotetaanko energia ydinvoimalla.

Metallinjalostus on globaali, kansainvälisesti kilpailtu toimiala, jonka liikevaihtoon ja tulokseen vaikuttavat metallien maailmanmarkkinahintojen suuri heilunta. Helminen (1998: 129–130) analysoi väitöstyössään Suomen ja Ruotsin sellu- ja paperiteollisuuden ekotehokkuutta vuosina 1993–1996 ja toteutti hintojen herkkyyksianalyysin, jossa hän testasi raaka-aineiden ja myyntihintojen vaikutuksia arvonlisäykseen. Kaikista suurin merkitys oli myyntihintojen vaikutuksilla, jolloin myyntihintojen kasvaessa 50 prosenttia arvonlisäykset lähes kaksinkertaistuivat (Mts. 130). Vaikka metalli- ja metsäteollisuuden toimialat edustavat molemmat keskenään hyvin erilaisia toimialoja, saadaan kuitenkin jonkinlainen käsitys hintojen muutosten vaikutuksista taloudellisesta kehityksestä kuvaaviin tuotoksiin. Tällöin myös ekotehokkuustarkastelussa käytetyissä taloudellisissa tuotoksissa näkyvät vääjäämättä hintojen muutokset.

Suurimmat mahdollisuudet ekotehokkuustarkastelun käyttämisessä liittyvät tulevaisuuden kilpailuetuihin. Yritykset, jotka tässä vaiheessa huomioivat ympäristön laadun sekä luonnonvarojen kulutuksen tehostamalla jatkuvasti toimiaan, ovat tulevaisuudessa varmasti paremmassa asemassa kiristyvässä kilpailussa. Liittyen kilpailuetuihin, yritykset saavat kustannushyötyjä vähentämällä esimerkiksi hiilidioksidipäästöjä sekä kallistuvien raaka-aineiden kulutusta.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkielman päätavoitteena oli soveltaa ekotehokkuutta empiiriseen aikasarja-aineistoon metallien jalostuksen toimipaikkatasolla Suomessa. Menetelmää on tässä tutkimuksessa sovellettu ensimmäistä kertaa metallien jalostuksen toimipaikkatasolla, joten tutkimustuloksille ei kyseisellä aikaperiodilla ole varsinaista vertailupohjaa aiemmista tutkimuksista. Ekotehokkuustarkastelu tarjoaa siten uuden näkökulman metallien jalostukseen. Tutkimuksessa käytettyjä ekotehokkuus -mittareita oli kuusi erilaista. Tarkoituksena eri mittareiden käytöllä oli kuvata tehtaiden tuottamaa hyvinvointia mahdollisimman tarkasti. Panoksina käytettiin materiaalien ja energian käytön kehitystä.

Tulosten mukaan metallien jalostuksen ekotehokkuudet niin sektori- kuin tehdastasolla ovat kasvaneet vuosien 2000 – 2006 välillä. Viiden tehtaan ekotehokkuudet ovat kehittyneet keskipitkän aikavälin tavoitteen Factor 4 -tavoitteen mukaisesti eli ekotehostumista on tapahtunut enemmän kuin factorilla 1,84 (84 prosenttia) vuosien 2000–2006 aikana. Vastaavasti tarkasteluperiodilla yhden tehtaan ekotehokkuus on pitkän aikavälin Factor 10 -tavoitteen mukainen eli ekotehostumista on tapahtunut enemmän kuin factorilla 2,26 (126 prosenttia). Sektoritasolla ekotehostumista tapahtui factoreilla 1,42–1,82 eli lähes Factor 4 -tavoitteen mukaisesti. Tuloksista voidaan päätellä, että Factor -tavoitteita on mahdollista saavuttaa vaikka koko sektoritasolla tavoitteista jäätin.

Ympäristövaikutuksilla korjattu arvonlisäys, jolla päästään ehkä lähimmäksi tehtaan tuottaman hyvinvoinnin mittaamista on kasvanut voimakkaasti tarkasteluperiodilla. Tehtaat ovat tämän tuotoksen mukaan tuottaneet enemmän hyvinvointia suhteessa ympäristöhaittojen määrään. Suurimmat ekotehostumiset on mitattu käyttämällä panoksena energian käytön kehitystä ja tuotoksena arvonlisäystä tai ympäristövaikutuksilla korjattua arvonlisäystä. Tästä voidaan päätellä, että pienemmällä energian käytöllä on saatu suhteessa enemmän hyvinvointia kuin aiemmin. Materiaalien käytön suhteen ekotehostumista on myös tapahtunut mutta ei niin paljon kuin energian käytön suhteen.

Vaikka ekotehokkuus kertoo suhteellisesta luonnonvarojen käytön tehostumisesta hyvinvointiin nähden, ei ekotehokkuus -mittareissa pystytä huomioimaan ympäristön absoluuttista kuormitusta. Työssä käytettyjä ekotehokkuus -mittareita voidaan soveltaa myös muilla toimialoilla, mikä tekee ekotehokkuustarkastelusta selkeän, helppokäyttöisen ja moneen soveltuvan. Toimialojen välillä on kuitenkin suuria eroja, jolloin esimerkiksi Factor -tavoitteiden jakaminen toimialoittain ei ole yksiselitteistä.

