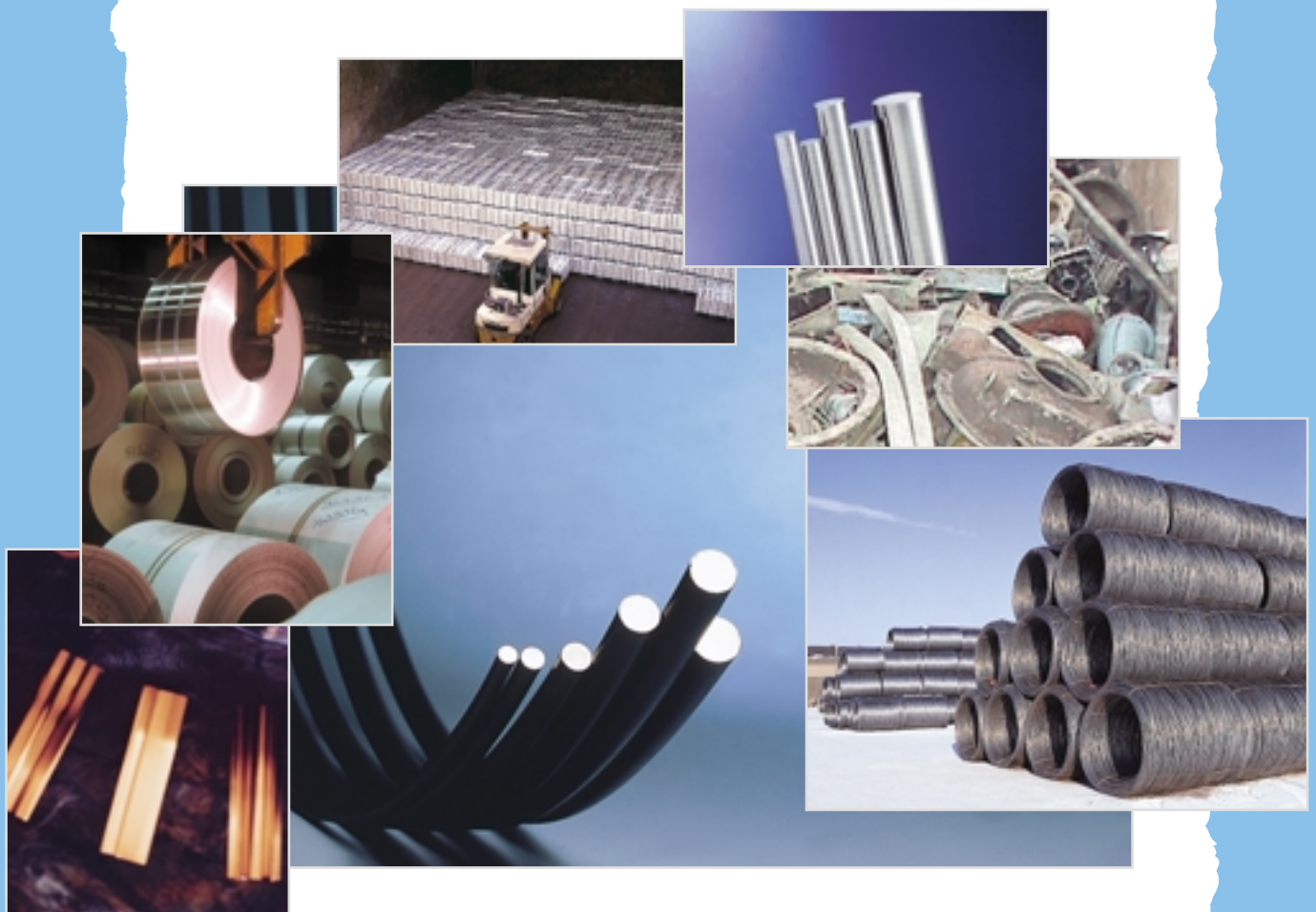


YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU

Jyri Seppälä, Sirkka Koskela,  
Matti Palperi ja Matti Melanen

# Metallien jalostus ja ympäristö







*Julkaisu on saatavana myös internetistä*  
*<http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy438/sy438.htm>*

*ISBN 952-11-0788-X*  
*ISSN 1238-7312*

*Kannen kuvat: Outokumpu Oyj, Rautaruukki Oyj, Fundia Wire Oy Ab, Imatra Steel Oy Ab, Kuusakoski Oy*  
*Kannen kuvien sommittelu: Ritva Luoma ja Sirkka Koskela*

*Taitto: Pikseri Julkaisupalvelut*

*Oy Edita Ab*  
*Helsinki 2000*

# Alkusanat

Ekokilpailukyky ja kansainvälinen toimintaympäristö asettavat uusia vaatimuksia suomalaisen metallien jalostusteollisuuden ympäristöasioiden tietopohjalle, miltä osin tietämys on ollut varsin hajanaista. Tätä taustaa vastaan Suomen metallien jalostusteollisuus ja Suomen ympäristökeskus (SYKE) aloittivat keväällä 1998 yhteisen hankkeen ”Elinkaarianalyysi metallien jalostusteollisuuden ympäristöasioiden hallinnan työvälineenä”, jonka tarkoituksena oli luoda valmiuksia elinkaariarviointien laadintaan ja niiden tulosten hyväksikäyttöön yrityksissä. Tavoitteeksi asetettiin myös kokonaiskuvan muodostaminen Suomen metallien jalostusteollisuuden ympäristöasioista tuotteiden elinkaariarviointien pohjalta. Metallien jalostusteollisuuden ympäristöasiat liittyvät kiinteästi yhteiskuntamme metallivirtoihin, minkä takia hankkeeseen sisällytettiin omana kokonaisuutena metallivirtoja ja romun kierrätystä koskeva selvitys (Melanen ym. 2000). Koko hanke on ollut osa ympäristöklusterin tutkimusohjelmaa. Tutkimusta ovat rahoittaneet ympäristöministeriö (YM), Teknologian kehittämiskeskus (TEKES) ja Metallinjalostajat ry.

Hanketta varten perustettiin johtoryhmä, jonka puheenjohtajana oli toimitusjohtaja Sirpa Smolsky (Metallinjalostajat ry) ja jäsenenä ympäristönsuojelujohtaja Matti Koponen (Outokumpu Oyj), tutkimuspäällikkö Mikko Arponen (Rautaruukki Oyj), projektipäällikkö Seppo Haarala (Imatra Steel Oy Ab), kehitysjohtaja Pertti Kostamo (Fundia Wire Oy Ab), kehitysjohtaja Antero Vattulainen (Kuusakoski Oy), projektipäällikkö Seppo Ruonala (SYKE), yksikönjohtaja Veli-Matti Tiainen (SYKE), ympäristöneuvos Sauli Rouhinen (YM), yli-insinööri Markku Hietämäki (YM) ja tutkimuspäällikkö Heikki Uusi-Honko (TEKES). Vuonna 1999 Veli-Matti Tiaisen ja Heikki Uusi-Hongon tilalle johtoryhmään tulivat yksikönjohtaja Alec Estlander (SYKE) ja teknologia-asiantuntija Helena Manninen (TEKES).

Hankkeen toteutuksesta vastasi Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijoista koottu projektiryhmä, johon kuuluivat erikoistutkija Jyri Seppälä (hankkeen vastuullinen johtaja), tutkimusprofessori Matti Melanen, diplomi-insinööri Matti Palperi, vanhempi tutkija Sirkka Koskela, vanhempi tutkija Helena Dahlbo ja tutkija Tiina-Kaisa Lohi. Metallivirtoja ja romun kierrätystä koskevaan osakokonaisuuteen osallistuivat tekijöinä lisäksi Thule-instituutin tutkijat Mikko Viitanen ja Artti Juutinen sekä Suomen Romukauppiain Liiton toiminnanjohtaja Seppo Uusitalo.

Tämä julkaisu on tutkimushankkeen loppuraportti, jossa esitettävät metallien jalostuksen materiaali-, päästö- ja jätetiedot perustuvat alan tehtaiden henkilökunnan ja Suomen ympäristökeskuksen projektiryhmän tutkijoiden yhteistyönä laadittuihin metallijalosteiden elinkaari-inventaarioselvityksiin. Tehtaita koskevat tiedot on saatu metallijalosteita valmistavien yritysten asiantuntijoilta. Yhdyshenkilöinä ovat toimineet Magnus Gottberg (Fundia Wire Oy Ab), Uolevi Idman (Imatra Steel Oy Ab), Pasi Häkkinen (Kuusakoski Oy), Joni Koskiniemi (Outokumpu Chrome Oy, Outokumpu Polarit Oy), Pia Voutilainen (Poricopper Oy), Marja Riekkola-Vanhanen (Outokumpu Reseach Oy), Stig-Göran Karlman (Outokumpu Zinc Oy), Toni Hemminki, Saara Juopperi ja Sanna Järn (Rautaruukki Steel). Suomen ympäristökeskuksen tutkijat vastaavat tehtaan ulkopuolisista tiedoista, elinkaariarviointiin liittyvistä menetelmällisistä valinnoista ja teknisestä toteutuksesta. Poikkeuksen tekee Rautaruukki, jonka laatimia Raahen ja Hämeenlinnan tehtaiden metallijalosteiden inventaarioanalyysijä on käytetty sellaisenaan tässä työssä.

Tutkimushankkeen yhteydessä laaditut elinkaari-inventaarioselvitykset on toimitettu ko. metallijalosteita valmistaville yrityksille. Niissä on esitetty materiaali-, päästö- ja jätetiedot sekä niiden arviointiperusteet yksityiskohtaisesti. Lisäksi kaikille hankkeeseen osallistuneille yrityksille on toimitettu niiden toimintaan liittyvät ympäristövaikutusarviointiselvitykset ja materiaalia päätösanalyysin hyötykäyttömahdollisuuksista yritysten ympäristöasioiden hallinnassa. Inventaarioanalyysin laskentaperusteista sekä päätösanalyysin käytöstä ja ympäristövaikutusarvioinnista julkaistaan erilliset raportit Suomen ympäristökeskuksen julkaisusarjoissa.

Tutkimushankkeen yhteydessä projektiryhmä on järjestänyt erilliset seminaarit yrityksille elinkaari-inventaarioanalyysin laadinnasta (17.8.1998) sekä vaikutusarvioinnin ja päätösanalyysin käytöstä (25.1. ja 31.1.2000).

Lisäksi työn tuloksista järjestettiin 15.6.2000 seminaari hankkeessa mukana olleiden yritysten johtohenkilöille. Paikalla olleille kohderyhmille annettiin mahdollisuus kommentoida työtä. Tekijät ovat kiitollisia saamastaan palautteesta. Lisäksi tekijät haluavat kiittää johtoryhmää ja tehtaiden yhteistyöhenkilöitä erinomaisesta yhteistyöstä ja työn aikana annetusta runsaasta palautteesta, joka omalla arvokkaalla tavallaan vaikutti työn sisältöön.

# Sisällys

<b>I Johdanto .....</b>	<b>7</b>
1.1 Taustaa .....	7
1.2 Työn tarkoitus ja tavoitteet .....	9
1.3 Aineiston käyttöön liittyviä näkökohtia ja rajoituksia .....	10
<b>2 Metallien jalostus Suomessa .....</b>	<b>11</b>
2.1 Yleiskatsaus Suomen metallien jalostamiseen .....	11
2.2 Metallien valmistuksesta Suomessa .....	15
2.2.1 Teräkset .....	15
2.2.2 Ruostumaton teräs .....	17
2.2.3 Kupari ja nikkeli .....	17
2.2.4 Sinkki .....	19
2.2.5 Alumiini .....	20
2.3 Suomen metallien jalostusteollisuuden kehitysnäkymät .....	20
<b>3 Aineisto ja menetelmät.....</b>	<b>22</b>
3.1 Lähtökohdat .....	22
3.2 Inventaarioselvitykset .....	23
3.2.1 Tavoitteet ja toteutus .....	23
3.2.2 Tuotteet ja toiminnalliset yksiköt .....	24
3.2.3 Tuotejärjestelmien rajaukset .....	25
3.2.4 Aineiston luokittelu .....	27
3.2.5 Elinkaarivaiheet .....	28
3.2.6 Allokointi- ja laskentamenettelyt .....	30
3.3 Vaikutusarviointi .....	31
3.3.1 Arviointikehikko .....	31
3.3.2 Valtakunnallinen arviointimalli .....	32
3.3.3 Kokonaisarviointimalli .....	35
<b>4 Inventaarioselvitysten keskeiset tulokset.....</b>	<b>40</b>
4.1 Lähtökohdat .....	40
4.2 Materiaalisyötteen .....	41
4.3 Primäärienergian ominaiskulutukset .....	48
4.4 Päästöt ilmaan ja veteen .....	50
4.5 Jätteet .....	54
4.6 Tulosten vertailua muiden tutkimusten tuloksiin .....	56
4.6.1 Lähtökohdat vertailulle .....	56
4.6.2 Primäärienergia ja hiilidioksidin ominaispäästöt .....	57
4.6.3 Typenoksidit, rikkidioksidi ja metallit .....	59

<b>5</b>	<b><i>Vaikutusarvioinnin tulokset</i></b> .....	<b>61</b>
5.1	Tulosten esittämisestä ja niiden tulkinnasta .....	61
5.2	Teräslevyt ja -kelat .....	63
5.3	Terästangot .....	67
5.4	Teräslangat .....	70
5.5	Ruostumattomat teräsnauhat .....	73
5.6	Muokatut kuparituotteet .....	75
5.7	Nikkelikatodit ja -brikitit .....	80
5.8	Sinkkiharkot .....	83
5.9	Alumiiniharkot .....	85
5.10	Tulosten suuruusluokasta ja luotettavuudesta .....	88
<b>6</b>	<b><i>Suomen metallien jalostuksen ympäristöasioiden tarkastelua ekotehokkuuden näkökulmasta</i></b> .....	<b>92</b>
6.1	Luonnonvarojen ja energian käyttö .....	92
6.2	Päästöt .....	97
6.3	Muut kohdentamisalueet .....	101
6.4	Tutkimus- ja kehittämistarpeita .....	103
<b>7</b>	<b><i>Yhteenveto ja johtopäätökset</i></b> .....	<b>105</b>
	<b><i>Summary and conclusions</i></b> .....	<b>110</b>
	<b><i>Kirjallisuus</i></b> .....	<b>115</b>
	<b><i>Käsiteluettelo</i></b> .....	<b>118</b>
	<b><i>Liitteet</i></b>	
Liite 1	Tuotejärjestelmien virtauskaavioita .....	121
Liite 2	Valtakunnallisen mallin vaikutusluokkien arvottamiskysely .....	129
Liite 3	Ekotoksisuuden ja terveysvaikutusten arviointi .....	135
Liite 4	Inventaarioanalyysin tuloksiin vaikuttavia tekijöitä .....	139
Liite 5	Päästöt ilmaan ja veteen elinkaarivaiheittain .....	142
Liite 6	Vaikutusarviointimallien tulosten herkkyydestä .....	150
	<b><i>Kuvailulehdet</i></b> .....	<b>153</b>



# Johdanto

---

## 1.1 Taustaa

Jo usean vuosikymmenen ajan yritykset ovat ottaneet toiminnassaan huomioon ympäristösuojelunäkökohdat. Aikaisemmin yritysten ympäristönsuojelu miellettiin tuotantolaitosten jätevesi- ja savukaasupäästöjen vähentämiseksi, joka tapahtui pitkälti viranomaismääräysten tahdissa. Ekokilpailukyvyyn korostumisen myötä ympäristönsuojelua pyritään hoitamaan nykyisin entistä enemmän vapaaehtoisesti. Yleinen suuntaus on, että ympäristöasiat integroidaan yhdessä turvallisuus- ja terveysasioiden kanssa osaksi yritysten laatujärjestelmää. Nykyisin yritykset ottavat vastuuta myös aikaisempaa selvemmin tuotantolaitostensa rajojen ulkopuolisista asioista. Yhä useammalle asiakkaalle on tärkeää osoittaa, että yrityksen tuotanto ja tuotteet ovat sellaisia, että niistä aiheutuu mahdollisimman vähän haittoja tuotteen koko elinkaaren aikana.

Ympäristöasioiden kokonaisvaltainen hoitaminen on yrityksille haasteellinen tehtävä, minkä takia ympäristöasioiden hallintaan on kehitetty erilaisia työvälineitä. Eräs tällainen ympäristöjohtamisen työkalu on elinkaariarviointi. Sen kehittämisen juuret ovat teollisuudessa ja sen käyttöön on asetettu paljon toiveita. Elinkaariarviointi, jonka avulla voidaan tuoda näkyviin yrityksen toiminnan vaikutukset ympäristöön tuotteen koko elinkaaren ajalta, avaa uudenlaisia mahdollisuuksia yrityksen ympäristömyötäisen toiminnan suunnitteluun ja ympäristömyötäisten saavutusten esittämiseen.

Elinkaariarviointien tekeminen on koettu työlääksi, mutta siitä huolimatta niiden laadinta on selvästi yleistynyt yritysmaailmassa kymmenen viime vuoden aikana. Sovellukset ovat lisääntyneet myös julkishallinnossa. Myönteiseen kehitykseen ovat vaikuttaneet etenkin parantunut lähtötietojen saatavuus ja metodinen valmius. Kansainvälisesti elinkaariarvioinnin ns. inventaariovaiheesta, jossa arvioidaan tarkasteltavaan tuotteeseen liittyvät syötteet (raaka-aineet, apu- ja polttoaineet, sähkö) ja tuotokset (päästöt ilmaan ja veteen, kiinteät jätteet, sivutuotteet, jätelämpö jne.), vallitsee laaja yksimielisyys ja siltä osin asia on esitetty kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n 14 040 -sarjan standardeina. Sarja täydentyy aikanaan muun muassa vaikutusarvioinnin osalta, jonka suhteen menetelmät kehittyvät koko ajan.

Elinkaariarvioinnin ja siihen perustuvan lähestymistavan yleistymiseen on vaikuttanut myös käyttäjä- ja kehittäjäpiireissä syntynyt näkemys, että elinkaariarvioinnin toteutuksen yksityiskohtaisuus riippuu työn tavoitteista ja käyttökohteesta. Aina ei ole tarpeen tehdä teknisesti täydellisiä selvityksiä. Esimerkiksi tuotekehittely ei välttämättä tarvitse tuekseen kovin seikkaperäisiä ja määrällisiä analyysejä. Varsin yksinkertaisella, elinkaaren huomioon ottavalla tarkastelulla voidaan ymmärtää olemassa olevien tuotteiden tai uusien tuotteiden ympäristönäkökohtiin liittyvät edut, haitat ja epävarmuudet. Mutta jos tarkastelujen tuloksia aiotaan käyttää ulkoisiin tarpeisiin, esimerkiksi yleisölle esitettävien vertailuväitteiden tuottamiseen, sitä suurempia vaatimuksia asetetaan analyysin tekniselle toteutukselle ja tulosten luotettavuudelle.

Elinkaariarvioinnin yhteydessä on vakiintunut käytäntö esittää ympäristövaikutusarvioinnin tulokset tuotettua tuotemäärää tai palvelu suoritetta kohti. Menettelytapa eroaa tältä osin ns. perinteisestä ympäristövaikutusten arvioinnista, jossa arvioinnin lähtökohtana ovat tuotannon aiheuttamat absoluuttiset kuormitusmäärät ja niiden aiheuttamat ympäristövaikutukset. Elinkaariarvioinnin tulostuksen taustalla on ajattelumalli, jossa tuotteiden ympäristömyötäisyyttä voidaan arvioida tuotteeseen tai palveluun sisältyvän "toiminnallisen sisällön" ja sen tekemiseen liittyvän ympäristökuormituksen avulla. Tällä on selvä yhtäläisyys ekotehokkuus-termiin, jota on ryhdytty yleisesti käyttämään viimeaikaisessa ympäristöpoliittisessa keskustelussa.

Ekotehokkuudella tarkoitetaan yleisesti ottaen toimintaa, jonka tavoitteena on tuottaa "vähemmästä enemmän". Muun muassa OECD (1998) on määritellyt ekotehokkuuden seuraavasti: "Ekotehokkuus ilmaisee tehokkuutta, jolla inhimilliset tarpeet täytetään käyttäen ekologisia resursseja". Ekotehokkuutta voidaan OECD:n (1998) mukaan kuvata yhtälöllä:

$$\text{Ekotehokkuus} = \frac{\text{tuotteiden ja palveluiden arvo}}{\text{ympäristöön kohdistuvien paineiden summa}}$$

missä tuotteiden ja palveluiden arvo kuvaa kokonaisuutta (outputs), jonka yritys, sektori tai talous kokonaisuudessaan tuottaa. Ympäristöön kohdistuvilla paineiden summalla ymmärretään kaikkia niitä ympäristövaikutuksia, jotka tuotteiden ja palveluiden synnyttäminen aiheuttaa.