Tutkimuksessa oli mukana kuusi Suomen kymmenestä suurimmasta metallinjalostajasta, mikä teki tutkimuksesta melko kattavan. Tutkimustulosten pohjalta saatiin uutta tietoa metallin jalostuksen ekotehokkuudesta ja ne luovat pohjan menetelmän jatkokehitykselle. Koska aiempaa tietoa metallin jalostuksen ekotehokkuudesta toimipaikkakohdaisesti ei ole ollut saatavilla, työn puitteissa syntyi myös uutta tietoaineistoa. Lisäksi tulosten pohjalta tehtaat saavat hyödyllistä tietoa sekä uuden näkökulman oman toimintansa arviointiin.

Arvioitaessa tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä, tietojen saatavuus oli suurin haaste empiiriselle sovellukselle, sillä valmiita aineistoja ei ekotehokkuuden mittaamiselle ollut. Eikä tietoja ollut mahdollista saada julkisista lähteistä vaan kerättiin suoraan tehtailta. Tiedot saatiin tutkimuksen käyttöön sillä edellytyksellä, että tehtaita ei identifioida. Tämä heikentää siten tutkimuksessa käytettävien aikasarja-aineistojen läpinäkyvyyttä. Tutkimusta varten tehtailta kerätty aineisto on saatu omat toimintansa parhaiten tuntevilta asiantuntijoilta, joten tiedot edustavat parasta mahdollista saatavilla olevaa tietoa.

Tutkimuksessa tarkasteluperiodin pituus oli seitsemän vuotta, vuodesta 2000 vuoteen 2006 saakka. Aikasarjana tarkasteluperiodi on hyvin lyhyt, joten ennusteita metallien jalostuksen ekotehokkuuden kehittymiselle ei voida kovin pitkälle tehdä. Indeksoinnin perusvuotena oli vuosi 2000, jolloin vuoden 2000 tuotosten ja panosten tasot vaikuttavat kehitykseen. On hyvä huomioida, että ekotehokkuus kertoo nimenomaan kehityksestä, ei tuotosten ja panosten käytön tasosta. Jotta voitaisiin ennustaa metallien jalostuksen ekotehokkuuden keskipitkän aikavälin suuntaa paremmin, tulisi empiirisessä tarkastelussa käyttää paljon pidempää aikasarjaa. Käyttämällä pidempää aikasarjaa myös lähtövuoden tason merkitys pienenesi.

Suurimmat jatkokehityksen tarpeet ja mahdolliset jatkotutkimuksen aiheet ovat:

1. Parempien hyvinvointia kuvaavien tuotosten kehittäminen, esimerkiksi työllisyysvaikutuksien, työtyytyväisyyden, onnellisuuden huomioiminen. Näiden indikaattoreiden käytännön haaste on niiden rahamääräistäminen.
2. Materiaali- ja energiapanosten yhdistäminen, jolloin voitaisiin laskea ekotehokkuudet yhdellä panoksella tai mitata esim. kokonaisluonnonvaratuottavuutta.
3. Eri materiaalien laatujen huomioiminen ekotehokkuustarkastelussa.
4. Ekotehokkuustarkastelun käyttökelpoisuus käytännön päätöksenteossa.
5. Metallien jalostuksen ekotehokkuuden kansainvälinen vertailu.

LÄHTEET

- Atria Yhtymä Oyj (2007). *Vuosikertomus 2007* [online]. [viitattu 15.3.2008]. Saatavana World Wide Webistä:
<[http://www.atria.fi/uploads/Atrian_VK_2006_Suomi\(5\).pdf](http://www.atria.fi/uploads/Atrian_VK_2006_Suomi(5).pdf)>.
- Autio & Lettenmeier (2002). *Ekotehokkuus– Business as Future. Yrityksen ekotehokas*. Dipoli-raportit/Dipoli-reports C. Koulutuskeskus Dipoli. Tekninen Korkeakoulu. Lahti.
- Boulding, K. E. (1971). The Economics of the Coming Spaceship Earth. Teoksessa: *Environmental Quality in Growing Economy*. Resources for the Future. Ed. Jarrett H. John Hopkins University Press. Kolmas painos. Baltimore. 3–14.
- Brattebø, H. (2005). Toward a Methods Framework for Eco-efficiency Analysis?. *Journal of Industrial Ecology* 9: 4, 9–11. MIT Press.
- Cullis, J. & Jones, P. (1998). *Public Finance and Public Choice*. Second edition. Oxford university press.
- Daly, H. E. (1991). *Steady-State Economics*. Institutions for a Steady-State Economics. Washington DC: Island Press.
- Dahlström, K. & P. Ekins (2005). Eco-efficiency Trends in the UK Steel and Aluminium Industries. Differences between Resource Efficiency and Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology* 9: 4, 171–188. MIT Press.
- Ehrenfeld, John R. (2005). Eco-efficiency – Philosophy, Theory and Tools. *Journal of Industrial Ecology* 9: 4, 6–8. MIT Press.
- Ekins, P. (2005). Eco-efficiency – Motives, Drivers and Economic Implications. *Journal of Industrial Ecology* 9: 4, 12–14. MIT Press.
- EUROFER (2006). *Declaration by the Metals Industry on Recycling principles* [online]. [viitattu 25.10.2007]. Saatavana World Wide Webistä:
<http://www.jernkontoret.se/informationsbanken/tips_andra_publ/recycling_declaration_301106.pdf>.