Ekotehokkuusyhtälön nimittäjän ja osoittajan tarkka määrittäminen on kansainvälisen tutkimus- ja kehittämistyön kohteena. Yhtälön tulkinta saa helposti erilaisen sisällön riippuen siitä kenen kannalta asiaa katsotaan. Tuotteen valmistajan kannalta luonteva tuotoksen mittari on taloudellinen arvo. Yhteiskunnan intresseissä on liittää tuotteiden ja palveluiden arvoon myös yhteiskunnan hyvinvointiin liittyviä näkökohtia. Tuotteen ostajan kannalta tuotteen ja palvelun arvo on siihen liittyvä tarve, joka tulee tyydytetyksi.

Tuotteen valmistaja voi lisätä tuotteensa ekotehokkuutta pienentämällä sen elinkaaren eri vaiheissa esiintyviä ympäristöä kuormittavia ja muuttavia tekijöitä. Ekotehokkuusyhtälön nimittäjänä voidaan siis ajatella olevan elinkaariarvioinnin tulos. Ympäristöön kohdistuvien paineiden summan arvioinnin lähtökohtana voi olla inventaarioanalyysin tulos, joka muodostuu erilaisten päästöjen ja kuormitustekijöiden arvoista. Yleistäen voidaan sanoa, että ekotehostumista tapahtuu, jos yhden tai useamman kuormitustekijän arvo tuotettua tuotemäärää kohti paranee muiden kuormitustekijöiden ja tuotteen arvon pysyessä ennallaan. Inventaarioaineiston tulkinta on ongelmallisempi, jos joidenkin kuormitustekijöiden arvot ovat nousseet ja joidenkin taas laskeneet aikaisempaan tilanteeseen nähden. Tätä varten inventaariotietojen tulkintaan on kehitetty elinkaariarvioinneissa menetelmiä, joilla kuormitustekijöihin liittyvät arvot voidaan tiivistää ympäristövaikutusindekseiksi. Periaatteessa näiden lukuarvojen käyttö helpottaa ekotehostumisen arviointia. Ongelmana ovat kuitenkin niiden arviointiin liittyvät menetelmälliset puutteet ja siitä seuraavat epävarmuudet tuloksissa.

Elinkaariarvioinnin soveltamisen lähtökohtana ekotehokkuudessa on, että elinkaariarvioinnissa tutkittava toiminnallinen yksikkö on sama kuin ekotehokkuustarkastelun kohde. Elinkaariarvioinnin tiedot esitetään toiminnallista yksikköä kohti. Elinkaariarvioinnissa varsinaisena toiminnallisena yksikkönä voi olla vain jokin ns. lopputuote, johon liittyy jokin toiminto. Rautakanki ja auto ovat esimerkkejä lopputuotteista, mitä taas niiden valmistuksessa käytettävä terästan-ko ei ole.

Lopputuotteita valmistavat yritykset voivat parantaa ekotehokkuuttaan muun muassa valitsemalla tuotteittensa valmistuksessa käytettävien materiaalien toimittajat siten, että materiaaleihin liittyvä ympäristökuorma on aikaisempaa pienempi. Monet yritykset ovat ryhtyneet edellyttämään alihankkijoiltaan elinkaariarviointeja. Elinkaariarvioinnin käyttöön ovat vaikuttaneet etenkin yritysten strategiset valinnat ja yritysten asiakkaat, jotka ovat edellyttäneet tai joiden on kuviteltu edellyttävän yrityksiltä näyttöä ympäristönsuojelun tasosta myös koko elinkaari huomioon ottaen.

Metallien jalostus muodostaa merkittävän rakennemateriaaleja valmistavan toimialan, jonka tuotteet, metallijalosteet, ovat perusta monelle lopputuotteelle. Metallituotteita sisältävien lopputuotteiden valmistajien ekotehostumistarpeet heijastuvat helposti metallien jalostuksen toimialalle: metallijalosteiden valmistajilta edellytetään tuotteistaan elinkaari-inventaarioita, joiden pohjalta lopputuotteiden elinkaariarvioinnit voidaan helposti laatia ja siten osoittaa asiakkaille lopputuotteiden ympäristömyötäisyys.

Metallien jalostuksen asema Suomen taloudessa on merkittävä. Jo alan itsensä kehittämisen kannalta on tärkeää, että ympäristöasioista on riittävän monipuolinen ja luotettava kokonaiskuva. Tällainen tietopohja on tarpeen kaikille niille tahoille, jotka työssään joutuvat käsittelemään metallien jalostusteollisuutemme ympäristöasioita esimerkiksi EY:n ympäristösäädösten valmistelun yhteydessä. Perustana tälle työlle on monipuolinen, elinkaariajatteluun pohjautuva tietopohja metallien jalostuksen ympäristöasioista, miltä osin tietämys on ollut tähän asti varsin hajanaista.

## **1.2 Työn tarkoitus ja tavoitteet**

Edellä esitettyä taustaa vasten Suomen metallien jalostusteollisuus ja Suomen ympäristökeskus aloittivat kevättalvella 1998 yhteisen hankkeen, jossa Suomen metallien jalostuksen keskeisille tuoteryhmille, metallijalosteille, laadittiin yhteinäisin perustein elinkaariarviointit.

Työn päätavoitteita olivat

- muodostaa kokonaiskuva Suomen metallien jalostusteollisuuden materiaalien ja energian käytöstä, päästöistä ja ympäristövaikutuksista tuotteiden koko elinkaari huomioon ottaen; ja
- tunnistaa metallien jalostuksen ympäristönsuojelutoimenpiteiden kohdentamisalueita ekotehokkuuden näkökulmasta.

Työssä ei ole kuitenkaan pyritty esittämään toimenpidesuosituksia eikä arvioimaan ympäristönsuojelutoimenpiteiden kohdentamisalueisiin liittyviä kustannusnäkökohtia.

Tässä työssä on ollut tarkoitus edistää elinkaariajattelun käyttöönottoa esitettyjen materiaalien ja energian käyttö- ja päästötietojen avulla muissakin yhteyksissä. Tietoja voidaan rajoitetusti käyttää lopputuotteiden elinkaariarviointien lähtötietoina (ks. kohta 1.3).

Työn tarkoituksena on ollut myös kehittää elinkaariarvioinnin inventaarioaineiston hyötykäyttöä, mikä samalla palvelee yleisemminkin päästöjen samanlaisen hallinnan menettelytapojen kehittämistä. Selvityksessä esitetään myös tutkimus- ja kehittämistarpeet, jotka ovat tulleet työn aikana esille.

### **1.3 Aineiston käyttöön liittyviä näkökohtia ja rajoituksia**

Työssä esitettyjä metallijalosteita ei voida verrata keskenään energian käytön tai muiden ympäristönäkökohtien suhteen. Kullekin tuotteella on oma käyttötarkoituksensa, joten niillä ei ole keskinäiseen vertailuun sopivaa yhteistä toiminnallista yksikköä. Periaatteessa vertailua voidaan tehdä eri metallituotteista valmistettujen lopputuotteiden kesken. Tällöinkin tulee kuitenkin varmistaa, että vertailtavien lopputuotteiden käyttötarkoitukset ja elinkaariarviointitietojen arviointiperusteet ovat samoja.

Metallijalosteisiin liittyvät luonnonvarojen ja energian käyttö- ja päästötiedot on esitetty tässä selvityksessä yhteenvetoina, joissa on mukana vain osa materiaalien käyttö- ja päästötiedoista. Näitä tietoja voidaan hyödyntää sellaisenaan lähinnä vain ns. yksinkertaistetuissa elinkaariarvioinneissa, joiden tarkoituksena on arvioida metallituotteita sisältävien tuotteiden ympäristönäkökohtia karkealla tasolla. Metallijalosteille tehdyt ja tehtäville luovutetut inventaarioselvitykset sisältävät tuotteiden valmistuksen vaatimat materiaali- ja energiasyötteet sekä päästö- ja jätetiedot tässä esitettyä kattavammin ja yksityiskohtaisemmin. Vaikka työssä on pyritty nostamaan esiin ympäristönäkökohdiltaan merkittävimmät tekijät, tulee yksityiskohtaisten elinkaariarviointien laatijoiden liittää arvioihinsa yksityiskohtaisemmat, esimerkiksi yrityksille toimitettujen inventaarioselvitysten, tiedot.

Työssä on tunnistettu ympäristönäkökohtien parantamiskohteita tuotteiden elinkaaren eri vaiheissa. Tunnistamisprosessissa käytetyn vaikutusarviointimallin tulosten mittayksiköt ovat tapauskohtaisia, eikä sen tuloksena saatuja ns. vaikutuspisteitä voida verrata suoraan minkään kansainvälisen laskentaohjelman tuloksiin. Vaikka eri tuotteiden vaikutuspisteet on esitetty samassa yksikössä, ei eri tuotteita ole tarkoitettu vertailtavaksi keskenään. Tuotteiden vaikutuspisteiden vertailulle pätevät samat näkökohdat kuin mitä edellä on esitetty tuotteiden luonnonvara-, energia- ja päästötietojen keskinäisestä vertailusta.

Metallien jalostuksella tarkoitetaan tässä yhteydessä metallien valmistusta malmeista ja muista raaka-aineista metallijalosteiksi, jotka edelleen ovat jatkojalostuksen ja metallituotteiden valmistuksen raaka-aineita. Aikaisemmin metallien jalostusteollisuutta on kutsuttu metallien perusteollisuudeksi tai perusmetalliteollisuudeksi. Rajat metallien jalostusteollisuuden, jatkojalostuksen ja metallituoteollisuuden välillä eivät ole yksiselitteisiä.

Käsillä olevan tutkimuksen taustaksi tarkastellaan tässä luvussa aluksi Suomen metallien jalostusteollisuutta kokonaisuutena yleisellä tasolla ja sitten lyhyesti erikseen kunkin tutkimuksen kohteeksi valitun tuotteen, metallijalosteen, valmistusta. Todettakoon, että tässä tutkimuksessa tarkasteltavat tuotteet eivät kata kaikkia Suomessa valmistettavia metalleja ja metallijalostetyyppejä eivätkä kaikkia metallien jalostusteollisuudeksi katsottavia tai siihen rinnastettavissa olevia toimialojakaan. Muun muassa valimoteollisuus ei ole mukana, vaikka esimerkiksi rauta- ja teräsvalimojen raaka-aineet sekä sulatus- ja raffinointiprosessit ovat samoja kuin yleensä teräksen valmistuksessa.

## 2.1 Yleiskatsaus Suomen metallien jalostamiseen

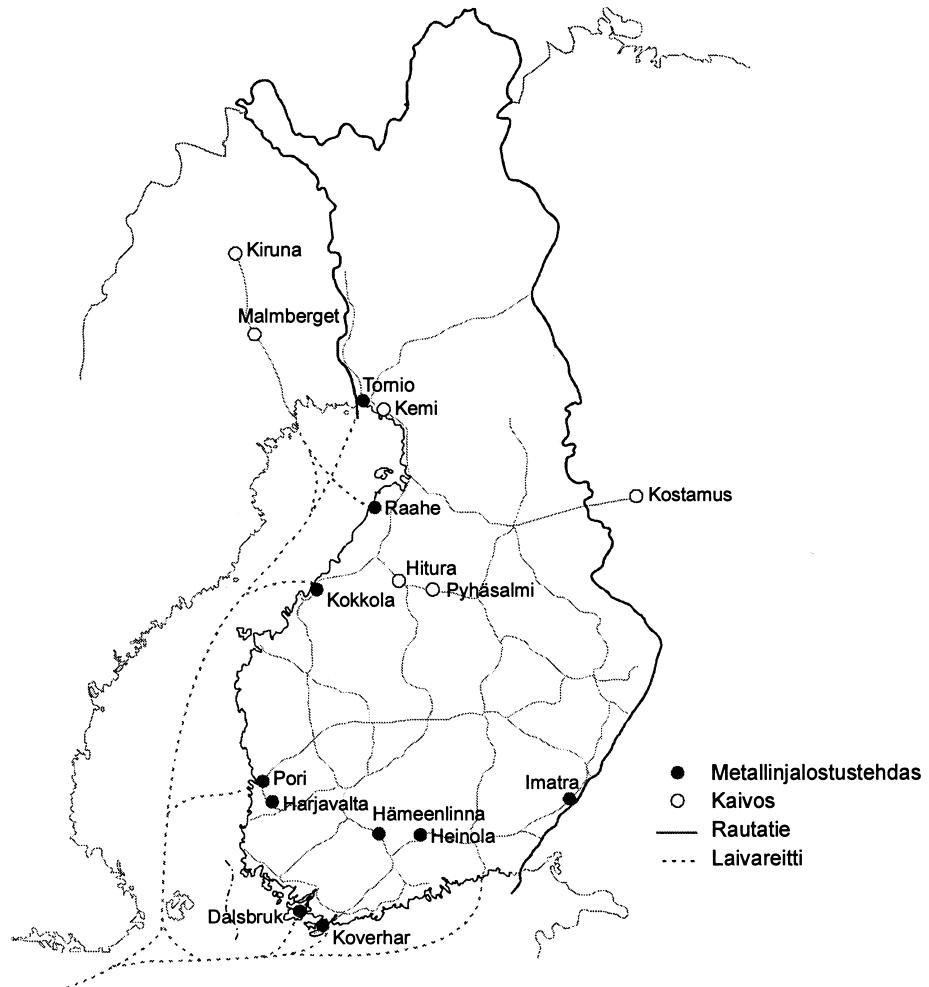
Teollinen toiminta Suomessa alkoi nimenomaan rautaruukeista. Niitä perustettiin 1500-luvun puolivälin ja 1800-luvun lopun välillä niin, että kaikkiaan Suomessa on ollut noin 60 ruukkia ja 40 harkkoyhtiötä (Salokorpi 1999).

Suomen nykyaikaisen metallinjalostuksen alkupisteinä voidaan pitää 1930-luvun lopulla Imatralle rakennettuja ja sen ajan mittapuun mukaan arvioituna erittäin moderneja Outokumpu Oy:n kuparitehdasta ja Oy Vuoksenniska Ab:n (myöhemmin Ovako, nykyisin Imatra Steel) rauta- ja terästehdasta. Sodan aikana ehdittiin aloittaa myös nikkelin valmistus silloin Suomeen kuuluneen Petsamon Kolosjoella (Autere ja Liede 1989). Sodan jälkeen, erityisesti 1950- ja 1960-luvuilla, metallien jalostusteollisuus monipuolistui ja kehittyi voimakkaasti. Outokummun kuparinjalostuslaitokset rakennettiin Poriin, kuparitehdas siirrettiin Imatralta Harjavaltaan, kehitettiin liekkisulatusmenetelmä sekä rakennettiin nikkelitehdas ja Kokkolaan mm. kobolttitehdas ja sinkkitehdas. Tornioon rakennettiin ferrokromitehdas ja jaloterästehdas. Oy Vuoksenniska Ab rakensi mm. Turun masuunin ja Koverharin rauta- ja terästehtaan. Perustettiin Rautaruukki Oy, joka rakensi Raahen rauta- ja terästehtaan sekä Hämeenlinnan tehtaata. Suomen romun keräystä, hankintaa ja käytön koordinoitua varten perustettiin Osuuskunta Teollisuuden Romu (OTR). Romun käsittelylaitos Kuusakoski Oy aloitti romun käsittelyn yhteydessä romupohjalta alumiinin valmistuksen.

Nykyisin maassamme valmistetaan ja jalostetaan erittäin monia metalleja. Kuva 1 osoittaa paikkakunnat, joilla vuonna 2000 on merkittäviä metallinvalmistus- ja -jalostustehtaita, sekä tärkeimmät Suomessa ja lähialueilla käytössä olevat malmiesiintymät. Päätuoteluonteisia metalleja ovat (rauta ja) teräkset, ferrokromi, ruostumattomat teräkset, sinkki, kupari – ja sen seoksista muun muassa pronssit, messingit, nikkelikuparit –, nikkeli sekä alumiini (joka valmistetaan romusta).

Sinkin, nikkelin ja kuparin tuotannon sivutuotteina erotetaan ja valmistetaan myyntituotteiksi muun muassa kadmiumia, elohopeaa, kobolttia, hopeaa, kultaa, platinametalleja sekä seleeniä (ja telluuria).

Vuosikymmenten aikana rikasteiden ja metallien tuotannossa on tapahtunut myös jonkin verran muutoksia. Nykyisin rikasteet tuodaan ferrokromia lukuun ottamatta pääosin ulkomailta (kuva 1). Taulukoissa 1 ja 2 esitetään tilastotietoja tärkeimmistä Suomessa 1970–1999 valmistettujen metallien ja niiden raaka-aineiden (malmien) tuotantomääristä (Salo 1971, 1981 ja 1991, Vartiainen 1999).



Kuva 1. Suomen metallien jalostusteollisuuden tuotantolaitokset ja kaivokset sekä lähialueen kaivokset ja rautatie- ja laivaliikennereitit.

Taulukko 1. Rikasteiden tuotanto Suomessa 1970–1999.

Rikaste	Rikasteiden tuotanto (t/a) Suomessa			
	1970	1980	1990	1999
Rautarikasteita yhteensä	997 436	1 172 176	69 000	-
- rautarikaste (+ pelletit)	574 895	810 006	-	-
- rautapasute (+ purppuramalmi)	422 541 <sup>1</sup>	362 170 <sup>1</sup>	267 700 <sup>2</sup>	276 000 <sup>2</sup>
Rikkirikaste	970 703	321 797	671 661	840 000
Kobolttirikaste	4 051	143 807	-	-
Lantanidirikaste	9 132	-	-	-
Kromirikaste, ml palarikaste ja valuhiekka	148 112	340 952	489 265	597 000
Ilmeniittirikaste (titaanioksidipigmentin valm.)	151 000	159 000	-	-
Nikkelirikaste	93 065	100 471	135 397	6 760
Sinkkirikaste	119 668	116 633	99 084	37 700
Kuparirikaste	145 933	156 432	52 449	38 400
Lyijyrikaste	9 132	2 696	4 104	-

Huomautukset: <sup>1</sup> käytetty rautamalmina, <sup>2</sup> ei käytetty rautamalmina

Käytetty merkintä: - = tuotantoa ei ollut

Taulukko 2. Metallien tuotanto Suomessa 1970–1999.

Metallit ja metalliset tuotteet	Yksikkö	Tuotanto Suomessa			
		1970	1980	1990	1999
Raakarauta	t/a	1 163 793	2 019 158	2 283 000	2 954 127
Teräkset (niukkaseosteiset)	t/a	1 169 000	2 414 775	2 634 483	3 955 658
Ruostumattomat teräkset	t/a	-	93 225	226 017	597 900
Ferrokromi	t/a	33 021	52 670	156 518	256 300
Vanadiini (-pentoksidi)	t/a	2 347	5 076	-	-
Katodikupari	t/a	34 047	40 542	65 103	114 700
Nikkeli	t/a	4 009	12 807	16 882	50 000
Rikki (alkuaine)	t/a	114 822	-	-	-
Koboltti	t/a	1 008	1 151	333	(+)
Sinkki	t/a	55 820	146 719	174 923	225 200
Kadmium	t/a	89	581	569	700
Molybdeeni	t/a	-	114	(+)	(+)
Elohopea	kg/a	-	74 819	140 972	55 000
Hopea	kg/a	23 009	44 465	28 508	30 700
Seleeni	kg/a	6 946	17 250	31 160	36 800
Kulta	kg/a	632	1 301	2 813	6 938

Käytetyt merkinnät: - = tuotantoa ei ole ollut, (+) = tuotantoa on ollut muussa muodossa

Metallijalosteiden tuotantomäärät ovat maassamme kasvaneet ja kasvavat edelleen (taulukko 3).

Terästen tuotannon kasvun kanssa samanaikaisesti on tapahtunut toimialan rationalisointia ja tuotannon keskittymistä sekä erikoistumista, jatkojalostuksen lisääntymistä ja voimakasta laadullista kehitystä. Malmipohjaisessa teräksen valmistuksessa on siirrytty kokonaan ulkomaisiin raaka-aineisiin.

E erityisen merkittävää on ruostumattomien terästen (ja niihin liittyvän ferrokromin) sekä nikkelin valmistusmäärien jyrkkä kasvu. Kuparin tuotannon kasvu on tasaantunut ja kotimaisen rikastetuotannon vähenemisen takia on enenevästi siirrytty tuontiraaka-aineisiin. Raaka-aineiden suhteen sinkin tilanne on saman-

kaltainen, mutta tuotantomäärä on edelleen kasvussa. Sivutuotteina saatavien kullan, seleenin, hopean ja muiden vastaavien metallien määrät ovat sidoksissa päätuotteen – tässä tapauksessa kuparin – tuotantoon ja sen raaka-aineiden vaihteleviin metallipitoisuuksiin.

Taulukko 3. Eräiden metallien tuotantomäärien kasvu Suomessa vuodesta 1970 vuoteen 1998 (Kasvukerroin = vuoden 1998 tuotantomäärä verrattuna vuoden 1970 tuotantomäärään).

Metalli, jaloste	Kasvukerroin	Metalli, jaloste	Kasvukerroin
Niukkaseosteiset teräkset	2,9	Sinkki	3,6
Ferrokromi	7,0	Kupari (katodit)	3,6
Ruostumattomat teräkset	6,2*	Kulta	7,9
Nikkeli	10,8	Seleeni	6,2

Huomautus: \* Ruostumattomilla teräksillä vertailu vuoteen 1980 (= 19 vuoden kasvu), koska vuonna 1970 ei tuotantoa vielä ollut.

Suomen metallien jalostusteollisuuden merkitys Suomen taloudessa on huomattava. Imatra Steelin, Outokumpu Oyj:n ja Rautaruukki Oyj:n tuotannon yhteenlaskettu jalostusarvo ja bruttoarvo olivat vuonna 1999 noin 5,8 ja 28,3 mrd. markkaa (MET Vuosikirja 2000). Vastaavat luvut olivat vuonna 1995 koko maamme teollisuustoiminnan osalta 124,4 ja 355,8 mrd. markkaa. Kuusakoski Oy mukaan lukien teollisuudenala työllisti vuonna 1999 yhteensä noin 16 000 ihmistä kotimaassa. Ulkomailla suomalaiset metallinjalostusyrietykset työllistivät noin 11 000 työntekijää. Metallien jalostusteollisuuden välilliset työllisyys- ja talousvaikutukset Suomessa ovat huomattavat, sillä metallijalosteita jatkojalostetaan laajalti. Metallijalosteiden valmistukseen on myös kytkeytynyt merkittävää metallurgista laite- ja systeemivalmistusta sekä siihen liittyvää suunnittelua ja konsultointia.

Suomi on absoluuttisestikin monien metallien tärkeä tuottaja, mutta aivan erityisesti merkitys näkyy tarkasteltaessa tuotannon määrää suhteessa Suomen asukaslukuun, joka on hieman alle 0,1 % maailman väkiluvusta. Tämä käy hyvin ilmi taulukosta 4, jossa on vertailtu eräiden merkittävien maiden terästen tuotantoja. Suomen terästen valmistusmäärä, noin 4 miljoonaa tonnia vuodessa, on maailman kokonaistuotannosta 0,51 %, joka on lähes kuusinkertainen suhteessa asukasluvun osuuteen. Alumiinia lukuunottamatta muiden tässä työssä tarkasteltujen metallien valmistusmäärien Suomen osuudet maailman tuotannosta ovat suhteellisesti vielä paljon suurempia kuin teräksillä: kuparilla noin 2 %, sinkillä 3 %, nikkelillä 4 % ja ruostumattomilla teräksillä 5 % (Koponen 2000).

Taulukko 4. Tietoja eräiden maiden terästen valmistuksesta vuonna 1998 (IISI 1999).

Maa	Teräksen tuotanto (milj. t/a)	Osuus maailman tuotannosta (%)	Tuotanto per capita (kg/a/asukas)
Suomi	4,0	0,51	766
Ruotsi	5,2	0,67	586
Saksa	44,0	5,7	536
Englanti	17,3	2,2	300
EU	159,9	20,6	427
Japani	101,6	13,4	813
USA	97,7	12,6	361
Venäjä	43,8	5,6	297
Kiina	114,6	14,8	91
Intia	23,5	3,0	24
<i>Maailma</i>	<i>775,9</i>	<i>(100)</i>	<i>132</i>



Suomen metallien jalostusteollisuuden toiminnan ja tuotteiden laatu on kansainvälisesti huipputasoa ennen kaikkea jatkuvan ja mittavan oman tutkimus- ja kehitystoiminnan ansiosta. Suomessa on korkea soveltavan geologian, kaivostekniikan, metallurgian ja materiaalitekniikan tutkimuksen ja tiedon taso sekä korkeakouluissa ja tutkimuslaitoksissa että yrityksissä. Yleistäen voidaan sanoa, että Suomessa valmistetut vientituotteet on tarkoitettu vaativiin käyttötarkoituksiin, kun taas vähemmän vaativiin tarkoituksiin tarkoitettuja metallijalosteita tuodaan maahan.

Suomen metallien jalostusteollisuudessa ympäristönsuojelu käsitetään osaksi normaalia toimintaa. Myös toiminnan päätyttyä esimerkiksi kaivosalueet kunnostetaan – niin Suomessa kuin muissakin maissa toimittaessa – ja mahdollisimman suuri osa alueista palautetaan luonnontilaan (Outokumpu 2000), niiden vesien tarkkailua jatketaan ja metallipäästöjen minimoimiseksi kehitetään menetelmiä (Mustikkamäki 2000). Suomen metallien jalostusyrityksillä on julkaistut ympäristöpolitiikat, joiden – samoin kuin toimialojensa kansainvälisten järjestöjen (kuten IISI) sekä Kansainvälisen Kauppakamarin (ICC) – ympäristöperiaatteita ne ovat sitoutuneet noudattamaan niin Suomessa kuin muissakin maissa toimissaan. Yritysten lähes kaikilla ympäristön kannalta merkittävimmillä yksiköillä on ulkopuolisten luokituslaitosten sertifioimat ISO 14 001- tai EMAS-ympäristöjärjestelmät tai niitä ollaan parhaillaan viimeistelemässä (Imatra 1999, Kuusakoski 2000, Outokumpu 2000, Rautaruukki 2000). Kaikki yritykset ja monet niiden yksiköt julkaisevat ympäristöraporttia joko erillisenä tai vuosikertomusten osana (esimerkiksi Kuusakoski 2000, Imatra Steel 1998, Outokumpu 1999, Rautaruukki 2000).

## **2.2 Metallien valmistuksesta Suomessa**

Tässä luvussa tuodaan metalleittain esille Suomen metallien ja metallijalosteiden valmistukselle tyypillisiä tai poikkeuksellisia piirteitä, erityisesti sellaisia, jotka liittyvät ympäristökysymyksiin.

Valmistusprosesseja ei kuvata systemaattisesti, mutta annettujen kirjallisuusviitteiden avulla on löydettävissä sekä yleistä että yksityiskohtaista tietoa tässä työssä tarkasteltujen metallijalosteiden valmistuksesta ja ominaisuuksista. Myös metallijalosteiden tuotejärjestelmien kaavioista, jotka on esitetty liitteessä 1, saa valmistusprosesseista pääpiirteisen yleiskuvan.

### **2.2.1 Teräkset**

Teräksiä, tarkkaan ottaen niukkaseosteisia teräksiä, valmistetaan Suomessa sekä malmipohjaisella että romupohjaisella menetelmällä. Rautaruukin Raahan ja Fundian Koverharin integroiduissa rauta- ja terästehtaissa käytetään perusraaka-aineena pääasiassa rautamalmin. Näissä tehtaissa käytetään myös jonkin verran romua. Imatra Steel valmistaa terästuotteita pelkästään romusta valokaariuunisulatuksella.

Pääpiirteiltään Suomen niukkaseosteisten terästen valmistuksen perusteknologiat ovat alalla yleisesti käytössä olevia<sup>1</sup>. Raudan ja teräksen kuten muidenkin metallien valmistukseen liittyvät yleiset ympäristökysymykset ovat samoja kuin muualla (ks. esim. Technical Guidance IPC S2 2.01.1999). Suomessa terästen tuotanto on kuitenkin erikoistunutta ja täällä tehdään pääasiassa vaativia teräslajeja

<sup>1</sup> Teknologiaista on runsaasti perustietoa kirjallisuudessa, ks. esim. Lankford, W.T. Jr. (1983) ja Teräskirja (2000).

ja niistä tiettyjä korkealaatuisia jalosteita<sup>2</sup>. Terästeollisuutemme ja sen tuotteet ovatkin alansa high techia (ks. esim. Juhola ja Ylönen 1999, Karvonen ym. 1999). Vähemmän vaativia tuotteita ei Suomessa kannata tehdä, vaan niitä tuodaan ulkomailta. Kaiken kaikkiaan Suomi on terästen nettoviejä sekä suoraan (teräsjalosteet) että välillisesti (valmiit terästuotteet) (Melanen ym. 2000).

Suomessa ei ole tällä hetkellä rautamalmeina hyödynnettävissä olevia esiintymiä, vaan kaikki malmi tuotantolaitoksille tuodaan ulkomailta. Rautamalmia on kuitenkin saatavilla suhteellisen lyhyiden kuljetusmatkojen päästä lähialueilta Ruotsista ja Venäjältä (ks. kuva 1). Romun keräys ja käsittely on Suomessa hyvin organisoitu ja se toimii tehokkaasti. Rauta- ja teräsromua käytetään raaka-aineena niukkaseosteisten terästen lisäksi suuria määriä myös muun muassa ruostumattomien terästen valmistuksessa ja valimoteollisuudessa. Kaikkiin näihin tarpeisiin Suomen romukertymä ei riitä, vaan Suomi on teräsromun nettotuojia (Melanen ym. 2000).

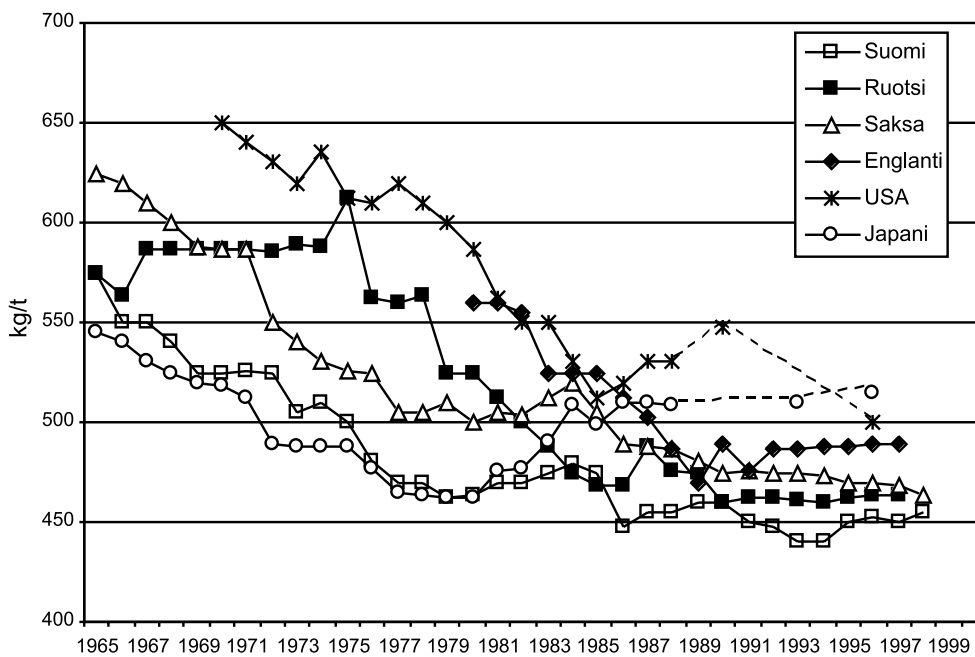
Suurin osa Raahen terästehtaan perusraaka-aineesta on rautarikastetta, joka sintrataan kappalemuotoon Raahessa, ja noin neljännes valmiita pellettejä. Tehdas käsittää myös koksauksen, jossa valmistetaan koksia kivihiilestä. Rauta pelkistetään sintteristä ja pelletistä masuunissa koksien ja erikoisraskaan öljyn avulla. Masuunista raaka-rauta johdetaan terässulattoon, konvertteriin, jossa raakaraudan sisältämä hiili poltetaan hapella. Tämän jälkeen seuraavat senkkametallurgiset prosessit, joista syntyvä teräs valetaan aihoksi jatkuvavalumenetelmällä. Lopputuotteena saadaan kuumavalssattuja teräslevyjä ja -keloja. Suurin osa kuumavalssatuista keloista toimitetaan jatkojalostettaviksi Hämeenlinnan tehtaalle, jossa kelat kylmävalssataan, kuumasinkitetään ja muovipinnoitetaan.

Koverharin terästehtaan kapasiteetti on vajaa neljäsosa Raahen tehtaan kapasiteetista. Prosessiketjun alkupäästä puuttuvat koksauksen ja sintrauksen. Koverharin terästehdas käyttää perusraaka-aineena muualla valmistettua pellettia ja koksia. Masuuniprosessi on samanlainen kuin Raahessa. Prosessissa syntyvä teräs valetaan teelmiksi, joista suurin osa kuljetetaan autoilla Taalintehtaalle valssattavaksi langaksi ja vedetyksi langaksi.

Malmipohjaisessa teräksen valmistuksessa suurin osa energiaraaka-aineista ja energiasta kuluu masuuniprosessissa. Masuunien pelkistysaineiden ominaiskulutus on Suomessa alhaisuudessaan maailman huippuluokkaa, ja sitä on pystytty vähentämään merkittävästi esimerkiksi 1960-luvun tasosta (kuva 2).

Imatra Steel valmistaa takoaihioita, kuumavalssattuja terästankoja ja kirkkaita nuorrutettuja terästankoja kierrätetystä teräsromusta, joka sulatetaan sähköuunissa. Tämän takia tuotannon merkittävät ympäristönäkökohdat liittyvät sähköenergian kulutukseen. Paitsi päästöjensä takia myös kustannustekijänä energian kulutus on teräksen valmistuksessa (kuten muussakin metallinvalmistuksessa) erittäin merkittävä. Siksi energiankulutuksen minimoimiseksi tehdään jatkuvasti työtä. Esimerkiksi Imatran tehdas on pystynyt pienentämään ominaissähkökulutusta 900 kWh:sta 750 kWh:iin per tonni terästä 1975–1999. Hiilidioksidipäästö on samalla ajanjaksolla vähentynyt 280 kilosta 200 kiloon per tonni terästä. Tuotevalikoima on pysynyt oleellisesti samana samoin kuin käytetyt polttoaineet. Tulos johtuu pääasiassa prosessilaitteiden ja prosessin käytön kehittymisestä (Idman 2000).

<sup>2</sup>Kuumavalssattuja levyjä ja nauhoja; niistä edelleen vaativiin tarkoituksiin kylmävalssattuja ohutlevyjä (nauhoja) joista osa sinkki-ym. pinnoitettuna; vaativiin tarkoituksiin (erit. ajoneuvoteollisuuden komponentteihin) kuumavalssattuja pyörö- ja lattatankoja, osa lämpökäsiteltyinä ja/tai muuten erikoisviimeistelyinä; joitakin vaativia ja erityisen puhtaita lankateräksiä, joista osasta valssataan edelleen teräsvalssilankoja ja osasta näitä joitakin vaativia lankatuotteita, mm. hitsauslankoja, jännepunoksia esijännitettuihin, vaativiin betonirakenteisiin.



Kuva 2. Masuunien pelkistysaineiden ominaiskulutuksen (kilo pelkistysainetta / tonni raakaraun-  
taa) kehittyminen eri maissa vuosina 1965–1997 (Metallinjalostajat 2000).

### 2.2.2 Ruostumaton teräs

Kemin kromiittikaivos ja sen varaan kehitetty oma ferrokromitehdas (Torniossa) antavat hyvän pohjan ruostumattomien terästen<sup>3</sup> valmistukselle (Riekkola–Vanhanen 1999a). Ferrokromitehdas ja terässulatto ovat samalla tehdasalueella, mikä mahdollistaa ferrokromin käytön suoraan sulana – yksi sulattamisvaihe energiankäyttöineen ja suorine ja epäsuorine päästöineen jää siis pois. Toinen pääraaka-aine romu, joka pääosin on niukkaseosteista teräsromua, sulatetaan valokaariuunissa ja yhteen saatettu panos raffinoidaan ja viimeistellään niukkahiiliseksi ruostumattomaksi teräkseksi erikoisuunissa (AOD-konverterissa). Jatkuvavaletut levyaihiot kuuma- ja kylmävalssataan erilaisiksi levy- ja nauhatuotteiksi.

Kromi, kromipitoiset aineet ja niiden käsittely edellyttävät potentiaalisten ympäristöhaittojen estämiseksi erityistä huomiota ja toimenpiteitä, vaikka oksidinen kromi sinänsä – kromiittimalmina, kuonissa, ruostumattomassa teräksessä ja sen pintahilsekerroksessa jne. – on varsin inertti ja haitaton.

### 2.2.3 Kupari ja nikkeli

#### Kupari

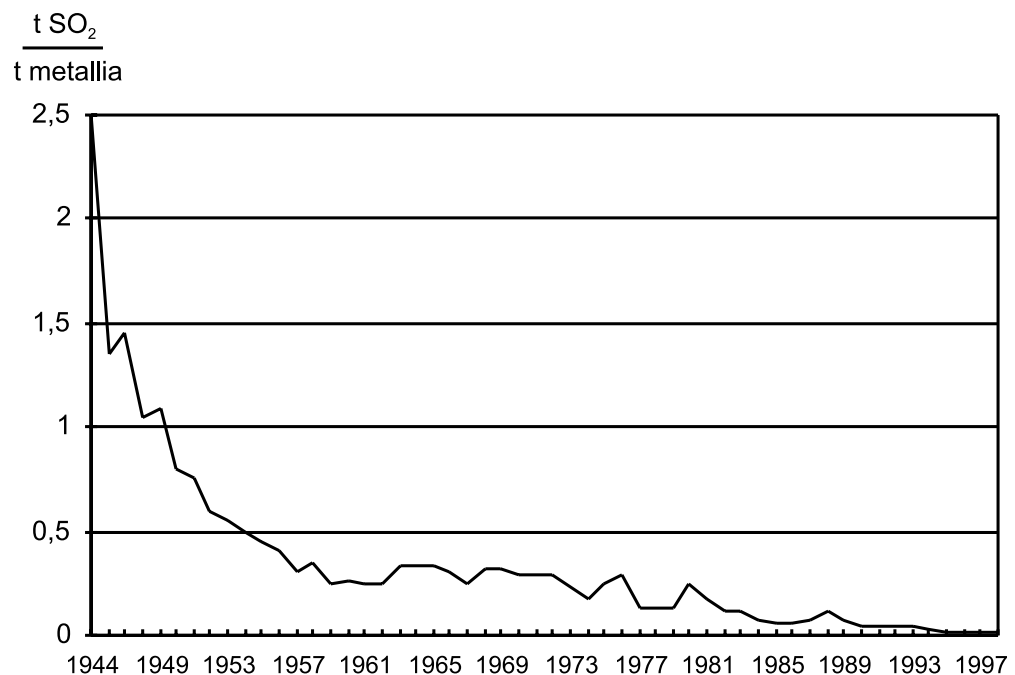
Suomessa (primääri)kuparia valmistetaan sulfidisista malmeista pyrometallurgisesti, liekkisulatusmenetelmällä ja sitä seuraavalla kuparikiven konvertoinnilla. Kuparin sulatuksen kuonalle ei ole löydetty hyötykäyttöä, mutta ennen loppusijoitusta kuonasta puhdistetaan ja rikastetaan siihen joutunut kupari talteen ja palautetaan sulatukseen. Sulatuksen ja sularaffinoinnin jälkeisen, erittäin puhdasta

<sup>3</sup> Runsasseosteista teräksistä valmistetaan Suomessa kromi-nikkelseosteisten terästen eräitä lajeja, joista tässä käytetään yleisnimeä ruostumattomat teräkset.

kuparia tuottavan elektrolyyttisen raffinoinnin yhteydessä saadaan talteen ja valmistetaan sivutuotteiksi malmirikasteisiin sisältyvät seleeni, telluuri, hopea, kulta, platina ja palladium (Riekkola-Vanhanen 1999b). Pääosin puhtaasta katodikuparista, mutta myös romusta valmistetaan erilaisia kupari- ja kupariseosjalosteita: levyjä, nauhoja, putkia, lankoja ja muita jalosteita.