- Gabriel, R. & A, Braune (2005). Eco-efficiency Analysis: Applications and User Contacts. *Journal of Industrial Ecology* 9: 4, 19–21. MIT Press.
- Geologian tutkimuskeskus (2007). Metalliset malmit [online]. Päivitetty 26.9.2007. [viitattu 21.4.2008]. Saatavana World Wide Webistä:
<<http://fi.gtk.fi/luonnonvarat/malmit/>>.
- Haikka, T. (2007). *Teräs Suomen kansantaloudessa – kokonaisvaranto, teräsvirrat ja kierrätys*. Metallinjalostajat ry. Teknologiateollisuus. Tampere: Tammer-Paino Oy. Saatavana World Wide Webistä:
<http://www.teknologiateollisuus.fi/files/15678_Teras_Suomen_kansantaloudessa.pdf>.
- Haikka, T (2008). Suullinen tiedonanto. Outokumpu Oyj. 18.2.2008.
- Helminen, R. (1998). *Eco-efficiency in the Finnish and Swedish Pulp and Paper Industry*. Acta Polytechnica Scandinavia. Mathematics, computing and management in engineering series No. 90. Espoo.
- Hjerppe, R. (1987). Teollisuus. Teoksessa: *Teollisuus-Suomi 1945–1980*, 78–99. Toim. Pihkala, E. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Hoffrén, J. (1994). *Ympäristotaloustieteen perusteet*. Tampere: Gaudeamus. ISBN 951-662-587-8.
- Hoffrén, J. (1999). *Talous hyvinvoinnin ja ympäristöhaittojen tuottajana – Suomen ekotehokkuuden mittaaminen*. Tutkimuksia 226. Tilastokeskus. Helsinki: Yliopistopaino.
- Hoffrén, J. (2001). *Measuring the eco-efficiency of Welfare Generation in a National Economy – The case of Finland*. Tutkimuksia 233. Tilastokeskus. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Hoffrén, J. (2004). *Ekotehokkuuden käsitteen vahvuuksista ja heikkouksista*. Teollisen

Ekologian seuran seminaari *Ekotehokkuuden vahvuudet ja heikkoudet*. Tilastokeskuksella 24.11.2004. Saatavana World Wide Webistä: <http://www.teollinenekologia.fi/pdf/Tk04/Hoffren_24112004.pdf>.

Hoffrén, J. (2005) Vihreä BKT ja ympäristötrendien mittaaminen Suomessa. Tilastokeskus. Esitys 20.04.2005. Saatavana World Wide Webistä: <<http://www.mm.helsinki.fi/mmtal/ye/YE3-05/YE3-05lu16Hoffren.pdf>>.

Hoffrén, J. & Korhonen, J. (2007). Editorial: Eco-efficiency is important when it is strategic. *Progress in Industrial Ecology – An International Journal* 4:1/2, 1–18.

Huppes, G. & Ishikawa, M. (2005). A Framework for Quantified Eco-Efficiency Analysis. *Journal of Industrial Ecology* 9: 4, 25–42. MIT Press.

Huppes, G., & Ishikawa M. (2007). An introduction to quantified eco-efficiency analysis. Teoksessa: *Quantified Eco-Efficiency – An Introduction with Applications*, 1–38. Toim. Huppes, G., & Ishikawa M. Eco-efficiency in Industry and Science 22. Netherlands: Springer.

Härmä, T., Dahl, O. & Mäenpää, I. (2005). *Suomen kaivostoiminnan ainevirrat ja sivuvirtojen hallinta* [online]. Raportti 318. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Oulu. [viitattu 28.2.2008] Saatavana World Wide Webistä: <<http://thule.oulu.fi/raportit/kaivostoim/Kaivosrap.pdf>>.

IPCC (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Summary for Policymakers* [online]. [viitattu 20.3.2008]. Saatavana World Wide Webistä: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf>.

Koponen, M. (2000). Henkilökohtainen tiedonanto Seppälälle, Koskelalle, Palperille & Melaselle (2000).

Korhonen, J. (2002). Two Paths to Industrial Ecology: Applying the Product-based and Geographical Approaches. *Journal of Environmental Planning and Management* 45:1, 39-57.

- KTM (1998). *Ekotehokkuus ja factor-ajattelu*. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 1/1998. Ekotehokkuustyöryhmä. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Lifset, R. & Graedel, T. (2002). *Industrial ecology: goals and definitions*. Teoksessa: A Handbook of Industrial Ecology 2002. Ayres, R. & Ayres, L. (toim.). Edward Elgar Publishing. Cheltenham. UK.
- Luonnonvarat ja ympäristö (2006). *Luonnonvarat ja ympäristö 2006*. Tilastokeskus. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Mainio, T. (2006). *Euroopan suurin kultakaivos rakennetaan Kittilään* [online]. Helsingin Sanomat. Julkaistu 5.6.2006 klo 19:05. [viitattu 24.4.2008]. Saatavana World Wide Webistä:
<<http://www.hs.fi/talous/artikkeli/Euroopan+suurin+kultakaivos+rakennetaan+Kittil%C3%A4n/1135220164197>>.
- Melanen, M., Palperi, M., Viitanen, M., Dahlbo, H., Uusitalo, S., Juutinen, A., Lohi, T., Koskela, S. & Seppälä, J. (2000). *Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa*. Suomen ympäristö 408. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki: Oy Edita Ab.
- MMSD (2002). *Breaking New Ground – Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project* [online]. [viitattu 2.3.2008]. London: Earthscan Publications Ltd London. Saatavana World Wide Webistä:
<<http://www.iied.org/mmsd/finalreport/index.html>>.
- M-real Oyj (2003). *Vuosikertomus 2003* [online]. [viitattu 25.2.2008]. Saatavana World Wide Webistä:
<http://www.m-real.com/ilwwcm/resources/file/eb9478028cf69a9/Mreal_ER_2003_FI.pdf>.
- Nurmi, E. (2008). *Nikkelikaivos avaa uuden ajan Sotkamossa*. Helsingin Sanomat. Julkaistu 9.3.2008. [viitattu 24.4.2008].
- OECD (1998). *Eco-efficiency*. France: Organisation for Economic Co-operation and Development.

- Parkinin, M., Powell, M. & Mathews, K. (2000). *Economics*. 4. painos. England: Pearson Education Limited. 941 s. ISBN 0201-59608-3.
- Pihlatie, K. (2005). *Metsäteollisuuden ekotehokkuuden kehitys 1998–2005*. 71 s. Julkaisematon. Helsingin Yliopisto. Taloustieteen laitos. Ympäristöekonomia. Pro gradu - tutkielma.
- Puolamaa, M., Kaplas, M & Reinikainen, T. 1996. *Index of Environmental Friendliness: A Methodological Study*. Tilastokeskus/Eurostat. Environment 1996:13. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Puustinen, K. (2003). *Suomen kaivosteollisuus ja mineraalisten raaka-aineiden tuotanto vuosina 1530–2001* [online]. Historiallinen katsaus erityisesti tuotantolukujen valossa. Arkistoraportti M 10.1/2003/3, 578 s. Geologian tutkimuskeskus. [viitattu 1.4.2008]. Saatavana World Wide Webistä: <<http://weppi.gtk.fi/aineistot/kaivosteollisuus/>>.
- Saurimo, M. (1993). *YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssi Rio de Janeiro 3.-14.6.1992*. Ympäristöministeriö ja ulkoasiainministeriö. Helsinki: Forssan Kirjapaino Oy.
- Schaltegger, S. & Sturm, A. (1990). Ökologische Rationalität. Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Managementinstrumenten. *Die Unternehmung* 4, 273–290.
- Schaltegger, S., Müller, K. & Hindrichsen, H. (1996). *Corporate Environmental Accounting*. New York: John Wiley & Sons.
- Seppälä, J., Koskela, S., Palperi, M. & Melanen, M. (2000). *Metallien jalostus ja ympäristö*. Suomen ympäristö 438. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change – The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Stora Enso (2007). *Vuosikertomus 2007* [online]. [viitattu 3.4.2008]. Saatavana World Wide Webistä: <<http://www.storaenso.com/CDAvgn/showDocument/0,,5310,00.pdf>>.

Teknologiateollisuus ry (2007). *Vuosikirja 2007* [online]. [viitattu 25.3.2008]. Saatavana World Wide Webistä:

<http://www.teknologiateollisuus.fi/files/16911_TGT_vuosikirja_29112007.pdf>.

Teknologiateollisuus ry (2008). *Metallien hintaraportti* [online]. [viitattu 4.4.2008]. Saatavana World Wide Webistä:

<http://www.teknologiateollisuus.fi/files/12604_Metallien_hintoja.pdf>.

Tiehallinto (2005a). *Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005* [online]. Suunnitteluvaiheen ohjaus. [viitattu 23.4.2008]. Tiehallinto. Helsinki. Saatavana World Wide Webistä:

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100039-v-05tieliikent_ajokustann.pdf>.

Tervonen, J., Ristikartano, J. & Penttinen, M. (2005). *Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvojen määrittäminen. Taustaraportti 2005* [online]. Sisäisiä julkaisuja 48/2005. Tiehallinto. Helsinki: Edita Prima Oy [viitattu 23.4.2008]. Saatavana World Wide Webistä:

<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/4000485-vtieliik_ajokust_yksikko.pdf>.

Tilastokeskus (2006). *Luonnonvarat ja ympäristö 2006*. Hakapaino Oy. Helsinki.

UNFCCC (2008). *Kyoto Protocol Status of Ratification* [online]. [viitattu 16.4.2008]. Saatavana World Wide Webistä:

<http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/background/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf>.

UN (2002) *Report of the World Summit on Sustainable Development* [online]. Johannesburg, South Africa, 26 August – 4 September 2002. [viitattu 3.8.2007]. Saatavana World Wide Webistä:

<http://www.un.org/jsummit/html/documents/summit_docs.html>.

Van Berkel (2007) Eco-efficiency in primary metals production: Context, perspectives and methods. *Resources, Conservation and Recycling* 51, 511–540. Elsevier.

von Weizsäcker, E., Lovins, A. & Lovins, L. (1997). *Factor Four Doubling Wealth, Halving Resource Use*. London: Earthscan Publications Limited.

WBCSD (2000a). *Eco-efficiency – Creating more value with less impact* [online]. [viitattu 4.7.2007]. Saatavana World Wide Webistä:

<http://www.wbcsd.org/DocRoot/BugWjalu0wHL0IMoiYDr/eco_efficiency_creating_more_value.pdf>.