Outokumpu Oy:n Harjavallan kuparisulatolla vuonna 1949 käyttöönotetusta liekkisulatusmenetelmästä on kehittynyt yksi merkittävimmistä suomalaisista huipputeknologian keksinnöistä, jolla on paitsi paikallista myös huomattavaa maailman laajuista merkitystä. Alun perin liekkisulatus kehitettiin taloudellisten syiden vuoksi, mutta sittemmin sen merkitys näkyy ennen kaikkea päästöjen ja ympäristövaikutusten oleellisena vähenemisenä. Liekkisulatusmenetelmä on ollut merkittävä perusta Outokummun teknologian viennille. Tänä päivänä maailman primäärikuparista noin 50 % ja nikkelistä noin 30 % valmistetaan Outokummun liekkisulatusmenetelmällä (Särkikoski 1999, Kytö 1999).

Liekkisulatuksessa käytetään hyväksi raaka-aineen, metallisulfidien, omaa palamislämpöä, joka riittää sulattamaan malmirikasteen, ja sulatusuunin kuumista poistokaasuista saadaan jopa ylimäärälämpöä jätelämpökattilassa talteen höyryn muodossa käytettäväksi sellaisenaan (kaukolämpönä) tai sähkön tuotannossa. Sulatuksessa syntyvä, aikaisemmin ilmaan päästetty rikkidioksidi saadaan liekkisulatusmenetelmän yhteydessä hyvin tarkoin talteen ja muutetuksi sivutuotteeksi, kemian teollisuuden tarvitsemaksi perusraaka-aineeksi rikkihapoksi. Kuvasta 3 näkyy Harjavallan tehtaiden rikkidioksidin ominaispäästöjen radikaali väheneminen liekkisulatusmenetelmän ja sen jatkokehityksen ansiosta. Muilla sulatusmenetelmillä rikkidioksidipäästöt ovat huomattavasti suurempia, jopa monikymmenkertaisia.



Kuva 3. Harjavallan tehtaiden rikkidioksidin ominaispäästöjen kehitys vuosina 1944–1998 (Outokumpu 1999).

## Nikkeli

Myös nikkelin alkuvalmistus tapahtuu Suomessa pyrometallurgisesti liekkisulatuksella sulfidista nikkelikasteista nikkelikiveksi. Nikkellisulatunkaan kuonalle ei ole löydetty hyötykäyttöä, joten se varastoidaan sähkövalokaariuunissa tapahtuvan puhdistuksen ja nikkelin prosessiin palautuksen jälkeen (Riekkola-Vanhaniemi 1999c).

Raffinointiin, jolla tarkoitetaan muiden metallien (kupari, sinkki, koboltti jne.) erotusta, ja metallisen nikkelin valmistukseen käytetään rinnan kahta erilaista prosessia, joista puhdas nikkeli saadaan talteen joko elektrolyyttisesti pelkistettynä eli katodina tai vetykaasulla pelkistettynä pulverina, joka käyttötarkoituksen mukaan voidaan edelleen briketoida. Nämä vaihtoehdot ovat täysin erilaiset ja siten myös niiden elinkaari-inventaariotiedot poikkeavat oleellisesti toisistaan; tarkkaan ottaen kummallekin pitäisi tehdä oma elinkaari-inventaario. Nikkelibrikettejä ja nikkelikatodin paloja käytetään kuitenkin yleensä samoihin tarkoituksiin toisiaan korvaavina vaihtoehtoina. Siksi tässä työssä tarkasteltavaksi tuotteeksi on valittu vain yksi tuote, puhdas metallinen nikkeli. Se on ”laskennallinen tuote”, jonka elinkaari-inventaarioon sisältyy kummankin valmistustavan muodon – pulverista tehdyn briketin ja katodista leikatun palan – dataa siinä painosuhteessa kuin tuotteita valmistetaan.

### 2.2.4 Sinkki

Suomessa nykyisin käytetyssä ja tässä tutkimuksessa tarkastellussa elektrolyyttisessä sinkin valmistusmenetelmässä käytetään pääasiallisina raaka-aineina sulfidisia malmirikasteita.

Prosessin päävaiheet ovat rikasteen pasutus, pasutteen liuotus (uutto), liuoksen puhdistus, sinkin elektrolyyttinen saostus metalliksi sekä metallisen sinkin sulatus ja valu harkoiksi (ks. tuotejärjestelmäkaavio liitteessä 1) (Fugleberg 1999).

Eksotermisen pasutusprosessin kuumen pasutuskaasun sisältämän rikkidioksidin lämpö otetaan jätelämpökattilassa talteen höyrynä, jota hyödynnetään voimalaitoksessa sähkön- ja kaukolämmöntuotannossa sekä muissa lämmityksissä. Ennen SO<sub>2</sub>-kaasun johtamista sivutuoterikkihapon valmistukseen siitä poistetaan Outokummun kehittämällä erikoismenetelmällä elohopea, joka valmistetaan korkealuokkaiseksi myyntituotteeksi.

Pasutteessa oleva rikasteen rauta poistetaan liuotuksen yhteydessä ns. jarsiittisakkana<sup>4</sup>, jolle ei ole löydetty hyötykäyttöä eli se joudutaan loppusijoittamaan. Jarsiitti sinänsä ei ole myrkyllinen tai haitallinen, mutta sen suurehko määrä, lietemäinen konsistenssi ja siitä mahdollisesti liukenevat pienet metallimäärät tekevät siitä jossain määrin ongelmallisen.

Liuospuhdistuksessa syntyvä kuparipitoinen kakku käy alhaisen epäpuhtaus- tasonsa takia hyvin kuparin valmistuksen raaka-aineeksi. Liuoksesta poistettu kadmium valmistetaan sivutuotteeksi, puhtaaksi, metalliseksi kadmiumiksi. Elektrolyyttinen sinkki on hyvin puhdasta, joten kun sitä käytetään – pääasiassa – korroosionestopinnoitteena teräksillä, kadmiumista ei ole ongelmaa.

<sup>4</sup>Jarsiitti on oikeastaan (luonnon) mineraalin nimi, mutta on tullut tavaksi kutsua jarsiitiksi myös tätä ”keinotekoista” sakkaa, jolla on sama koostumus  $\{A[Fe_3(SO_4)_2(OH)_4]\}$ , jossa A voi olla NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> jne}.

### **2.2.5 Alumiini**

Alumiinin malmipohjaista valmistusta ei Suomessa ole, vaan kaikki alumiini tuodaan suoraan tai välillisesti valmiina alumiinituotteina sekä muokkaamattomana alumiinina tai romuna. Alumiini on ainoa tässä tutkimuksessa tarkastelluista metalleista, jonka suhteen Suomi on nettotuojaa (Melanen ym. 2000, s. 30). Alumiinia ja alumiiniseoksia valmistetaan kuitenkin maassamme romupohjalta harkoiksi, joita käytetään raaka-aineena alumiini- ja seosvalimoissa sekä hapenpoistoon teräksen valmistuksessa.

Tässä tutkimuksessa alumiinituotteiden elinkaaresta on inventoitu vain vähäinen osa eli alumiiniromun käsittely sekä romun sulatus, raffinointi ja valu harkoiksi (ks. järjestelmäkaavio liitteessä 1).

## **2.3 Suomen metallien jalostusteollisuuden kehitysnäkymät**

Perusteellisia katsauksia alan kehitysnäkymistä on esitetty muissa yhteyksissä (esim. Mäkinen 2000). Tässä luvussa on otettu esille joitakin tärkeitä metallien jalostusteollisuuden tulevaisuuteen ja kehittymiseen vaikuttavia tekijöitä, mutta ei pystytä antamaan varsinaisia ennusteita.

### **Suomen raaka-ainevarat**

Tehokkaasta malminetsinnästä huolimatta muiden kuin kromimalmin osalta Suomi on vain osittain omavarainen; suomalaiset yritykset tosin harjoittavat omaa kaivostoimintaa myös ulkomailla.

Kemin kromimalmiesiintymä on maailman mittakaavassakin erittäin suuri. Outokumpu Oyj onkin kaksinkertaistamassa ruostumattomien terästen aihiotuotantoa ja lisäämässä valssauskapasiteettia (Forstén 2000).

Pyhäsalmen vuodesta 1962 toiminut kupari-, sinkki- ja rikkikiisukaivos pystyy lisämalmien löytymisen ansiosta ja uudistettuna jatkamaan toimintaansa pitkälle tulevaisuuteen. Kuitenkin kupari- ja varsinkin sinkkirikastetta on edelleen tuotava myös ulkoa nykyisten ja sinkin osalta laajennettavan tuotannon raaka-ainetarpeiden tyydyttämiseksi (Luukkonen 2000). Hituran nikkelimalmien hyödyntäminen jatkuu toistaiseksi. Uusia lupaavia nikkeliyesiintymiä on myös löydetty, joiden varaan kannattavan kaivostoiminnan syntyminen voi olla mahdollista (GTK 2000).

Romun keruu ja käsittely on Suomessa tehokasta. Siksi meillä ei ole tulevaisuudessa odotettavissa romukertymän oleellista kasvua, vaan lisääntyväkin romun lisätarve on edelleen katettava tuonnilla.

### **Metallien uudet valmistusprosessit – uhkia ja mahdollisuuksia**

Metallien valmistukseen malmeista on pyritty ja pyritään edelleen kehittämään vaihtoehtoisia, taloudelliselta ja ekologiselta kilpailukyvyltään parempia menetelmiä. Sinkin tuotannon lisäksi on jo käytetty osittaista uutta prosessia (Fugleberg 1999); tässä tapauksessa se edistää Kokkolan sinkkitehtaan jatkuvuutta ja ekokilpailukykyä.

Liekkisulatus edelleen kehittyvänä menetelmänä ja nimenomaan ylivoimaisen ekotehokkuutensa ansiosta tulee säilyttämään asemansa kuparin ja nikkelin valmistuksessa sulfidimalmeista, mutta tutkimuksen alla on (muun muassa kuparin ja nikkelin valmistukseen) osaksi radikaalistikin erilaisia vaihtoehtoproses-

seja. Joissakin tapauksissa niitä on muualla jo otettu kaupalliseen käyttöön. Aina-kin lisäkapasiteettia tultaneen rakentamaan tällaisten varaan, mutta ei ehkä Suomessa, varsinkin kun joillakin uusilla prosesseilla voidaan hyödyntää nykymen-temillä – ml. liekkisulatuksella – käyttökelvottomia esiintymiä (Riekkola–Vanhanen 1999b ja 1999c).

Raudan ja terästen valmistuksessa kokonaan uudet prosessit eivät tulle yleiseen käyttöön arvioitavissa olevassa tulevaisuudessa. Suomessa olemassa olevat tehtaot ovat hyvässä kunnossa, kehittyneitä ja koko ajan edelleen kehittyviä. Laitokset ovat sinänsä pitkäikäisiä ja kilpailukykyisiä myös ekotehokkuutta ajatellen. Terästeollisuuden on arvioitu olevan Suomen kasvualoja (Kivimäki 1999).

Metallien jalostusteollisuus kaikilta osiltaan, mutta ennen kaikkea metallien sulatus ja raffinointi, vaatii runsaasti energiaa. Edellyttäen, että tuotannon muissa edellytyksissä ei tapahdu radikaaleja muutoksia, Suomen metallien jalostusteollisuuden kilpailukyky ja sitä kautta säilyminen ja kehittyminen Suomessa riippuvat ratkaisevasti energian, ennen kaikkea sähköenergian, saatavuudesta (Juusela 1999). Raudan ja ferrokromin valmistus edellyttää hiilen käyttämistä pelkistysaineena. Käytössä olevat prosessit on Suomessa jo kehitetty hiilen ja energian käytöltään tuoteyksikköä kohti laskettuna erittäin tehokkaiksi.

# 3

## Aineisto ja menetelmät

### 3.1 Lähtökohdat

Suomen metallien jalostusteollisuuden ympäristöasioita on tässä työssä arvioitu lähinnä ekologisten vaikutusten näkökulmasta. Kaivostoiminnan maankäytön ympäristövaikutusten arviointi on kuitenkin jouduttu jättämään työn ulkopuolelle tarpeellisten lähtötietojen ja vaikutusarviointimenetelmien puuttuessa. Metallien jalostusteollisuuden vaikutuksia ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen käsitellään vain rajoitetusti. Metallijalosteiden ympäristönäkökohdat liittyvät kiinteästi yhteiskuntamme metallivirtoihin. Metallivirroista ja romun kierrätyksestä Suomessa on erikseen julkaistu tutkimushankkeen osaraportti (Melanen ym. 2000), jonka tuloksia sivutaan myös tämän työn yhteydessä.

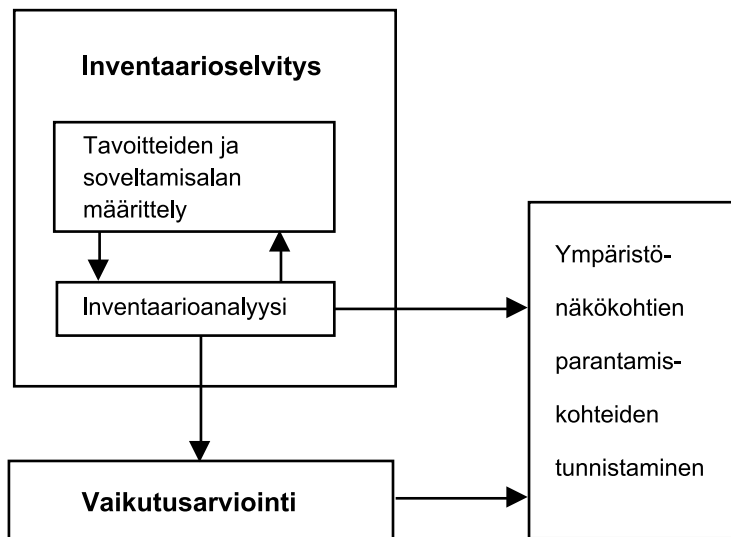
Metallien jalostusteollisuuden ympäristöasioiden analysoinnin lähtökohtana olivat tuotekohtaiset elinkaariarvioinnit ja metallivirtoja ja romun kierrätystä koskevan osaraportin tulokset. Elinkaariarvioinneissa mukana olleet yritykset olivat: Fundia Wire/Dalwire Oy Ab (teraslangat), Imatra Steel Oy Ab (terästangot), Kuusakoski Oy (alumiini), Outokumpu Chrome Oy (ferrokromi), Outokumpu Harjavalta Metals Oy (nikkeli), Outokumpu Harjavalta Metals/Poricopper Oy (kupari), Outokumpu Polarit Oy (ruostumaton teräs), Outokumpu Zinc Oy (sinkki) ja Rautaruukki Steel, Raahe/Hämeenlinna (teraslevyt ja -kelat).

Tuotteiden elinkaariarvioinnit muodostuvat kahdesta kokonaisuudesta: inventaarioselvityksestä ja vaikutusarvioinnista (kuva 4). Inventaarioselvitykset on raportoitu yrityksille omina kokonaisuuksina, joissa on esitetty selvitysten tavoitteet, soveltamisalat ja tuotteet sekä tuotteisiin liittyvät *syötteen* (raaka-aineet, apu- ja polttoaineet, sähköenergia) ja *tuotokset* (päästöt ilmaan ja veteen, kiinteät jätteet, sivutuotteet, jätelämpö jne.) ja niihin liittyvät arviointiperusteet. Inventaarioiden tulokset on jatkokäsitelty vaikutusarvioinneissa, joiden tarkoituksena on ollut tuottaa tietoa tuotteen aiheuttamista ympäristövaikutuksista.

Elinkaariarviointien tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä sekä inventaarioanalyysissä on käytetty kansainvälisen rauta- ja teräsjärjestön IISI:n (International Iron and Steel Institute) konsulttitoimisto Ecobilanilla teettämien seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen elinkaari-inventaarioselvityksen sekä kansainvälisen kuparijärjestön ICA:n (International Copper Association) ja sinkkijärjestön IZA (International Zinc Association) Boustead Consulting Ltd:llä teettämien primäärikupari- ja sinkkituotannon ekoprofiilien lähtötietoja ja menetelmällisiä valintoja. Lisäksi elinkaari-inventaarioanalyysien laadinnassa on pyritty noudattamaan kansainvälisiä standardeja ISO 14040 ja 14041, jotka luovat puitteet elinkaari-inventaarioselvityksen tekemiselle.

Ympäristövaikutusten arviointi on tehty Suomen näkökulmasta. Vaikutusarvioinneissa on otettu mahdollisuuksien mukaan huomioon Suomen maantieteellisen aseman vaikutukset ja suomalaisten ympäristöalan asiantuntijoiden näkemykset erilaisten ympäristöhaittojen vähentämisen keskinäisestä tärkeydestä. Muutoin vaikutusarviointi noudattaa pitkälti kansainvälisiä menettelytapoja.





Kuva 4. Metallijalosteiden elinkaariarviointien vaiheet.

## 3.2 Inventaarioselvitykset

### 3.2.1 Tavoitteet ja toteutus

Inventaarioselvitysten tavoitteena on tuottaa *tuotteittain* eriteltyä tietoa Suomen metallien jalostusteollisuuden ympäristöä kuormittavista tekijöistä. Inventaarioanalyysien tulokset sisältävät metallien valmistuksessa syntyvien välittömien kuormitustekijöiden lisäksi tietoa ns. välillisistä päästöistä, jotka syntyvät raaka-aineiden valmistuksen ja kuljetusten sekä tehtaalla kulutetun sähkö- ja lämpöenergian tuotannon yhteydessä. Tulosten hyväksikäytön helpottamiseksi keskeiset inventaariotiedot on tulostettu *elinkaarivaiheittain* ts. ryhmitelty elinkaariajattelun mukaisiin tuotantovaihekokonaisuuksiin.

Inventaarioselvitykset on tarkoitettu metallien jalostusteollisuuden käyttöön. Niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi metallia sisältävien lopputuotteiden (metallituotteiden) elinkaaritietojen laskemisessa tai tehtaiden tuotantoprosessien ja ympäristönsuojelutoimenpiteiden kehittämisessä. Tämän loppuraportin kautta Suomessa valmistettavien metallijalosteiden keskeiset inventaariotulokset ovat kaikkien asiasta kiinnostuneiden käytettävissä.

Elinkaari-inventaarioselvitykset tehtiin tehtaiden edustajien ja Suomen ympäristökeskuksen tutkijoiden yhteistyönä pääosin vuoden 1999 aikana.

Työssä mukana olevat tuotantolaitokset luovuttivat tehdasta ja prosessejaan koskevat tiedot tutkimuksen käyttöön. Puuttuvat tiedot laskettiin tai arvioitiin tehtaiden yhdyshenkilöiden ja tutkijoiden välisissä keskusteluissa. Tuotantoprosesseihin liittyvien tietojen oikeellisuus on jokaisessa tapauksessa tarkistettu asiantuntijoilla, minkä johdosta voidaan sanoa, että koko elinkaari huomioon ottaen tuotantolaitosten tiedot vastaavat toteutuneita prosesseja ja niiden aiheuttamia todellisia päästöjä. Tehtaiden ulkopuoliset inventaariotiedot perustuvat kirjallisuustietoihin ja ne puolestaan edustavat suurimmaksi osaksi kansainvälisiä keskiarvotietoja. Suomen ympäristökeskuksen tutkijat vastaavat tehtaan ulkopuolisista tiedoista, inventaarioselvityksiin liittyvistä menetelmällisistä valinnoista ja teknisestä toteutuksesta. Poikkeuksen tekevät teräslevyjen ja -kelojen inventaarioanalyysit, jotka on tehty kansainvälisen rauta- ja teräsjärjestön (IISI) tuotta-

man maailmanlaajuisen terästuotteita koskevan elinkaari-inventaariotyön yhteydessä, jossa on käytetty vuoden 1994 ja 1995 tietoja. IISI:lle luovutetut tiedot on tarkistettu ja päivitetty tätä työtä varten.

Inventaarioissa käytetyt tiedot Suomen tuotantolaitosten osalta ovat pääosin vuodelta 1997 (osa tuloksista vuodelta 1998) ja ne perustuvat olemassa oleviin tilasto-, rekisteri- ja arviointitietoihin, mutta osittain myös erilaisiin päätteilytietoihin tai staattisiin olosuhteita ja lineaarisia riippuvuussuhteita kuvaaviin laskentakaavoihin. Tekijöitä, jotka saattavat olla vaikutuksiltaan merkityksellisiä, mutta joista ei ole pystytty tekemään kvantitatiivisia arvioita, on pyritty käsittelemään vaikutusarvioinnin yhteydessä asiantuntija-arvioiden perusteella.

Tuotejärjestelmien mallintamisessa ja materiaali- ja energiavirtojen laskemisessa käytettiin KCL-ECO Version 2.1 -ohjelmaa. Rautaruukin tuotteiden (teräslevyt ja -kelat) laskennat on tehty Ecobilanin Team-ohjelmalla. Inventaariotiedot on kerätty ja tallennettu tietokoneohjelmiin niin, että yritykset pystyvät tarvittaessa itse päivittämään tämän tutkimuksen yhteydessä dokumentoidut tiedot. Tietojen tallennus on toteutettu vuoden 1997 vuosituotantoa kohti.

Yksityiskohtaiset inventaariotulokset perusteluineen löytyvät jokaiselle hankkeessa mukana olevalle yritykselle luovutetuista tehdaskohtaisista raporteista (Koskela, Palperi ja Seppälä 1999). Raportit muodostuvat neljästä osasta, elinkaari-inventaarioanalyysistä, vaikutusarvioinnista ja kahdesta erikseen julkaistavasta monisteesta, joihin on kerätty kaikkia inventaarioita koskevaa materiaalia, muun muassa energiantuotannon ja kuljetusten päästölaskelmien (Koskela ym. 2000) sekä vaikutusarvioinnissa käytetyn menetelmän perusteita (Seppälä 1997, 1999a).

### **3.2.2 Tuotteet ja toiminnalliset yksiköt**

Elinkaari-inventaariot on tehty kaikista Suomen metallien jalostuksen keskeisimmistä perustuotteista, metallijalosteista (taulukko 5). Ferrokromille ja anodikuparille on tehty omat inventaariolaskelmat, mutta niitä ei ole tässä työssä määriteltä varsinaisiksi tuotteiksi. Ferrokromi on ruostumattoman teräksen raaka-aine ja anodikupari muokattujen kuparituotteiden tuotantoketjun välituote. Inventaariotulokset on laskettu tuotekohtaisesti, mutta ympäristövaikutusarviointit on tehty pääasiallisesti tuoteryhmittäin. Tuoteryhmiä on kahdeksan: teräslevyt ja -kelat, terästangot, teräslangat, ruostumattomat teräsnauhat, muokatut kuparituotteet, nikkelikatodit ja -brikitit, sinkkiharkot ja alumiiniharkot.

Muokatut kuparituotteet ryhmänä sisältää erilaisia kuparilevyjä, -nauhoja, -putkia, ja -lankoja. Näiden tuotteiden valmistusvaiheet eroavat toisistaan ja samantyyppisten jalosteidenkin, esimerkiksi eri paksuisten levyjen, eri läpimittaisten putkien tai lankojen, tuotantovaiheet ovat erilaisia. Siten myös elinkaari-inventaariotiedot, esimerkiksi energian tarve, saannit, päästöt jne., ovat vastaavasti erilaisia ja kullekin tuotteelle pitäisi tehdä oma spesifinen inventaario. Tässä tutkimuksessa on tyydytty kuitenkin vain yhteen ”keskimääräiseen tuotteeseen”, jolle on annettu nimitys ”muokatut kuparituotteet”. Keskiarvona se karkeasti edustaa kuparituotteita kokonaisuutena. On kuitenkin syytä huomauttaa, että tässä yhteydessä annetut tiedot ja arvot eivät sellaisenaan kelpaa käytettäväksi minkään tietyn kuparituotteen täsmällisessä elinkaaritarkastelussa.

Taulukko 5. Elinkaari-inventaarioiden tuoteryhmät ja tuotteet metalleittain.

TERÄS		
<i>Teräslevyt ja -kelat</i>	<i>Terästangot</i>	<i>Teräslangat</i>
kuumavalssatut teräslevyt	takoaihio	teräsaihio
kuumavalssatut teräskelat	kuumavalssattu terästanko	valssilanka
kylmävalssatut teräsohutlevyt	kirkas nuorrutettu terästanko	vedetyt langat
kuumasinkityt teräsohutlevyt		
muovipinnoitetut teräsohutlevyt		
RUOSTUMATON TERÄS	KUPARI	NIKKELI
<i>Ruostumattomat teräsnauhat</i>	<i>Muokatut kuparituotteet</i>	<i>Nikkelikatodit ja -brikitit</i>
(*ferrokromi)	(**anodikupari)	
teräsaihio		
kuumavalssattu nauha		
kuumavalssattu, hehkutettu ja peitattu nauha		
kylmävalssattu, hehkutettu ja peitattu nauha		
SINKKI	ALUMIINI	
<i>Sinkkiharkot</i>	<i>Alumiiniharkot</i>	

\*Ferrokromi on ruostumattoman terästuotteen valmistuksen raaka-aine

\*\*Anodikupari on muokattujen kuparituotteiden valmistuksen väliaine

Tässä työssä muodolliseksi toiminnalliseksi yksiköksi valittiin *yksi tonni tuotetta tehtaan portilla*. Varsinaista toiminnallista yksikköä ei voitu määrittää, koska metallijalosteiden inventaarioissa arvioidaan ainoastaan metallia sisältävän lopputuotteen (esimerkiksi paperiliittimen tai auton) valmistuksessa käytetyn metallin tuotantoa, ei lopputuotteen toimintaa.

### 3.2.3 Tuotejärjestelmien rajaukset

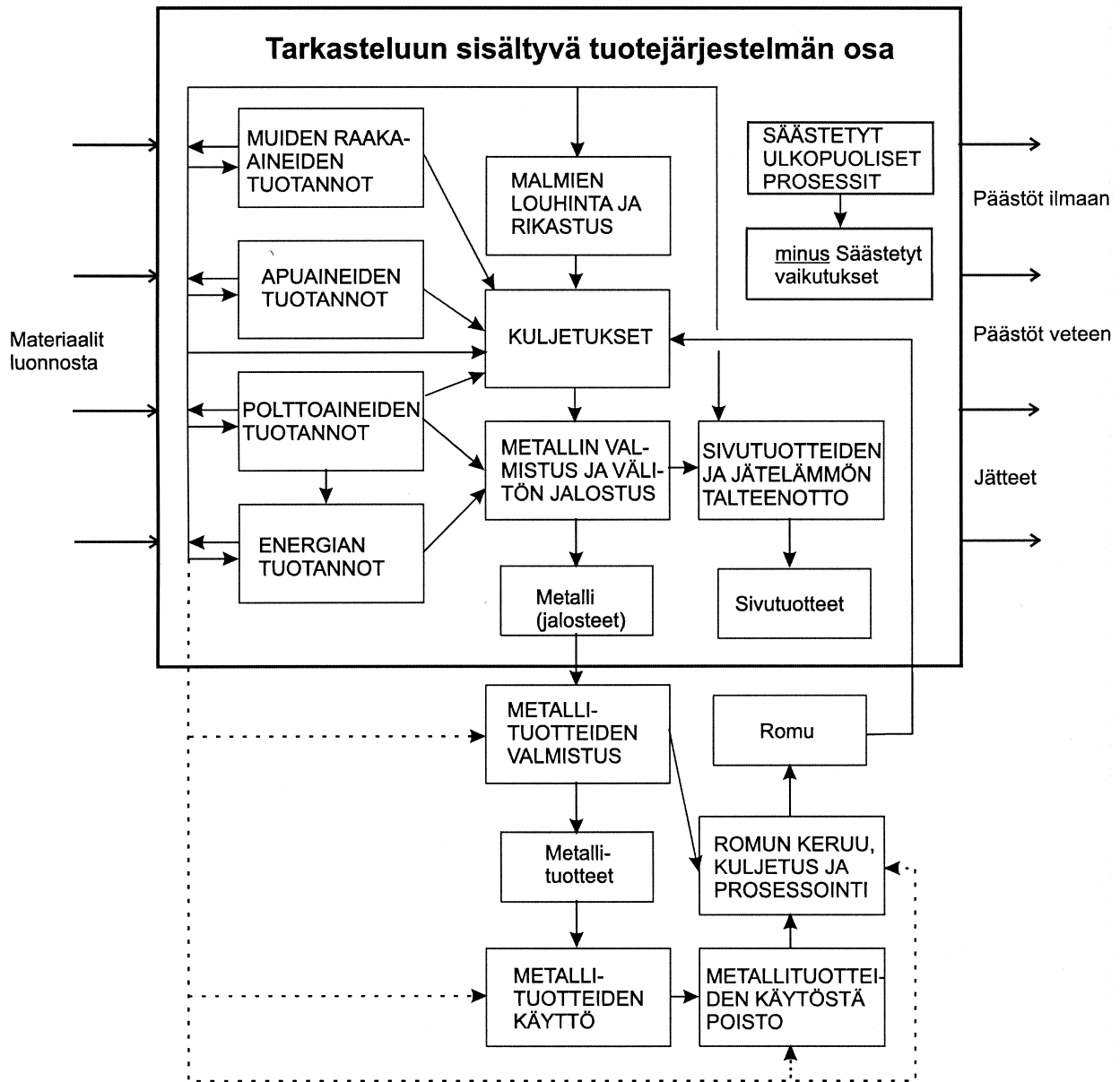
Elinkaari-inventaarioissa *tuotejärjestelmä* rajaa ja kuvaa inventaariolaskelmiin mukaan otettavien yksikköprosessien materiaali- ja energiavirrat sekä päästöt ympäristöön. *Yksikköprosessi* on pienin yksikkö, josta tietoa kerätään elinkaariarviointia varten. Tuotteiden varsinaiset inventaariotulokset saadaan laskemalla tuotejärjestelmän kaikkien yksikköprosessien kvantitatiivisesti esitetyt saman muuttujan syötteet (inputs) ja tuotokset (outputs) yhteen.

Tuotejärjestelmien perusrajaukset ovat periaatteessa samanlaiset kuin kansainvälisten järjestöjen teettämässä inventaarioissa (IISI 1998, Boustead 1998a, 1998b). Yleiskaavio metallituotteen koko elinkaaren sisältävästä tuotejärjestelmästä, jossa metallijalosteen valmistus on vain osa, ja tämän työn yhteydessä tehdyistä elinkaari-inventaariorajauksista on esitetty kuvassa 5. Kuvan alaosaan piirretty metallia sisältävien lopputuotteiden valmistus, käyttö ja käytöstä poisto on rajattu elinkaari-inventaarion ulkopuolelle.

Inventaarioiden tuotejärjestelmät (kaaviossa tummalla viivalla rajattu alue) sisältävät tuotteen tuotantoprosessien lisäksi raaka- ja apuaineiden valmistusprosessit ja niiden kuljetukset tehtaille. Tehtaalla tuotantoprosesseissa tarvittavan energian tuotanto ja sivutuotteiden sekä jäteämmön talteenotto prosessit on liitetty omina osuuksinaan tuotejärjestelmään. Sivutuotteiden hyötykäytön seurauksena säästettyjen ulkopuolisten prosessien tai toimintojen, jotka ilman sivutuotteiden hyötykäyttöä tulisivat tehdyiksi, tiedot on vähennetty tuloksista.

Kaivostoiminnan maansiirtoja on käsitelty ainoastaan kaivosten mineraalijätteinä. Tehdasalueen ulkopuolella tapahtuva jäteveden ja kiinteiden jätteiden käsittely ei sisälly inventaariolaskelmiin.

Rakennuksia ja niiden huoltoa ei huomioida lukuun ottamatta tuotantolaitoksen valaistukseen ja lämmitykseen kulutettua energiaa. Tehtaalla käytettävien koneiden ja laitteiden samoin kuin infrastruktuurin rakenteiden valmistus on rajattu tarkastelun ulkopuolelle, mutta työkoneiden ja kuljetuskaluston käytöstä tehdasalueella syntyvät polttoaineperäiset päästöt on otettu laskelmissa huomioon.

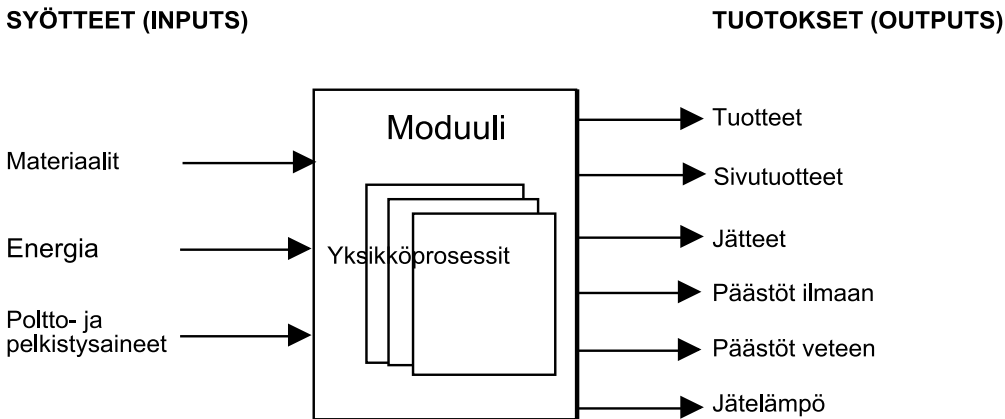


Kuva 5. Metallijalosteiden tuotejärjestelmien perusrajaus.

### 3.2.4 Aineiston luokittelu

Tuotejärjestelmien materiaali- ja energiavirtojen esittämisessä ja tietojen keräämisessä on käytetty perusyksikkönä *moduulia*, joka voi pitää sisällään yhden tai useamman yksikköprosessin (kuva 6). Useissa lähteissä yksikköprosessienkin tieto voi olla aggregoitua, jolloin eri yksikköprosessien osuudet moduulin kokonaistiedoista eivät näy erikseen.

Sisään menevät syötteen (inputs) on ryhmitelty kolmeen tietoluokkaan: materiaaleihin, energiaan ja poltto- ja pelkistysaineisiin. Uloslähtevät tuotokset (outputs) on jaettu kuuteen ryhmään: tuotteisiin, sivutuotteisiin, jätteisiin, päästöihin ilmaan ja veteen sekä jätelämpöön.



Kuva 6. Lähtötietojen päätteloluokat.

Yksikköprosessien päästöjen ilmoittamisessa on eri tietolähteissä vaihtelevia käytäntöjä, minkä johdosta samaa tarkoittavien päästöjen yhdistäminen voi joskus olla vaikeaa tai jopa mahdotonta, kun tiedon alkuperää ei voida tarkistaa. Inventaariotuloksissa esiintyy suuri määrä erilaisia päästöjä ilmaan ja veteen, joista tässä työssä on pyritty arvioimaan taulukossa 6 esiintyvien päästömuuttujien vaikutukset.

Taulukko 6. Vaikutusarvioinnissa käsiteltävät päästöt ilmaan ja veteen.

Päästöt ilmaan	Päästöt veteen
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	BOD <sub>5</sub> , biologinen hapenkulutus
CO, hiilimonoksidi	COD, kemiallinen hapenkulutus
CH <sub>4</sub> , metaani	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , ammoniumioni
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	N, typpi
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	P, fosfori
N <sub>2</sub> O, dityppioksidi	Öljy
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	Fenoli
Metallit (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)	Metallit (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn)
NM VOC, haihtuvat hiilivedyt (ei metaani)	
Vaikeasti hajoavat orgaaniset yhdisteet (esim. PAH, PCB, PCDD/F)	

Inventaarioiden jäteaineisto on luokiteltu taulukon 7 mukaisesti jäteluokkiin (muunneltu Boustead 1998a).

Taulukko 7. Inventaarioiden jäteluokat.

Jäteluokka	Kuvaus
Mineraalijäte	Maa- ja kiviaines.
Kuona ja tuhka	Tavallisesti inerttiä eikä sisällä orgaanista ainetta.
Ongelmajäte	Esim. toksinen tai korroosiota aiheuttava; edellyttää käsittelyä.
Teollisuuden sekajäte	Jäte, joka ei kuulu mihinkään edellisistä ryhmistä.
Laitoksen ulkopuolelle polttoon menevä jäte	Lähinnä jäteöljy.

### 3.2.5 Elinkaarivaiheet

Elinkaari-inventaarion jakaminen osakokonaisuuksiin tekee mahdolliseksi ympäristöä kuormittavien tekijöiden kohdentamisen elinkaaren eri vaiheisiin ja niiden suhteellisten osuuksien arvioimisen ja vertailemisen. Elinkaarivaiheet voidaan määrittellä sen mukaan, minkälaista tietoa tuloksista halutaan eritellä. Tässä työssä inventaariotulokset on jaettu seitsemään elinkaarivaiheeseen, jotka ovat rikaste tai pääraaka-aineet, romu (käsitelty ainoastaan vaikutusarvioinnin yhteydessä), muut materiaalit, metallin valmistus, ostosähkö, raaka-ainekuljetukset ja sivutuotteet.

#### Rikaste tai pääraaka-aineet

Rikaste-elinkaarivaihe sisältää malmin louhinnan ja rikasteen valmistuksen. Kuperirikasteen ja sinkkirikasteen valmistustiedot ovat kansainvälisten kupari- ja sinkkijärjestöjen teettämistä selvityksistä (Boustead 1998a,b). Nikkelirikasteen valmistuksen tietoja ei ollut tämän työn aikana käytettävissä, joten rikasteiden valmistusprosessien samankaltaisuuksien vuoksi kuparirikasteen tiedot on modifioitu nikkelikasteelle ottamalla huomioon rikasteiden metallipitoisuudet sekä nikkeli- ja kuparipäästöjen suhteelliset määrät (laskentaperusteet inventaarioissa). Terästuotteiden inventaarioissa rautamalmirikasteen tiedot on otettu IISI:n lähtötiedoista (IISI / Ecobilanin TEAM program database 1998).

Rikasteen kuljetus ulkomailta Suomen tuotantolaitoksille sisältyy raaka-ainekuljetuksiin, poikkeuksena kuitenkin sinkkirikasteen kuljetus. Tiedot sinkkirikasteen kuljetuksista eri puolilla maapalloa sijaitsevilta kaivoksilta Rotterdamin välilastaussatamaan olivat lähdetiedoissa (Boustead 1998b) yhdistettynä valmistuksen tietoihin. Rikasteen kuljetus Rotterdamista Suomeen on kuitenkin liitetty muihin tehtaalle meneviin raaka-ainekuljetuksiin.

Ruostumattoman teräksen valmistuksessa pääraaka-aineita rikasteen sijasta ovat romu, ferrokromi ja ferronikkeli, ja siksi tästä elinkaarivaiheesta käytetään ruostumattoman teräksen inventaariossa nimitystä pääraaka-aineet. Tämän työn yhteydessä tehtiin myös ferrokromille inventaario, sillä Kemin kaivoksen kromimalmin ja ferrokromin tuotanto Torniossa nivoutuvat olennaisena osana ruostumattoman teräksen valmistukseen Suomessa. Varsinaisia ferronikkelin valmistuksen tietoja ei ollut käytettävissä, mutta ne modifioitiin ferrokromin vastaavista tiedoista vaihtamalla kromi- ja nikkelpäästömäärät keskenään.

#### Romu

Romun "valmistusta luonnonvaroista" ei ole varsinaisissa inventaariolaskelmissa otettu huomioon, koska yleisesti hyväksyttyä menettelytapaa romun "valmistuksen" mukaan ottamiselle ei ole elinkaariarvioinnin yhteydessä kehitetty. Vaikutusarvioinneissa on kuitenkin tutkittu romun käytöstä syntyvää ympäristövaikutusta kuljetusten ja romun käsittelystä aiheutuvien ilmaan menevien päästöjen

osalta. Romun kuljetukset käsittävät romun kuljetuksen romuttamoille, mutta romun kuljetus romuttamoilta tuotantolaitoksille on otettu huomioon raaka-ainekuljetuksissa. Tämän hankkeen yhteydessä romun keruusta ja käsittelystä on julkaistu oma raportti (Melanen ym. 2000). Romun keruusta ja käsittelystä syntyvät päästöt ilmaan on laskettu kertomalla tehtaan käyttämä romumäärä romun keräyksen ja käsittelyn ominaispäästökertoimilla.

## Muut materiaalit

Muut materiaalit -elinkaarivaiheella kuvataan tehtaalle toimitettavien muiden kuin edellä mainittujen raaka-aineiden valmistukseen liittyvää ympäristökuormitusta. Tämän elinkaarivaiheen ympäristövaikutukset hajaantuvat maantieteellisesti eri puolille maapalloa. Elinkaarivaihe sisältää myös polttoaineiden valmistukset, mikä vuoksi tehdasalueella syntyvät työkoneiden polttoaineperäiset päästöt on liitetty muut materiaalit -vaiheeseen.