WBCSD (2000b). *Measuring eco-efficiency – A guide to reporting company performance* [online]. [viitattu 13.2.2007]. Saatavana World Wide Webistä:

<<http://www.wbcsd.org/DocRoot/inRjcUqcjX3UepuL9xAN/MeasuringEE.pdf>>.

WCED (1987). *Our Common Future*. Oxford, New York: Oxford University Press.

Wright, S., Jahanshahi, S., Jorgensen, F. & Brennan, D. (2002). *Is Metal Recycling Sustainable?* Proceedings of the international conference on sustainable processing of minerals. Green Processing.

LIITTEET 1. Englanninkielinen tiivistelmäsiivu**UNIVERSITY OF VAASA****Faculty of Business Studies**

Author:	Eeva-Lotta Apajalahti		
Topic of the Thesis:	Eco-efficiency of Finnish metals production 2000–2006		
Name of the Supervisor:	Hannu Piekkola		
Degree:	Master of Science in Economics and Business Administration		
Department:	Department of Economics		
Major Subject:	Economics		
Year of Entering the University:	2003		
Year of Completing the Thesis:	2008	Pages:	89

ABSTRACT

Ever increasing chase of economic growth, unsustainable use of natural resources and growth of negative external effects of economical activities creates major challenges for future well-being. The change to the current patterns of unsustainable use of natural resources cannot be seen due to economic expansion of the developing countries which will increase the use of these resources for long a long time.

The policy of sustainable development has been proposed as a solution to the challenges mentioned above. The policy of sustainable development is defined as "development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs". Eco-efficiency combines the economical efficiency to environmental efficiency. It has been suggested as one of the measurements for sustainable development. This thesis provides an empirical application to measure eco-efficiency. The purpose of this study is to analyse how to measure eco-efficiency of metals production, availability of data and development of the eco-efficiency of Finnish metals production during the time period of 2000–2006.

The eco-efficiencies were measured from six of the ten biggest metals producers in Finland with six different measures which were adapted to factory level and sector level. The collection of the data was conducted directly from the factories as all the data needed was not available on public sources. Sector level information was provided by the official statistics of Statistics Finland and the Federation of Finnish Technology Industries.

The eco-efficiencies of Finnish metals producers has been crowing during the time period of 2000–2006. The factories have been able to produce more well-fare with less material and energy inputs. According to major findings the factory level eco-efficiencies has increased on an average 50 – 80 per cent and at sector level 40 – 80 per cent. In addition medium-term eco-efficiency Factor objectives were achieved.

KEYWORDS: Sustainable development, eco-efficiency, metals production, well-fare, use of natural resources, material efficiency, energy efficiency

Liite 2. Keskeiset käsitteet

KÄSITELUETTELO

Arvonlisäys (Value Added) tarkoittaa tavaran tai palvelun tuottamisesta saatavaa taloudellista lisähyötyä. Arvonlisäys lasketaan vähentämällä tuotannosta saadusta tuotoksesta (esimerkiksi liikevaihto) käytetyt tuotantopanokset ja välituotteet kuten raaka-aineet, tavarat ja ulkopuoliset palvelut.

Ekosysteemi (Ecosystem) on tietyn alueen kattava osa luontoa, joka koostuu yleensä samankaltaisista elottomista ja elollisista toimijoista. Maapallo voidaan nähdä yhtenä suurena ekosysteeminä, joka koostuu useasta erikokoisesta ala-ekosysteemistä.

Ekotehokkuus (Eco-efficiency) on yhteiskunnallinen toimintastrategia, joka tähtää materiaalien käytön vähentämiseen taloudessa samaan aikaan kun hyvinvointi säilyy vähintään ennallaan. Tavoitteena on vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia. Yhä pienemmästä määrästä materiaaleja tulee tuottaa suhteellisesti enemmän taloudellista hyvinvointia entistä oikeudenmukaisemmin jakautuneena. Ekotehokkuuden yleisenä tavoitteena on tuottaa ”vähemmästä enemmän” (nk. laadullinen kasvu).

Elinkaarianalyysi (Life Cycle Assessment, LCA) on tuotteen tai palvelun koko elinkaaren kattava analyysi, jossa tarkastellaan muun muassa tuotteen valmistuksen, kuljetuksen, käytön ja elinkaaren loppuvaiheen aikana aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

Factor 4 tavoitteen mukaan luonnonvarojen käytön tulisi tehostua globaalisti nelinkertaisesti ts. hyvinvointi tulisi tuottaa neljä kertaa pienemmällä materiaalin käytöllä, jotta saavutettaisiin kestävämmän kehityksen mukainen kulutus.

Factor 10 tavoitteen mukaan teollisuusmaiden luonnonvarojen käytön suhteessa hyvinvoinnin määrään tulisi kymmenkertaistua, jotta globaalisti saavutettaisiin nelinkertainen hyvinvointi suhteessa luonnonvarojen käyttöyn määrään vuoteen 2050 mennessä.

Hyvinvointi (Welfare) on taloustieteellinen käsite, jolla tarkoitetaan yhteiskunnan jäsenille tarpeiden tyydyttämisen kautta syntyvää parannusta elämän laadussa. Hyvinvointiteorian mukaan ihmisen kokonaishyvinvointi koostuu talouden tuottamista hyödykkeistä, luonnon ja ympäristön tarjoamista ilmaishyödykkeistä ja vapaa-ajasta.