Aivan kaikki tuotantoprosesseissa käytetyt raaka- ja apuaineet eivät ole mukana inventaariolaskelmissa. Yleiseksi periaatteeksi hyväksyttiin (poikkeukset on mainittu erikseen kunkin inventaarion kohdalla), että niiden tehtaalle ostettavien raaka- ja apuaineiden, joiden paino-osuus oli yli 0,1 % kaikkien prosesseissa käytettyjen materiaalien kokonaispainosta, valmistustiedot mahdollisuuksien mukaan selvitetään ja otetaan mukaan laskelmiin. Raaka-aineiden elinkaaritiedot ovat pääosin IISI:n lähtötietoaineistosta. Polttoaineiden valmistuksen osalta on käytetty Fortum Oyj:n ekotasetietoja.

Materiaalien valmistuksessa kulutettu sähköenergia sisältyy useiden materiaalien kohdalla valmistustietoihin niin, että sähköntuotannon aiheuttamia välillisiä ympäristökuormituksia ei tarvitse ottaa erikseen huomioon. Jos näin ei ollut menetelty, valmistustietoihin yhdistettiin ko. raaka-aineen valmistusmaan sähköntuotantojakauman mukaiset päästötiedot. Ulkomailla valmistettavien raaka- ja apuaineiden valmistuksessa tarvittavan energian tuotannon päästöt on laskettu IISI:n käyttämällä sähköntuotantomallilla (ks. Koskela ym. 2000). Kotimaassa valmistettavien materiaalien valmistuksessa käytetyn sähköenergian tuotannon päästöt on laskettu Suomen sähkönhankintamallilla (ks. ostosähkö).

## Metallin valmistus

Metallin valmistus -elinkaarivaihe sisältää tehdasalueella tapahtuvat toiminnot lukuun ottamatta työkoneiden aiheuttamia päästöjä ilmaan. Metallin valmistusvaiheen keskeisenä elementteinä ovat varsinaisten tuotteiden valmistusprosessit ja usein tähän vaiheeseen yhdistetään myös sivutuotteiden talteenotto-prosessit, mikäli niiden määrät ovat vähäiset verrattuna päätuotteiden määriin. Oman energian tuotannon päästöt on liitetty valmistusvaiheeseen samoin kuin tehdasalueella tapahtuvan jätteiden käsittelyn päästöt. Kaikki tehdasaluetta koskevat tiedot ovat ko. yrityksen luovuttamia ja hyväksymiä.

## Ostosähkö

Tuotantolaitosten Suomesta ostaman ulkopuolisen sähkön tuotannosta syntyvää välillistä ympäristökuormitusta kuvataan ostosähkö-elinkaarivaiheella. Joissakin inventaarioissa ulkopuolinen höyryn- ja lämmöntuotanto on liitetty osaksi tätä elinkaarivaihetta. Sähköntuotannon päästöt on laskettu tämän työn yhteydessä tehdyllä sähköntuotanto- ja päästömallilla (Petäjä 1999). Mallin aineisto perustuu sähköntuotannon ja polttoaineiden käytön osalta todellisiin toteutuneisiin määriin Suomessa 1997. Päästötiedot perustuvat joko mitattuihin päästömääriin tai polttoaine- ja polttotekniikkakohtaisiin ominaispäästökertoimiin.

## **Raaka-ainekuljetukset**

Tuotejärjestelmän sisällä tapahtuvat kuljetukset ovat jakaantuneet eri elinkaari- vaiheiden kesken. Raaka-aineiden valmistukseen ja energiantuotantoon liittyviä kuljetuksia, niiltä osin kun niitä on yleensä huomioitu, ei voida erottaa valmistus- tiedoista, jolloin ne sisältyvät rikaste- ja muut materiaalit -elinkaari- vaiheisiin. Materiaalien siirtokuljetukset tehdasalueella eivät myöskään sisälly kuljetuksiin, vaan on yhdistetty työkoneiden päästöihin ja muut materiaalit -elinkaari- vaiheisiin. Kuljetukset-elinkaari- vaiheeseen sisältyvät siten ainoastaan raaka-ainekul- jetukset tuotantolaitoksille.

Kaikkia tehtaalle tulevia raaka-ainekuljetuksia ei ollut mielekäästä selvittää, koska niiden merkitys kokonaisuuden kannalta olisi ollut vähäinen. Periaatteena oli, että niiden materiaalien kuljetussuoritteet, joiden yhteismäärä edusti yli 90 prosenttia raaka-aineiden kokonaismäärästä, selvitettiin.

Raaka-ainekuljetukset tapahtuivat pääosin kuorma-autolla, sähkö- ja diesel- junalla tai rannikko- ja valtamerilaivalla. Eri kuljetusmuotojen ominaispäästöker- toimien laskentaperusteet on esitetty erillisessä monisteessa (Koskela ym. 2000).

## **Sivutuotteet**

Sivutuotteet, joita syntyy merkittäviä määriä, on inventaariolaskennassa huomi- oitu hyvityksinä. Inventaarioissa muun muassa masuuni- ja teräskuonat, rikki- happo ja jätelämpö on käsitelty sivutuotteina ISO 14041 -standardissa esitetyn laa- jennetun menettelyn mukaisesti, jolloin tuloksista on vähennetty vastaavan vaih- toehtoisien sivutuotteen valmistustavan elinkaaritiedot (ks. kohta 3.2.6).

Muut sivutuotteet, joiden merkitys kokonaisuuden kannalta on vähäinen, sisältyvät päätuotteiden inventaariolaskelmiin.

### **3.2.6 Allokointi- ja laskentamenettelyt**

Tulosten allokointi eli syötteiden ja tuotosten kohdentaminen eri tuotteille tuotan- toketjun eri vaiheissa on tehty massaperiaatteen mukaisesti. Siten ensimmäisenä tuotantoketjusta valmistuva tuote ja ketjussa jatkava samanlainen tuote saavat osakseen painojensa suhteessa niiden yksikköprosessien päästöt, jotka syntyvät ennen ko. tuotteen valmistumista. Seuraavalle valmistuvalla tuotteelle allokoidaan tulokset samalla periaatteella, mutta nyt aikaisemmin ketjusta poistunut tuote on vähentänyt päästöjä oman osuutensa verran. Näin ensimmäinen tuote ei saa osak- seen myöhempien tuotteiden valmistusprosessien aiheuttamia päästöjä eivätkä myöhemmät tuotteet ketjusta poistuneen tuotteen aiheuttamaa ympäristökuor- mitusta.

Työssä käytetyn sähköntuotanto- ja päästömallin (Petäjä 1999) laskennassa kokonaispolttoaineenkulutus kaukolämpölaitoksissa on jaettu erillistuotannon (lauhdutusvoimatuotannon) ja yhteistuotannon (sähkön ja lämmön yhteistuotan- non) kesken.

Kun masuunikuonien käyttökohteita on useita (mm. sementin valmistus, tie- rakentaminen ja maanparannus), inventaarioissa on tehty laskennallisista syistä oletus, että 24 prosenttia prosessissa syntyvästä masuunikuonasta käytetään kor- vaamaan sementin valmistusta ja 76 prosenttia käytetään maarakentamiseen. Hyvitettävät elinkaaritiedot on laskettu yhdistämällä IISI:n sementin valmistuk- sen ja maarakentamisen tiedot edellä mainitussa suhteessa. Teräskuonien hyvi- tykseen on käytetty IISI:n maarakentamisen elinkaaritietoja. Sivutuotteena synty- vän rikkihapon hyvitys on tehty alkuainerikistä valmistetun rikkihapon elinkaa- ritiedoilla (IISI 1998).



Tuotejärjestelmän ulkopuolelle menevä sähkö on hyvitetty vastaavalla määrällä Suomessa tuotettua sähköä. Jätelämmön hyväksikäyttö tuotejärjestelmien ulkopuolella on hyvitetty ko. paikallisen lämpökeskuksen niillä päästöillä, jotka säästyvät jätelämmön käytön vuoksi.

Laskentamenettelyt on esitetty yksityiskohtaisesti tehtaille luovutetuissa inventaarioselvityksissä.

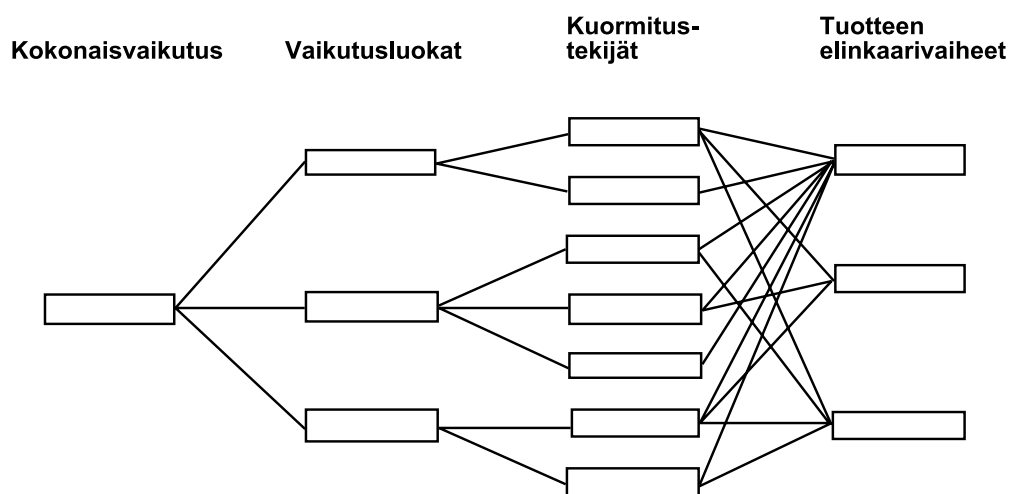
### 3.3 Vaikutusarviointi

#### 3.3.1 Arviointikehikko

Inventaariotiedot on analysoitu päätösanalyysiin ja elinkaariarvioinnissa käytäviin menetelmiin perustuvalla vaikutusarviointimallilla, josta käytetään nimitystä DAIA (Decision Analysis Impact Assessment). Päätösanalyysin näkökulmasta kyseessä on lähinnä arvopuuhun nojautuva SMART (Simple Multiattribute Rating Technique). Mallin teoreettiset perusteet on esitetty Seppälän (1997, 1999a) julkaisuissa, eikä niitä käydä tässä selvityksessä läpi. Elinkaariarviointiin perustuva vaikutusarviointiosa on vastaavasti esitetty erillisjulkaisussa (Seppälä 1999b).

Mallissa ympäristövaikutusten arviointiongelma kuvataan arvopuun mukaisena hierarkiana (kuva 7), jossa tehtävänä on vertailla erilaisten systeemien merkitystä ympäristövaikutusten aiheuttajana. Vertailtavat systeemit muodostuvat tässä yhteydessä tarkasteltavan metallijalosteen elinkaarivaiheista, jotka aiheuttavat erilaisia päästöjä sekä luonnonvarojen ja maan käyttöön liittyviä tekijöitä. Elinkaarivaiheet muodostavat hierarkian alimman tason. Elinkaarivaiheiden aiheuttamat päästöt ja muut ympäristövaikutuksia aiheuttavat *kuormitustekijät* (esim. maankäyttöön liittyvät ympäristöä muuttavat toimenpiteet) sijoitetaan hierarkian seuraavalle tasolle ja ne muodostavat kriteeristön ympäristövaikutuksille. Erilaisia ympäristövaikutuskokonaisuuksia kuvaavat *vaikutusluokat* muodostavat hierarkian kolmannen tason. Arvioinnin päämäärä, kokonaisvaikutuksen selvittäminen, muodostaa mallin ylimmän tason.

Mallin rakentamisen lähtökohtana on hierarkian jäsentely eli *luokittelu*, jossa määritellään ympäristövaikutuskokonaisuuksia kuvaavat vaikutusluokat ja liitetään inventaariossa kerätyt kuormitustekijät syyseuraussuhteidensa perusteella vaikutusluokkiin.



Kuva 7. Vaikutusarviointimallin hierarkkinen kuvaus.

Tuotteiden kuormitustekijöiden aiheuttamia vaikutuksia on arvioitu kahdella erilaisella vaikutusarviointimallilla, ns. valtakunnallisella arviointimallilla ja kokonaisarviointimallilla. Valtakunnallinen arviointimalli noudattaa pitkälle elinkaariarvioinneissa yleisesti sovellettavia laskentamenettelyjä ja vaikutusluokkajaottelua. Tämä malli pystyy parhaiten selittämään globaaleja ja Suomen rajoja ylittäviä vaikutuksia. Mallia voidaan soveltaa sellaisenaan mille tahansa Suomen päästöttekijälle, mistä johtuu nimitys "valtakunnallinen". Kokonaisarviointimalliin on liitetty valtakunnallisen arviointimallin elementtien lisäksi paikallisia vaikutuksia kuvaavia vaikutusluokkia ja niihin liittyviä kuormitustekijöitä.

### 3.3.2 Valtakunnallinen arviointimalli

Valtakunnallisessa mallissa ei tehdä luokittelua, koska hierarkiamalli perusvaikutusluokkineen on siinä jo valmiina. Mallin oletusvaikutusluokat kuormitustekijöineen ovat seuraavat (ks. Seppälä 1999b):

- *Ilmastonmuutos* tarkoittaa kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamaa ilmakehän lämpenemistä. Mallissa otetaan huomioon vain ns. suorat kasvihuonekaasupäästöt eli hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metaani ( $\text{CH}_4$ ) ja halogeeniyhdisteet.
- *Yläilmakehän otsonin vähenemistä* tapahtuu, kun ihmisten toiminnasta vapautuu stratosfääriin otsonia tuhoavia aineita (esimerkiksi kloorifluorihiihivetyä (CFC) tai haloneja), minkä seurauksena UV-B-säteily lisääntyy maanpinnalla.
- *Happamoitumisella* tarkoitetaan luonnon vastustuskyvyn heikkenemistä happamoittavaa laskeumaa vastaan. Kullakin alueella on sille ominainen kyky vastustaa happamoittavaa laskeumaa (ts. neutraloida vetyioneja). Happamoitumista aiheuttavat päästöttekijät ovat mallissa rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ ), ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ), typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ) ja kloorivety (HCl).
- Foto-oksidantteihin liittyvistä haitoista käsitellään mallissa vain *alailmakehän otsonin muodostumista*, mikä vastaa yleistä käytäntöä elinkaariarvioinneissa. Muiden oksidanttien osalta tiedot ovat liian puutteellisia. Liialliset otsonipitoisuudet aiheuttavat suoria vaikutuksia kasveihin ja ihmisen terveyteen. Vaikuttavat päästöttekijät ovat typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ), haihtuvat orgaaniset yhdisteet ilman metaania (NMVOC), metaani ( $\text{CH}_4$ ) ja hiilimonoksidi (CO).
- *Ekotoksisuudella* tarkoitetaan tässä yhteydessä myrkyllisyysvaikutuksia, joita ympäristölle vaaralliset kemikaalit aiheuttavat ekosysteemeissä. Eliöille myrkyllisyysvaikutukset voivat olla joko akuutteja tai kroonisia. Akuutilla myrkyllisyydellä tarkoitetaan huomattavia haittavaikutuksia, jotka aiheutuvat eliöille lyhytaikaisessa altistuksessa. Kroonisella tarkoitetaan myrkyvaikutusta, joka on a) seurausta altistuksesta, joka kestää eliön keskimääräisestä elinajasta suuren osan tai kokonaan, b) ilmenee vasta pitkän ajan kuluttua altistuksen jälkeen. Tässä yhteydessä kroonisiin vaikutuksiin luetaan ns. myrkyvaikutusten lisäksi syöpään sairastuminen, geneettiset muutokset ja lisääntymishäiriöt. Koska ns. onnettomuustilanteet on rajattu tarkastelun ulkopuolelle, ei akuuttia terrestriä (maaympäristössä tapahtuvaa) ekotoksisuusvaikutusluokkaa ole mukana. Lähtökohtana on siis oletus, että ns. jatkuvat päästöt ilmaan eivät sisällä myrkyllisiä aineita sellaisissa pitoisuuksissa, että ne aiheuttaisivat akuutteja myrkyllisyysvaikutuksia. Tässä yhteydessä vaikutusluokasta on myös rajattu pois torjunta-ainei-

den käytön haitat. Ekotoksisuutta aiheuttavat metallipäästöt veteen ja ilmaan sekä orgaaniset myrkylliset yhdisteet (esim. furaanit, dioksiinit, PCB, PAH-yhdisteet, klooriyhdisteet jne.).

- *Rehevöitymistä* tarkastellaan mallissa vain vesiekosysteemin kannalta. Terrestriesssä ympäristössä tapahtuvaa rehevöitymistä ei oteta huomioon, koska sen oletetaan olevan Pohjois-Euroopassa ongelmana vähäinen. Veden rehevöitymisellä tarkoitetaan vesiekosysteemin häiriintymisestä johtuvaa veden eliöstön lisääntynyttä kasvunopeutta. Peruskriteerinä pidetään kasviplanktonin ja korkeampien vesikasvien lisääntynyttä tuotantoa (mitattuna tavallisimmin veden a-klorofyllipitoisuutena). Rehevöitymistä aiheuttavat veteen ja ilmaan joutuvat fosfori(P)- ja typpipäästöt (N).
- Mallissa *luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen* sisällytetään vain maankäytöstä aiheutuvat muutokset. Päästöjen suorat ja välilliset vaikutukset monimuotoisuuteen ovat huomattavasti vähäisemmät kuin maankäyttöön liittyvien tekijöiden. Päästöistä aiheutuvat monimuotoisuusmuutokset ovat siten mukana edellä esitetyissä muissa vaikutusluokissa. Luonnon monimuotoisuus eli biodiversiteetti tarkoittaa kaikkea elollisen luonnon eri tasoilla esiintyvää vaihtelua.

Metallien jalostusteollisuuden ei tiedetä aiheuttavan otsonikerrosta tuhoavia aineita, minkä takia yläilmakehän otsonin vähenemisvaikutusluokkaa ei tarkastella valtakunnallisessa arviointimallissa. Koska maankäyttöön liittyvät tekijät on käytännössä rajattu tarkastelusta pois (ks. kohta 3.1), luonnon monimuotoisuuden vähenemisasiaa ei ole myöskään tarkasteltu edellä esitetyn vaikutusluokkarajauksen mukaisesti. Monimuotoisuuden vähenemisen poisjättäminen johtuu yksinkertaisesti luonnon monimuotoisuuden arviointimenetelmien kehittymättömyydestä sekä tarvittavan lähtötiedon puuttumisesta. Menetelmien kehittymättömyys koskee myös ekotoksisuutta, minkä takia tätäkään vaikutusluokkaa ei esitetä perusvaikutusarviointimallissa.

Metallijalosteiden perusarviointimalli käsittää siis vain neljä vaikutusluokkaa, jotka ovat ilmastonmuutos, happamoituminen, alailmakehän otsonin muodostuminen ja rehevöityminen. Näitä vaikutusluokkia käytetään tyypillisesti elinkaariarvioinneissa ja niiden arviointiperusteet ovat parhaiten tieteellisesti perusteltavissa.

Varsinainen vaikutusarviointilaskenta alkaa muuttamalla kuormitustekijöiden arvot yhteismitallisiksi kussakin vaikutusluokassa. Tässä ns. karakterisoinnissa eli luonnehdinnassa kerrotaan kuormitustekijöiden arvot niitä vastaavilla vaikutusluokan karakterisointikertoimilla, jolloin tulokseksi saadaan yhden vaikutusluokan osalta *vaikutusluokkaindikaattoriluku*. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen yhteydessä eri kasvihuonekaasujen päästöt pystytään ilmaisemaan ilmaston lämpenemistä kuvaavan vaikutuspotentiaalikertoimen (GWP) avulla CO<sub>2</sub>-ekvivalenttimäärinä. Karakterisointikertoimet perustuvat elinkaariarvioinneissa sovellettaisiin ns. ekvivalenttikertoimiin, joita määrättäessä on otettu huomioon nykytiedämys eri tekijöiden merkityksestä kulloiseenkin vaikutusluokkaan. Kertoimet eivät kuitenkaan ota huomioon aineiden eri yhdisteiden ja kuormitustekijöiden vaikutusalueiden ympäristöolosuhteiden eroja, joilla voi olla suurikin merkitys kuormitustekijöiden aiheuttamien vaikutusten suuruuteen. Tämän takia perusarviointimallin karakterisointikertoimissa on käytetty lisäksi korjauskertoimia happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen yhteydessä. Näissä vaikutusluokissa päästölähteiden maantieteellisellä sijainnilla koetaan olevan merkitystä päästöjen aiheuttamien vaikutusten suuruuden kannalta.

Karakterisointikertoimien avulla jokaiselle tutkittavalle tuotteelle lasketaan sen aiheuttaman haitan suuruus kussakin vaikutusluokassa, vaikutusluokkaindikaattoriluku. Lasketut tuotteiden vaikutusluokkaindikaattoriluvut normalisoidaan

jakamalla ne koko Suomen vastaavilla vaikutusluokkaindikaattoriarvoilla. *Normalisoinnin* avulla voidaan helpommin arvioida eri toimintosektorien välistä merkittävyyttä ympäristövaikutusten aiheuttajana. Normeerattu luku kertoo kunkin tuotteen suhteellisen merkityksen ko. vaikutusluokassa, jonka Suomen kuormitustekijät aiheuttavat.

Määrittämällä vaikutusluokille niiden keskinäistä merkitystä kuvaavat painot saadaan lasketuksi tuotteiden elinkaarivaiheille ja niiden kuormitustekijöille kokonaisvaikutuksia kuvaavat arviot. Nämä ns. *kokonaisvaikutusindikaattoriluvut* lasketaan kertomalla normalisoidut vaikutusluokkaindikaattoriluvut vaikutusluokkien painokertoimilla ja summaamalla tulot yhteen.

Oletusvaikutusluokkien painokertoimet saatiin arvottamiskyselyn avulla. Arvottamisessa vastaajina olivat (vastaajien lkm)

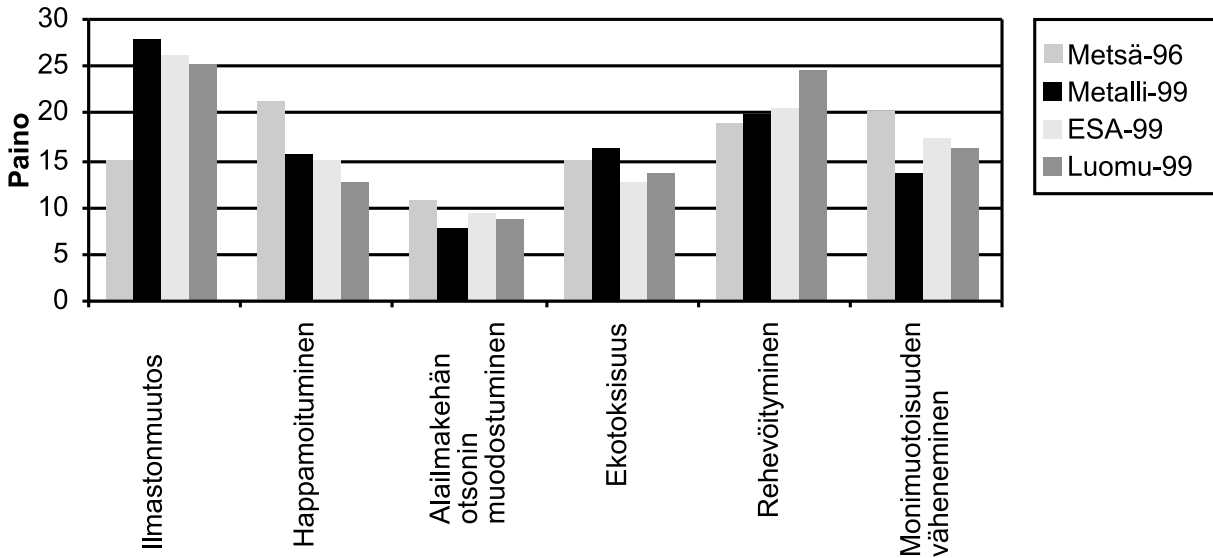
- tehtaiden ympäristönsuojeluvastaavat (8)
- tehtaita valvovat viranomaiset alueellisista ympäristökeskuksista (8)
- tehtaita valvovat kunnalliset ympäristöviranomaiset (8)
- metallien jalostusteollisuuden konserni- ja keskusjärjestövastaavat (6)
- Suomen ympäristökeskuksen johto (7)

Vaikutusluokkien arvottamisen lähtökohtana oli metsäteollisuuden elinkaaritarkastelun yhteydessä suoritettu arvottamismenettely (ks. Seppälä 1997, 1999a). Vaikutusluokkien keskinäinen arvottaminen perustui seuraavanlaiseen kysymysasetteluun esimerkiksi happamoitumisen ja rehevöitymisen välillä: kuinka paljon tärkeämpänä pidät Suomen happamoittavien päästöjen rajoittamista kuin rehevöittävien päästöjen (tai päinvastoin)? Vaikutusluokkien painojen antamisessa käytettiin ns. suhdearviointimenetelmää, jossa vähiten tärkeä vaikutusluokka eli ns. vertailuvaikutusluokka sai lukuarvon 10 ja muut vaikutusluokat lukuarvon, joka kuvasi ko. vaikutusluokan tärkeyseroa vertailuvaikutusluokkaan ja muihin vaikutusluokkiin. Kunkin vastaajan vaikutusluokkapainokertoimet ( $w$ ) normeerattiin päätösanalyysin teorian mukaan ykköseksi ( $w_{\text{Ilmastomuutos}} + w_{\text{Happamoituminen}} + \dots + w_{\text{Monimuotoisuuden väheneminen}} = 1$ ). Arvottamistehtävä vaikutusluokkamäärittelyineen on esitetty liitteessä 2. Todettakoon, että arvottamistehtävässä olivat mukana myös vaikutusluokat ekotoksisuus ja monimuotoisuuden väheneminen, jotka eivät siis sisällyneet valtakunnalliseen arviointimalliin.

Arvottamiseen osallistuneiden näkemykset erosivat huomattavasti toisistaan. Vaikutusarviointimallin lähtökohdaksi otettiin kuitenkin vastanneiden vaikutusluokkapainoista lasketut keskiarvopainot, minkä perusteella ilmastonmuutos koettiin tärkeimmäksi vaikutusluokaksi. Vaikutusluokkien normeeratut keskiarvopainot olivat seuraavat: ilmastonmuutos 0,393, happamoituminen 0,230, alailmakehän otsonin muodostuminen 0,098 ja rehevöityminen 0,279.

Tämän tutkimuksen yhteydessä saadut vaikutusluokkien keskiarvopainot eivät poikenneet kovinkaan paljon muissa yhteyksissä saaduista vastaavista keskimääräisistä vaikutusluokkapainoista (kuva 8). Vuonna 1999 tehdyissä arvottamiskyselyissä ilmastonmuutoksen painoarvo on noussut ja happamoitumisen painoarvo puolestaan vähentynyt vuonna 1996 metsäteollisuuden elinkaariselvityksen yhteydessä tehdyn arvottamiskyselyn tuloksiin nähden.

### Vaikutusluokkien valtakunnalliset keskiarvopainot



Kuva 8. Ympäristövaikutusluokkien valtakunnalliset keskiarvopainot eri tutkimuksissa (n = arvioimisessa mukana olleiden asiantuntijoiden lukumäärä): Metsä -96: Metsäteollisuuden elinkaaritarkastelu (Seppälä ja Jouttijärvi 1997) n= 59, Metalli -99: tämä tutkimus n=37, ESA -99: Etelä-Savon alueellinen ympäristöanalyysi (Tenhunen ja Seppälä 2000) n=26, Luomu-99: Tavanomaisen ja luonnonmukaisen maataloustuotannon ympäristövaikutukset (Grönroos ja Seppälä 2000) n= 17.

### 3.3.3 Kokonaisarviointimalli

Metallijalosteiden kokonaisvaikutusarviointit tehtiin arviointimallilla, jonka yksityiskohtaiset menetelmälliset perusteet on esitetty erillisjulkaisussa (Seppälä 2000). Lähtökohdaksi oli, että kokonaisarviointimalli räätälöitiin kullekin metallituotetta valmistavalle tuotantolaitokselle erikseen. Tähän ns. tuotantolaitosmalliin kerättiin tarvittavat lähtötiedot ja mallin laskentasaäntöjen perusteella laskettiin tehtaan kuormitustekijöille ns. vaikutuskertoimet, joiden avulla laskettiin myös vaikutuspisteet tuotteiden elinkaaren eri vaiheiden kuormitustekijöille.

Tuotantolaitosmallien vaikutusluokat ja kuormitustekijät saattoivat erota toisistaan, koska mallin elementit määriteltiin tapauskohtaisesti. Kunkin tuotantolaitosmallin luokittelussa pyrittiin sisällyttämään malliin kaikki kokonaisarvioinnin kannalta tarpeelliset vaikutusluokat ja kuormitustekijät. Mallin jäsentelyssä otettiin huomioon arvopuun rakentamiseen liittyvät teoreettiset ehdot ja sen toteutukseen osallistuvien ns. systeemianalyttikon lisäksi kunkin tuotetta valmistavan tehtaan ympäristönsuojeluvastaava, kunnan ympäristönsuojelusihteeri ja alueellisen ympäristökeskuksen vastaava teollisuusvalvoja.

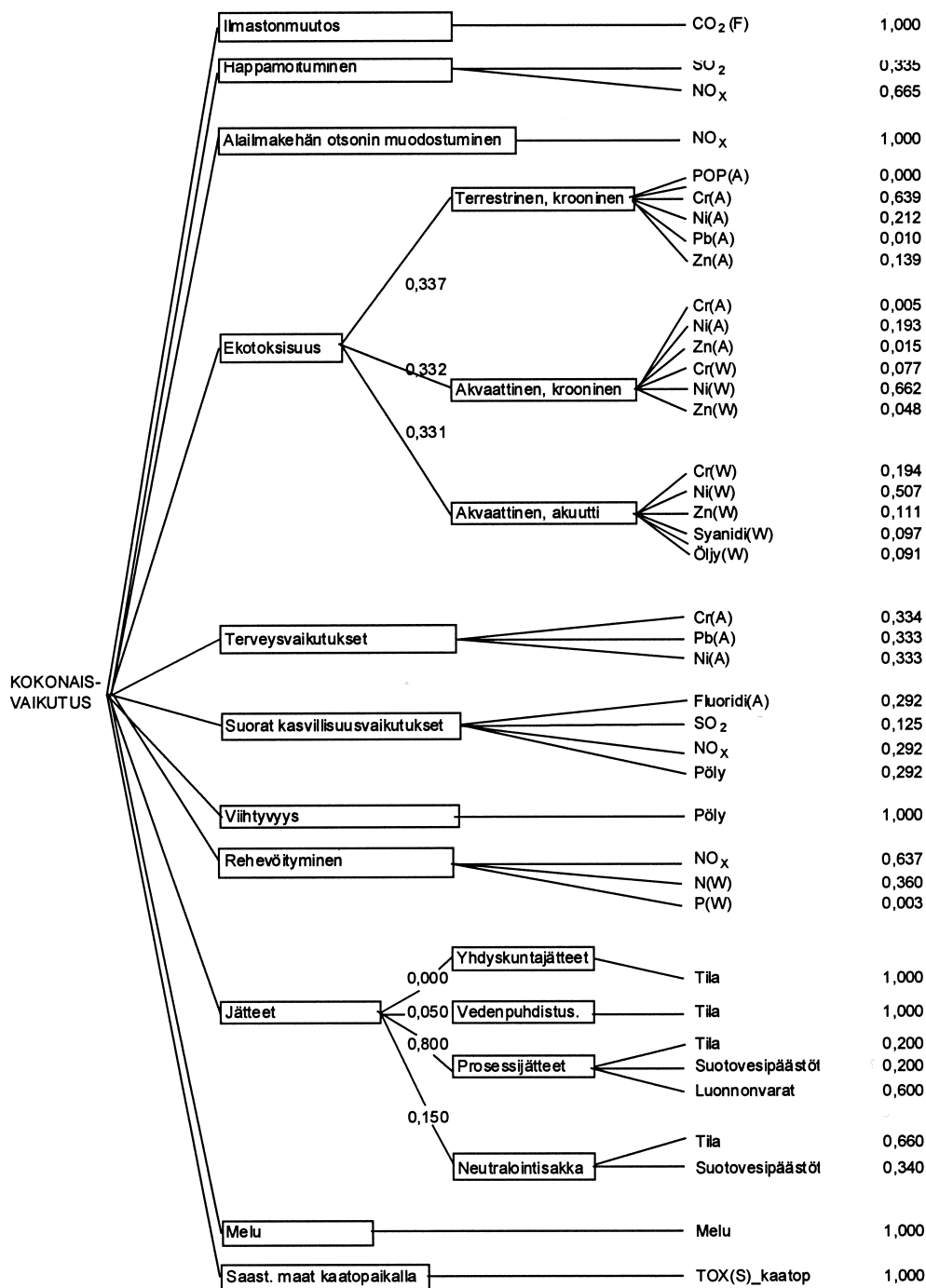
Kaikissa tuotantolaitosmalleissa oli valtakunnallisen mallin vaikutusluokat eli ilmastonmuutos, happamoituminen, alailmakehän otsonin muodostuminen ja rehevöityminen. Seuraavassa on lyhyesti luonnehdittu malleissa esiintyviä muita vaikutusluokkia ja niihin liittyviä kuormitustekijöitä:

- *Ekotoksisuus* määriteltiin samalla tavalla kuin valtakunnallisessa oletusmallissa (ks. kohta 3.3.2). Ekotoksisuus oli jaettu malleissa tyypillisesti kolmeen alavaikutusluokkaan: terrestriseen krooniseen, akuuttiin ja krooniseen akvaattiseen ekotoksisuusluokkaan.

- *Terveysvaikutusluokalla* ymmärrettiin mallissa ilman pitoisuuksien aiheuttamia vaikutuksia ihmisen terveyteen. Vaikuttavina tekijöinä malleissa olivat pöly, pysyvät orgaaniset aineet eli ns. POP-päästöt (esim. PCB, PAH-yhdisteet, dioksiinit, furaanit), arseeni (As), lyijy (Pb), kadmium (Cd), nikkeli (Ni), rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>), typen oksidit (NO<sub>x</sub>).
- *Suorat kasvillisuusvaikutukset* kattavat korkeiden ilmassa olevien pitoisuustasojen aiheuttamat välittömät vaikutukset. Mallien päästötekijät ovat rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>), typen oksidit (NO<sub>x</sub>), fluoridi ja pöly.
- Välitön *happivajaus* vesistössä syntyy orgaanisen (BOD) tai kemiallisen (COD) happea kuluttavan jätevesikuorman ja veteen joutuvan ammoniumtypen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) hapettumisen seurauksena.
- *Kiintoaines* ilmentää esteettistä haittaa vesistössä ja heikentää eliöiden elinympäristöä.
- *Lämpökuorma* veteen voi edistää rehevöitymistä. Ilmaan menevä lämpökuorma ilmenee suurena määränä vesihöyryä, joka saattaa aiheuttaa esteettistä haittaa. Sekä ilmaan että veteen menevä lämpökuorma ilmentää karkeavaa energiamäärää, jonka määrä tulisi minimoida.
- Tehdasalueiden pöly aiheuttaa myös *viihtyvyyshaittaa*.
- *Jätteet* on arvioitu malleissa luonnonvarojen vähenemisen, niiden vaatiman tilan ja suotovesipäästöuhan näkökulmasta. Jätteet on ryhmitelty alaluokkiin, jotka kuvaavat toiminnan kannalta keskeisimpiä jätevirtoja (ks. kuva 9).
- *Melu* on otettu malleihin mukaan, jos tuotantolaitostoiminta aiheuttaa viihtyvyyttä heikentäviä melutasoja tuotantolaitoksen ulkopuolella.
- *Haju* on mukana vaikutusluokkana, jos tuotantolaitostoiminta aiheuttaa ympäristössään hajukynnyksen ylittäviä pitoisuustasoja.
- *Saastuneet maa-alueet* (ja *pohjavesialueet*) toimivat mahdollisina päästölähteenä ja maankäytön rajoittajina. Saastuneet maa-alueet tehdasalueella ja ympäristössä on jaoteltu omina vaikutusluokkina. Vaikuttavia tekijöitä ei ole yksilöity arviointimalleissa.

Kuvassa 9 on esitetty esimerkki tuotantolaitoksen ympäristövaikutusten kokonaisarviointimallista. Hierarkiassa on vain ne vaikutusluokat ja niihin liittyvät kuormitustekijät, jotka tarkasteltava tuotantolaitos aiheuttaa. Tästä syystä eri tuotantolaitosmallien rakenne vaihteli tutkimuksessa.

Hierarkian eli arvopuun laadinnassa käytettiin Teknillisen korkeakoulun systeemianalyysilaboratorion tekemää tietokoneohjelmaa ns. Hipre-mallia (Hämäläinen ja Lauri 1992). Arvopuun ratkaisu toteutettiin alhaalta ylöspäin. Ensimmäisenä vaiheena oli arvioida kunkin kuormitustekijän osuus vaikutusluokan/ala-vaikutusluokan ympäristövasteen aiheuttajana. Arvion lähtökohtana olivat kulloisenkin tarkasteltavan tuotantolaitosten päästöt ja muut ympäristöä muuttavat tekijät. Kuormitustekijän vaikutusosuudeksi asetettiin yksi, kun kuormitustekijöitä oli vain yksi ko. vaikutusluokassa. Ilmastomuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen osalta eri kuormitustekijöiden vaikutusosuudet saatiin laskemalla suoraan karakterisoidut kuormitustekijämäärät (vaikutusluokkaindikaattorit) valtakunnallisen mallin oletuskertoimilla (ks. Seppälä 1999b) ja normeeraamalla arvot ykköseksi kussakin vaikutusluokassa.



Kuva 9. Esimerkki tuotantolaitosmallin ympäristövaikutusten hierarkiasta, jossa on esitetty myös kuormitustekijöiden vaikutusosuudet eri vaikutusluokissa ja alavaikutusluokkien painokertoimet. Käytetyt lyhenteet: CO<sub>2</sub>(F) = hiilidioksidi (fossiilinen), SO<sub>2</sub> = rikkidioksidi, NO<sub>x</sub> = typen oksidit, POP(A) = pysyvät orgaaniset yhdisteet ilmaan (esim. PAH(A) = polyaromaattiset hiilivedyt ilmaan, PCB(A) = polyklooratut bifenyylit ilmaan, DIO/FUR(A) = dioksidit ja furaanit ilmaan), Cr(A) = kromi ilmaan, Ni(A) = nikkeli ilmaan, Pb(A) = lyijy ilmaan, Zn(A) = sinkki ilmaan, Cr(W) = kromi veteen, Ni(W) = nikkeli veteen, Zn(W) = sinkki veteen, N(W) = kokonaistyyppi veteen, P(W) = kokonaisfosfori veteen, TOX (S)\_kaatop = myrkylliset yhdisteet kaatopaikan saastuneelta maa-alueelta.

Ekotoksisuuden alavaikutusluokkien, terveysvaikutusten, suorien kasvillisuusvaikutusten ja jätteiden alavaikutusluokkien yhteydessä eri kuormitustekijöiden vaikutusosuudet tehtiin asiantuntija-arvion perusteella. Arvopuun laadintaan osallistuneet asiantuntijat keskustelivat arviointiperusteista ja käyttivät yhdessä Hipre-mallin suoraa painotusmenetelmää (ks. Seppälä 2000). Asiantuntijoiden tehtävänä oli löytää konsensus eri kuormitustekijöiden aiheuttamien vaikutusten suuruudelle toisiinsa nähden, kun taustalla olivat koko ajan tarkasteltavan tehtaan vaikutukset.

Ekotoksisuuden ja terveysvaikutusten metallien vaikutusosuuksien arvioinnissa käytettiin analyytikon laskemia oletusarvoja, joiden laskentaperusteet selviävät liitteestä 3. Asiantuntijoilla oli kuitenkin mahdollisuus muuttaa näitä oletusarvoja haluamiinsa suuntiin edellä esitetyn arvottamismenettelyn avulla.

Alavaikutusluokkien (esim. terrestrinen krooninen ja akvaattinen krooninen ekotoksisuus) painottaminen tehtiin myös suoralla painotuksella Hipre-mallia hyväksikäyttäen. Asiantuntijat määrittivät eri alavaikutusten suhteellisen tärkeyden konsensusperiaatteella. Moniattribuuttisen arvoteorian mukaisesti alavaikutusten painot normeerattiin ykköseksi (ks. kuva 9).