Indikaattori (Indicator) kertoo tutkittavan kohteen tai ilmiön kehityksestä. Indikaattori siten pelkistää ja tiivistää tietoa yhdeksi luvuksi. Hyvän indikaattorin ominaisuuksia on muun muassa läpinäkyvyys ja helppo mitattavuus.

Irtikytöntä (Decoupling) tarkoittaa tässä yhteydessä luonnonvarojen käytön kehityksen ja talouskasvun kehityksen irtikytöntä toisistaan, siten että talouskasvu saataisiin aikaiseksi ilman materiaalien käytön kasvua.

Ilmastonmuutos (Climate Change) tarkoittaa maapallon ilmastossa tai paikallisissa ilmastoissa tapahtuvaa muutosta. Tällä hetkellä ilmastonmuutoksella tarkoitetaan lähinnä ihmisten toimien seurauksena aiheutunutta globaalia ilmaston lämpenemistä, mikä on seurausta kasvihuonekaasujen kiihtyvistä ja kumuloituvasta kertymisestä ylempään ilmakehään.

Kasvihuonekaasut (Greenhouse Gas) ovat kaasuja, jotka kertyessään ilmakehään estävät auringosta peräisin olevien lämpösäteiden heijastumisen maanpinnalta takasin avaruuteen, jolloin maapallon lämpötila kohoaa. Kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), dityppioksidi (N_2O) ja F-kaasut.

Kestävä kehitys (Sustainable Development, SD) on määritelty vuonna 1987 YK:n asettaman ns. Bruntlandin komission loppuraportissa ”kehitykseksi, joka tyydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa”. Sittemmin kestävä kehitys on määritelty kolmen keskenään yhtä tärkeän ulottuvuuden taloudellisen, ympäristöllisen ja sosiaalisen ulottuvuus kokonaisuudeksi.

Maapallon kantokyky (Carrying Capacity of Earth) tarkoittaa maapallon ekosysteemiin maksimaalista kykyä ylläpitää elämää. Kantokykyä rajoittavat maapallon luonnonvarojen riittävyys sekä maaperän kyky sietää ja käsitellä saasteita ja jätteitä.

Päästökauppa (Emission trading scheme) on kaupankäyntijärjestelmä, jossa käydään kauppaa päästöoikeuksilla. EU:n päästökauppajärjestelmä aloitettiin vuonna 2005 .

Suljettu materiaalikierto (Closed Material Circle) kuvaa systeemiä, jossa materiaalien kokonaismäärä ei vähene mutta materiaaleja pystytään muuttamaan toiseksi materiaaleiksi energian avulla.

Teollinen ekologia (Industrial Ecology, IE) tarkastelee teollisuudessa tapahtuvaa (l. ihmisten aikaansaamaa) materiaali- ja energiakiertoa luonnon ekosysteemeissä tapahtuvaan luonnolliseen energia- ja materiaalikiertoon nähden. Esimerkiksi luonnon ekosysteemeistä ei synny jätettä, vaan kaikki materiaali on aina tehokkaassa käytössä. Samantyyppinen kierto on tavoiteltavaa teollisissa ekosysteemeissä.

Transaktiokustannukset (Cost of transaction) on taloudellinen termi, joka kertoo sopimuksen esim. kaupan toteutumisesta aiheutuvista kustannuksista.

Termodynamiikan lait (Laws of Thermodynamics) pohjautuvat fysiikan termodynamiikkaan (=lämpöoppi), jonka mukaan termodynamiikan lait määräävät sekä luonnon että talouden toimintaa. Tämän mukaan materiaalien käytön kasvu johtaa aina vastaavaan ympäristöhaittojen kasvuun, kun teknologia säilyy ennallaan.

Ulkoisvaikutus (External effect) on taloudellinen termi, jolla tarkoitetaan taloudellisen toiminnan vaikutuksia, jotka hyödyttävät tai haittaavat kolmansia osapuolia, jotka eivät ole mukana päätöksenteossa.

Vapaamatkustajan ongelma (Free-rider problem) syntyy, kun yksittäinen toimija hyötyy muiden panostuksesta ilman omaa panostaan.

Ympäristöhaitta (Environmental Hazard) on ympäristössä tapahtuva muutos, jolla on negatiivinen vaikutus ympäristöön ja yhteiskuntaan tai osaan sen jäsenistä.

Liite 3. Esimerkki tehtaan panoksen indeksoinnista, kun lähtötaso on negatiivinen

Arvonlisäys - ympäristövai- kutukset	M€	-52,1	-47,9	-47,6	-47,4	-66,8	-32,7	-39,7
Erotus tasoon (-52,1)	M€	0,0	4,2	4,5	4,7	-14,7	19,4	12,4
Erotuksen prosentuaalinen muutos tasoon (-52,1)	%	0,0	8,1	8,6	9,0	-28,1	37,2	23,9
Arvonlisäys - ympäristövai- kutukset	index (2000=100)	100,0	108,1	108,6	109,0	71,9	137,2	123,9

Kehitystä voidaan mitata vaikka lähtötaso olisi negatiivinen. Tällöin täytyy tehdä yllä nähtävissä oleva toimenpide, jossa lähtötaso asetetaan negatiiviseen arvoon ja katsotaan sitten muutoksia tämän suhteen. Prosentuaaliset muutokset voidaan laskea myös negatiivisesta tasosta. Tämän jälkeen aloitusvuodeksi asetetaan 100 niin kuin muillekin aikasarjoille ja katsotaan prosentuaalista kehitystä suhteessa aloitusvuoteen. Eri asia on pohtia, onko merkitystä ottaa tarkasteluun mukaan, jos on negatiivisia lukuja. Mielestäni on perusteltua, sillä kehitystä voidaan silti mitata, ollaanko menty huonompaan vai parempaan suuntaan vuodesta 2000.

Liite 4. Metallien kierrätys ja sen ympäristövaikutukset

Metallien kierrätystä pidetään yhtenä ratkaisevana keinona vähentää metallien jalostuksen ympäristövaikutuksia. Metallien kierrätys vähentää neitseellisten luonnonvarojen louhinnan tarvetta, jolloin materiaalivirrat ja energian kulutus pienenevät. Metallien kierrättäminen ei heikennä metallien ominaisuuksia, mikä tekee metalleista materiaaleina ainutlaatuisia. Tämän vuoksi metallit voivat kiertää kansantaloudessa periaatteessa loputtomasti, jos metallit saadaan kerättyä tehokkaasti talteen. Esimerkiksi arvion mukaan kaikesta maailmassa valmistusta kuparista peräti 80 prosenttia kiertää edelleen. Metallien kierrätys ei kuitenkaan ole aivan täysin rajoituksetonta, sillä erilaisia hävikkejä tapahtuu metallien kierrossa jatkuvasti eikä ihan kaikkia metalleja voida enää lopputuotekäytön jälkeen erotella tuotteista. Seuraavassa tarkastellaan ensiksi metallien kierrätystä sekä siitä saatavia ympäristöhyötyjä. Lopuksi pohditaan lyhyesti, kuinka kierrätys voitaisiin huomioida ekotehokkuustarkastelussa.

Suomessa metallien kierrätys on hyvin tehokasta, mikä ilmenee Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Oulun yliopiston Thule-instituutin vuonna 2000 toteuttamasta selvityksestä *Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa* (Melanen, Palperi, Viitanen, Dahlbo, Uusitalo, Juutinen, Lohi, Koskela & Seppälä 2000). Metalliromun hyödyntämistä eli tietynä vuonna käytetty metalliromumäärä suhteessa syntyvään metalliromuun on tutkimuksen mukaan Suomessa noin 90 prosenttia. Suuri osa metallien kierrätyksessä tapahtuu myös metallien jalostusprosesseissa eli jalostuksen eri vaiheissa syntyvän metallikuonan ja muun metalliromun hyödyntäminen prosesseissa uudelleen. Metallien valmistuksen sisäisen kiertoromun kierrätys on, Melasen et al. (2000: 10) mukaan käytännössä lähes 100 prosenttia. Samoin metallituotteiden valmistuksessa syntyvä metalliromun talteenotto lähentelee 100 prosenttia (Mts. 10).

Kierrätetyn metalliromun jalostus vaatii romun esikäsitteilyä. Suomessa oli vuonna 2000 noin 250 romuliikettä, jotka vastaanottivat ja keräsivät talteen kaikenlaista metalliromua, joka esikäsiteltiin ja jalostettiin suuremmissa romuliikkeissä (Melanen et al. 7–9). Romu myydään eteenpäin joko käsiteltynä tai sellaisenaan teollisuuden käyttöön (Mts 9). Kerätty metalliromu jalostetaan edelleen uudeksi materiaaliksi, joka on laadultaan samanlainen tai samantapainen kuin alkuperäinen metalli on ollut. Tämä tapahtuu metallurgisen prosessin kautta, johon sisältyy metallien uudelleen sulatus ja jalostus (Eurofer 2006). Metallien laadusta ei voida nähdä, onko jokin tuotettu tuote valmistettu kierrätetystä vai primäärimateriaalista (Mts.). Kuinka paljon tuotteessa kulloinkin on kierrätysmetallia, riippuu tuotteen valmistushetkellä olevasta metalliromun saatavuudesta

(Eurofer 2006). Kierrätysmetallien käytön osuuteen metallien kokonaiskulutuksesta vaikuttavat metalliromun saatavuuden lisäksi muun muassa sekundäärimetallien sulatuskapasiteetin saatavuus, tuotteiden elinkaaren lopussa tapahtuvan metallienkeräyksen aste sekä metallien kulutuskysynnän kasvu (van Berkel 2007: 517).

Romun ja kierrätysmetallien käytön taloudelliset ja ympäristölliset hyödyt tulevat energian ja luonnonvarojen säästämistä. Romu on valmista metallia, jolloin energiaa tarvitaan vain metallin uudelleensulatukseen ja säästetään malmin pelkistämässä ja sulattamisessa käytettävä energia (Seppälä et al. 2000: 93). Lisäksi vähennetään metallien louhinnasta ja rikastuksesta syntyviä sivukivivirtoja, joiden syntymiseen vaikuttavat metallimalmeissa olevan metallipitoisuuden pienuus. Samalla vältytään malmin louhimisen, rikastuksen ja rikasteen kuljetuksista aiheutuvilta kustannuksilta (Mts. 93).

On arvioitu, että käyttämällä kierrätysmetalleja, metallin tuotannon sekundäärivaiheessa energiahyödyt ovat merkittävät: sekundäärialumiinin 94 prosenttia, sekundäärikiparin 75 prosenttia, sekundääriteräksen 40 prosenttia ja sekundäärilyijyn 70 prosenttia tuotannossa (Wright, Jahanshahi, Jorgensen & Brennan 2002). Energiahyödyt eivät kuitenkaan ole itsestään selvät, sillä sekundäärisinkin tuotannon on arvioitu olevan 10 prosenttia energiaintensiivisempi kuin primäärituotannon (Mts. 2002).

Metallien kierrätyksessä on kuitenkin olemassa rajat, jotka määrittävät kuinka suuren osan metalleja sisältävistä lopputuotteista voidaan metalleja erotella ja kierrättää sekundäärimetalleina. Melasen et al. (2000: 10) mukaan niin sanotun lopputuoteromun talteen ottaminen vaihtelee lähes nollostaa 100 prosenttiin. Monivaiheisesti valmistetut tuotteet, kuten autot ja elektroniset laitteet sisältävät suuren määrän erilaisia materiaaleja, muoveja ja metalleja, jolloin metallien erottelu vaikeutuu (van Berkel 2007: 517). Erilaiset metalliyhdistelmät, joita syntyy muun muassa jäännösvirtoina, vaativat erottelua varten erikoistuneita metalliprosesseja. Tällaiset vähäisten metallivirtojen ali- ja ylijäämät asettavat van Berkelin (2007: 517) mielestä kierrätykselle uusia haasteita. Lisäksi eri prosesseilla, joissa kierrätysmetalleja jalostetaan, on erilaiset vaatimukset metalliromun puhtaudelle sekä muun muassa metalliromun kappalekoolle (Melanen et al. 2000: 73). Metalleja voi myös kadota tuotteen käytön aikana ruostumisen tai kulumisen seurauksena, sekä joidenkin metallien kierrätyksessä ja keräämisessä voi tulla kustannustehokkuus vastaan, jolloin joidenkin metallien taltioiminen ei yksinkertaisesti ole taloudellisesti kannattavaa, johtuen metallien suuresta hajautumisesta tai komponenttien erottelun vaikeudesta (Eurofer 2006).

Kierrätysmetallien saatavuuteen vaikuttavat olennaisesti myös metallien kiertoajat yhteiskunnassa. Metallien kiertoajat vaihtelevat suuresti riippuen metallien lopullisista käyttökohteista. Haikan (2007) selvityksessä *Teräs Suomen kansantaloudessa* mitattiin Suomen kansantaloudessa olevan teräsvarannon kooksi 63 miljoonaa tonnia ja teräksen kiertoajaksi noin 42 vuotta (Mts. 22). Alimmillaan teräksen kiertoaika oli 13 vuotta, joka kuuluu keskimäärin kotitalouksien käyttämien metallituotteiden kierrossa ja suurimmillaan kiertoaika oli 55 vuotta, mikä kuuluu rakennuskannan sisältävien metallien kierrossa (Mts. 22).

Kierrätysmetallit ovat arvokkaita raaka-aineita. Kappaleessa 4.1 kuviossa 6 esitettiin metallien hintojen kehitys vuodesta 2000 alkaen. Kierrätysteräksen hinta on kahdeksan vuoden tarkasteluperiodilla kasvanut 2,5-kertaisesti, lähes yhtä paljon kuin kuparin hinta tuona ajanjaksona. Terästuotteiden hinnat kasvoivat noin 40 prosenttia ja ruostumattomien teräslevyjen hinnat laskivat noin 20 prosenttia. Euroferin (2006) mukaan kierrätysmetallien kohoavat hinnat kannustavat automaattisesti kierrätysmetallien keräämiseen mutta hintojen rajut nousut saattavat myös aiheuttaa metallisten lopputuotteiden ennen aikaista kierrätystä.

Periaatteessa kierrätysmetalleilla voitaisiin korvata malmipohjaisen metallien tuotanto mutta johtuen suuresta metallien kysynnästä, jota tällä hetkellä ruokkii suurelta osin Kiina, ei nykyisellä kierrätysmetallien tarjonnalla pystytä kasvavaa kysyntää tyydyttämään. Tällä hetkellä metallien kierrätysaste on jo suuri mutta metallien kysynnän kasvaessa jatkuvasti, tulee neitseellisten luonnonvarojen käyttö vääjäämättä kasvamaan. Metallien primäärituotanto eli malmipohjainen tuotanto täyttää kuilun kierrätysmetallien saatavuuden ja metallien todellisen kysynnän välillä (Eurofer 2006).

Mikäli pyrkimyksenä on tyydyttää metallien kysyntä ainoastaan kierrätysmetalleilla, tulisi miettiä metalleille mahdollisia korvaavia materiaaleja, jolloin metalleja käytettäisiin ainoastaan silloin, kun metallien ominaisuuksia ei voida korvata minkään toisen materiaalin ominaisuuksilla. Mikäli metallien käyttö on välttämätöntä tuotteen ominaisuuksien kannalta, tulisi metallien kierrätettävyyttä ottaa huomioon suunniteltaessa uusia tuotteita, jotta metallit olisivat helpommin kerättävissä tuotteista.