Vaikutusluokkien painokertoimet määriteltiin myös Hipre-mallin suoralla painotuksella. Kukin asiantuntija antoi omat preferenssinsä vaikutusluokkien keskinäisestä tärkeydestä tarkasteltavan tuotantolaitoksen tapauksessa. Ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen osalta painot oli kuitenkin kiinnitetty valmiiksi kunkin tuotantolaitoksen vaikutuksia kuvaaviksi vaikutusluokkapainoiksi eikä niitä siis saanut arvottamistehävässä muuttaa. Kiinnitetyt painot saatiin jakamalla tuotantolaitoksen aiheuttamien päästöjen vaikutusluokkaindikaattoriluvut koko maan vastaavilla normalisointitekijöillä ja kertomalla näin saatu osamäärä vastaavan vaikutusluokan valtakunnallisella keskiarvopainoilla (ks. kuva 8). Lopuksi vaikutusluokkien painot normeerattiin ykköseksi ja ko. painovektori liitettiin suoran painotuksen lähtötiedoiksi. Suorassa painotuksessa asiantuntijat pystyivät muutamaa muiden kuin kiinnitettyjen vaikutusluokkien painokertoimia sille tasolle, joka kuvasi heidän näkemystään vaikutusluokkien keskinäisestä tärkeydestä haittavaikutusten vähentämistarpeen näkökulmasta. Kiinnitettyjen vaikutusluokkien laskelmissa käytetyt lähtötiedot ja laskentamenettely perusteineen on esitetty erillisjulkaisussa (Seppälä 2000). Ekotoksisuuden osalta asiantuntijoille oli myös annettu oletusarvo painokertoimeksi. Se oli saatu liitteessä 3 esitetyllä tavalla. Asiantuntijoilla oli kuitenkin mahdollisuus muuttaa tätä painoarvoa, koska ekotoksisuuden osalta syy-seuraussuhteiden kvantifiointi on niin epävarmalla pohjalla.

Eri asiantuntijoiden antamat tuotantolaitosarviointimallin vaikutusluokkien painot erosivat vaihtelevasti toisistaan. Mallien lähtötiedoksi valittiin kunkin tuotantolaitoksen asiantuntijoiden vaikutusluokkien keskiarvopainot. Tämän jälkeen laskettiin arvopuu moniattribuuttisen arvoteorian mukaisesti ”läpi” (ks. Seppälä 2000), jonka seurauksena saatiin kunkin kuormitustekijän määrää vastaava vaikutuspiste. Kun tämä vaikutuspiste jaettiin sitä vastaavalla kuormitustekijämäärällä saatiin kuormitustekijää vastaava ns. vaikutuskerroin. Näitä kertoimia käytettiin, kun tuotteiden elinkaaren eri vaiheiden päästöt yhteismitallistettiin vaikutuspisteiksi eli kokonaisarviointimallit muodostuivat tuotantolaitosmallien vaikutuskertoimista.

Joidenkin päästömuuttujien vaikutuskertoimet pystyttiin lisäämään kokonaisarviointimalliin, vaikka niiden päästöjä ei ollut tuotantolaitosmallissa. Tällaisia muuttujia olivat ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonia muodostavat ja rehevöitymistä aiheuttavat päästöt (ks. luku 3.3.2), joiden karakterisointikertoimet ovat tiedossa. Jos esimerkiksi tuotantolaitosmallin CO<sub>2</sub>-päästöjen



kokonaisvaikutuspiste on tiedossa, voidaan CO<sub>2</sub>:n ja dityppioksidin (N<sub>2</sub>O) karakterisointikertoimien suhteiden (1 / 310) avulla laskea esimerkiksi ostosähkön N<sub>2</sub>O-päästöjen kokonaisvaikutuspiste (ks. lähemmin Seppälä 2000).

Muokatuille kuparituotteille tehtiin tuotantolaitosmallit sekä anodikuparin valmistukselle että anodikuparin työstämiselle muokatuiksi kuparituotteiksi. Muokattujen kuparituotteiden tuotejärjestelmän lopulliseen kokonaisarviointimalliin vaikutuskertoimet saatiin laskemalla vaikutuskertoimien painotetut keskiarvot päästömäärien suhteessa. Vastaava tehtiin myös teräslankojen tuotejärjestelmässä, jossa tuotantolaitosmallit tehtiin erikseen aihoiden sekä teräslankojen (valsilangat ja vedetyt langat) valmistusvaiheille.

Metallijalosteiden kokonaisarviointimallien vaikutuskertoimet kuvaavat tuotantolaitosten kuormitustekijöiden vaikutuksia. Vaikutuskertoimien käyttö tuotteiden elinkaaren eri vaiheiden päästöjen kokonaisvaikutusten arviointiin on tarkasti ottaen mahdollista vain, jos elinkaarivaiheiden päästöt vaikuttavat vastaavissa olosuhteissa kuin valmistuksen päästöt. Näin ei tietenkään todellisuudessa ole. Käytännössä vaikutuskertoimien käytön virhe suurenee mitä kauempana tarkasteltavat toiminnot ja niiden aiheuttamat päästöt ovat Suomesta. Erityisesti toisessa maanosassa tapahtuvan rikastotoiminnan ja valtamerikuljetusten päästöjen arviointi on mielivaltaista tuotantolaitoslähtöisten vaikutuskertoimien avulla. Tällaisten tuotejärjestelmien tulosten esittämisessä ja tulkinnassa on käytetty herkkyytarkasteluja, joiden tarkoituksena on haarukoida selvästi sijainniltaan valmistuksesta poikkeavien elinkaarivaiheiden vaikutusarvioita.

Metallijalosteiden valmistusvaiheiden kuormitustekijöiden keskinäinen tärkeysjärjestys määräytyy pitkälle subjektiivisten arvostusten perusteella, joiden takana on suppea asiantuntijajoukko. Asiantuntijoiden näkemyseroja ei tässä yhteydessä tuoda esille, vaan mallin lähtökohtana on ollut asiantuntija-arvioiden keskiarvon käyttö. Tämä vastaa yleistä toimintamallia ympäristönsuojeluasioiden hoidossa: ympäristönsuojelua ei toteuteta yksittäisten kansalaisten näkemysten perusteella, vaan päätösten taustalla on pyrkimys ottaa huomioon eri tahojen näkemyksiä.

# 4

## Inventaarioselvitysten keskeiset tulokset

### 4.1 Lähtökohdat

Inventaariotulokset kuvaavat metallijalosteiden tuotannon ympäristökuormitusta raaka-ainetuotannosta oman tehtaan portille. Tässä työssä tuotteen valmistuksen jälkeinen metallijalosteen käyttö erilaisten metallituotteiden valmistuksessa ja näiden tuotteiden käyttö sekä poisto on rajattu inventaarioiden ulkopuolelle. Tulokset on esitetty tuotettua metallijalostetonna kohti. Laskenta on tapahtunut tietokoneohjelmalla laskentamallien lähtötietojen tarkkuudella, joten tulostaulukoiden lukuarvot eivät kerro lukujen todellisesta tarkkuudesta. Numeeristen tulosten ymmärrettävyyttä ja tulkintaan liittyviä erilaisia näkökohtia on pyritty selkeyttämään taulukoiden esittämisen yhteydessä.

Metallijalosteiden inventaarioselvitysten keskeiset tulokset on ryhmitelty neljään osakokonaisuuteen: 1) materiaalisyytöt, 2) metallijalosteiden primäärienergian kulutus, 3) metallijalosteiden tuotannon päästöt ja 4) syntyvät jätteet.

Metallijalosteiden elinkaari-inventaariotulokset ovat lähtökohdiltaan samanlaiset, koska niiden laadinnassa on käytetty samanlaisia tuotejärjestelmärajauksia sekä allokointi- ja laskentamenettelyitä.

Teräslevyjen ja -kelojen inventaarioanalyysissä käytetty sähköntuotantomalli, joidenkin sivutuotteiden hyvitystapa ja raaka-aineiden lähtötiedot sekä kuljetuksissa käytetyt päästökertoimet eroavat jonkin verran muiden metallijalosteiden inventaarioanalyysissä käytetyistä menettelytavoista. Erot on kuitenkin arvioitu tämän työn puitteissa niin pieniksi, ettei täydelliseen yhdenmukaistamiseen ole katsottu olevan aiheutta. Erilaisten tekijöiden vaikutuksia inventaarioanalyysien lopputuloksiin on käsitelty kohdassa 4.6 ja liitteessä 4.

Samantyyppisistä inventaariotulosten lähtökohdista huolimatta eri metallijalosteiden inventaariotuloksia ei voida verrata keskenään ympäristömyötäisyyden näkökulmasta, koska metallijalosteilla on erilaiset toiminnot ja käyttötarkoitukset. Tuotteiden inventaariotulokset ovat vertailukelpoisia ainoastaan silloin, kun tuotteilla on samat käyttötarkoitukset ja toiminnot sekä tuotteiden inventaarioanalyysien laadinnassa käytetyt rajaukset ja laskentamenettelyt ovat samanlaiset.

Malmipohjaisten ja romupohjaisten tuotteiden inventaariotuloksissa on selvä tasoero, koska niiden laskentaperusteet eroavat toisistaan. Romun käytön suhteen sovelletaan laskentamenettelyä, jossa ei oteta huomioon sitä tosiasiaa, että tuotantolaitoksen ulkopuolelta hankittu romu on joskus aikanaan valmistettu malmista. Tämä piirre on otettava huomioon malmipohjaisten ja romupohjaisten metallijalosteiden tulosten tulkinnassa.

Metallijalosteen inventaarioanalyysin rajauksien ja laskentamenettelyjen tunteminen on edellytyksenä inventaarioanalyysin tulosten käytölle ja tulosten tulkinnalle. Inventaarioanalyysien tuloksiin vaikuttavia tekijöitä on käsitelty liitteessä 4. Erityisen tärkeää on tuntea eri tutkimusten inventaarioanalyysien lähtökohdat, jos inventaariotuloksia on tarkoitus vertailla keskenään. Tulosten vertailukelpoisuutta muissa yhteyksissä saatuihin tuloksiin on käsitelty kohdassa 4.6.

## 4.2 Materiaalisyötteet

Eri metallijalosteiden luonnonvarojen kokonaiskäytön voidaan ajatella syntyvän tuotannon suorien luonnonvarapanosten ja näiden hyödyntämisen yhteydessä tapahtuvien tuotteen ainesmäärään sisällyttömien luonnonainesten siirtojen tai muuntojen yhteismäärästä. Viimeksi mainituilla tekijöillä eli ns. piilovirroilla on hallitseva rooli metallijalosteiden luonnonvarojen kokonaiskäytössä (TMR, Total Material Requirement). Piilovirroilla tarkoitetaan tässä työssä nimenomaan kaivoksessa syntyviä sivukivimääriä. Sivukivet ja rikastushiekat luokitellaan jätteiksi, minkä takia näiden ainemäärät on esitetty myös jätteiden yhteydessä (vrt. kohta 4.5).

Metallijalosteiden elinkaari-inventaarioiden materiaalisyötteitä ei ole kaikilta osin määritetty luonnonvarojen tasolle saakka. Tästä syystä kaikki tähän luokkaan kuuluvat syötteet on käsitelty materiaalisyötteinä, joista vain osa edustaa varsinaisia luonnonvaroja. Tämän työn inventaarioiden määrältään suurimmat materiaalisyötteet kunkin tuoteryhmän viimeistä tuotetta kohti on esitetty taulukossa 8 tuotetonna kohti. Koska tarkastelun kohteena on koko elinkaari, kaikki materiaalisyötteet eivät suoranaisesti liity metallien valmistusvaiheeseen. Näiden metallien valmistukseen kuulumattomien materiaalisyötteiden alkuperä, eli minikä raaka-aineen valmistukseen ne liittyvät, on esitetty raaka-aineen valmistus-sarakkeessa. Kaikki materiaalisyötteetkään eivät näy taulukossa materiaaleina, vaan esimerkiksi energiankulutuksena, kuten masuunin puhallusilma ja paineilmat, joissakin tapauksissa myös ilmakaasut. Tuuletusilmaa, kaivosten vedenpumpusta ja jäähdytysvesiä ei ole käsitelty inventaarioissa, eivätkä ne siten näy materiaalisyötteinä.

Piilovirtojen arvioimiseksi materiaalisyötteiden rinnalle on liitetty ns. piilovirtakertoimet, jotka on saatu "Ekotehokas Suomi" -projektista (Mäenpää ym. 2000). Kertomalla piilovirtakertoimella vastaava materiaalisyötteen määrä, saadaan arvio ko. materiaalisyötteen käyttöön liittyvästä piilovirrasta ja luonnonvarojen kokonaiskäytöstä. Joillekin luonnonvarojen tasolla esitetyille syötteille ei ole löytynyt niitä vastaavia piilovirtakertoimia. Aineiston puutteellisuuden takia piilovirtamääriä ja syötteiden määrätietoja ei ole tässä yhteydessä laskettu yhteen. Suurimmille materiaalisyötevirroille on kuitenkin onnistuttu löytämään niitä vastaavat piilovirtakertoimet. Aineistosta voidaan kuitenkin nähdä, että suurimmat materiaalivirrat kytkeytyvät kuparin, nikkelin ja sinkin tuotantoon. Niiden kaivostoiminnassa ja malmin rikastuksessa syntyy runsaasti sivukiveä ja rikastushiekkaa malmien pienten metallipitoisuuksien takia. Myös ruostumattoman teräksen luonnonvarojen kokonaiskäyttö muodostuu suureksi ferrokromin ja nikkelin kaivostoiminnan ja malmien rikastuksen kautta. Sen sijaan seostamattomissa terästuotteissa ns. piilovirtojen määrät ovat huomattavasti pienemmät rautamalmin suuren rautapitoisuuden takia.

Taulukko 8. Metallijalosteiden materiaalisyytteitä ja niitä vastaavat piilokertoimet.

a) Materiaalisyytteitä 1000 kg muovipinnoitettua teräsohutlevyä kohti

	Materiaali	Määrä (kg)	Raaka-aineen valmistus <sup>1</sup>	Piilovirtakerroin <sup>2</sup>	
Pääraaka-aineet	rautamalmi	1350	sis. muutkin oksidisiet materiaalit	1,81	
Muut raaka- ja seosaineet	teräsromu	45			
	rautaromu	40			
	mangaanimalmi	8,7	ferromangaani	6,00	
	(kvartsi) hiekka	6,4	ferropii	0,14	
	muut ferroseokset	0,7			
Kuonanmuodostajat	kalkkikivi	191		0,30	
	oliviini	37			
	fluorisälpä	0,7		1,75	
	peitepulveri	0,7			
Pinnoitteet	sinkkimalmi	55	sinkki	11,50	
	maalit	37			
	polyeteeni	1,5			
	polyvinyylidloridi	1,6			
	laminaattiliima	0,6			
	Muut aineet	tulenkestävät	7,8		
		valupulveri	0,6		
bentoniitti		6,7	pelletit	0,29	
dolomiitti		5,7	- " -	0,34	
räjähteet		1,0	rautamalmi		
bauksiitti		6,0	alumiini	0,65	
alumiiniromu		0,5	- " -		
Ilmakaasut	happi	212			
	typpi	94			
Pelkistys- ja polttoaineet	kivihiili	660		0,60	
	raakaöljy	91		0,08	
	maakaasu	100		0,17	
	propaani	3,8		0,39	

<sup>1</sup> Kuvaa raaka-aineen valmistusta, johon materiaalisyyte liittyy.

<sup>2</sup> Lähde: Mäenpää ym. 2000. Piilovirtakertoimella tarkoitetaan luonnonvarojen hyödyntämisen yhteydessä syntyvää tuotteen ainesmäärään sisältyvämmien luonnonainesten siirtojen tai muuntojen määrää. Kertomalla materiaalisyytteen määrä piilovirtakertoimella saadaan ko. materiaalisyytteen piilovirta. Lisäämällä tämä materiaalisyytteen määrään saadaan kokonaisluonnonvarojen käyttö.

b) Materiaalisyytteitä 1000 kg vedettyä teräslankaa kohti

	Materiaali	Määrä (kg)	Raaka-aineen valmistus <sup>1</sup>	Piilovirtakerroin <sup>2</sup>
Pääraaka-aineet	rautamalmi	1700		1,81
Muut raaka- ja seosaineet	ulkopuolinen romu	43		
	mangaanimalmi	15		6,00
	(kvartsi) hiekkaa	11	piimangaani	0,14
	[malmi]sintteri	1,0		
	ferrokromi	0,7		
	ferrokalsium	0,7		
	piikarbidi	0,7		
	kalsiumpii	0,7		
Kuonanmuodostajat	kalkkikivi	180		0,30
	fluorisälpä	1,9		1,75
	peitepulveri	1,2		
Tulenkestävät materiaalit	dolomiitti	28	tulenkestävät	0,34
	magnesiitti	7,3	- " -	0,34
	bauksiitti	3,5	- " -	0,65
Ilmakaasut	happi	130		
	typpi	5,2		
	argon	0,5		
Muut aineet	alumiini	1,0		
	rikki	2,9	rikkihapon tuotanto	0,15
	natriumammoniumvanadaatti	0,6	koksi	
	bentoniitti	33	pelletit	0,29
	räjähteet	1,1	rautamalmi	
Pelkistys- ja polttoaineet	kivihiili	680	yli 80 % koksi	0,60
	polttoöljyt	140		0,24
	raakaöljy	21		0,08
	maakaasu	20		0,17
	propaani	0,6		0,39

<sup>1</sup> Kuva raaka-aineen valmistusta, johon materiaalisyyte liittyy.

<sup>2</sup> Lähde: Mäenpää ym. 2000. Piilovirtakertoimella tarkoitetaan luonnonvarojen hyödyntämisen yhteydessä syntyvää tuotteen ainesmäärään sisältymättömien luonnonainesten siirtojen tai muuntojen määrää. Kertomalla materiaalisyytteen määrä piilovirtakertoimella saadaan ko. materiaalisyytteen piilovirta. Lisäämällä tämä materiaalisyytteen määrään saadaan kokonaisluonnonvarojen käyttö.

c) Materiaalisyötteitä 1000 kg kirkasta nuorutettua terästankoa kohti

	Materiaali	Määrä (kg)	Raaka-aineen valmistus <sup>1</sup>	Piilovirtakerroin <sup>2</sup>
Pääraaka-aineet	rauta- ja teräsromu	1300		
Muut raaka- ja seosaineet	mangaanimalmi	22	ferro- ja piimangaani	6,00
	hiekkä	8,2	piimangaani	0,14
	alumiinipii	3,9		
	nikkeli	2,4		17,65
	grafiittipulveri	2,2		0,34
	ferroalumiini	1,7		
	koksi	1,7		7,66
	ferromolybdeeni	1,4		
	kalsiumpii	1,2		
	ferrorikki	0,7		
Kuonanmuodostajat	kalkkikivi	120	kalkki	0,30
	synteettinen kuona	4,3		
	peitepulveri	0,6		
Tulenkestävät materiaalit	magnesiitti	16	tulenkestävät	0,34
	bauksiitti	7	tulenkestävät ja alumiini	0,65
Muut aineet	alumiinisulfaatti	2,1		
	valupulveri	0,7		
	alumiiniromu	0,5	alumiini	
Pelkistys- ja polttoaineet	maakaasu	170	(polttoaine)	0,17
	kivihili	110	(sähköntuotanto)	0,60
	raakaöljy	14		0,08
	polttoöljyt	4,8		0,21

<sup>1</sup> Kuvaa raaka-aineen valmistusta, johon materiaalisyöte liittyy.

<sup>2</sup> Lähde: Mäenpää ym. 2000. Piilovirtakerroimella tarkoitetaan luonnonvarojen hyödyntämisen yhteydessä syntyvää tuotteen ainesmäärään sisältyvämmien luonnonainesten siirtojen tai muuntojen määrää. Kertomalla materiaalisyötteen määrä piilovirtakerroimella saadaan ko. materiaalisyötteen piilovirta. Lisäämällä tämä materiaalisyötteen määrään saadaan kokonaisluonnonvarojen käyttö.

d) Materiaalisyytteitä 1000 kg kylmävalssattua, hehkutettua ja peitattua ruostumatonta teräsnauhaa kohti

	Materiaali	Määrä (kg)	Raaka-aineen valmistus <sup>1</sup>	Piilovirtakerroin <sup>2</sup>
Pääraaka-aineet	ulkopuolinen romu	620		
	kromimalmi	720		2,45
	ferronikkeli	270		
	ferrokromi (matalahiilinen)	6,7		
Muut raaka- ja seosaineet	rautamalmi	47	pelletit, nikkeli ja ferrokromi	1,81
	dolomiitti	0,7	pelletit	0,34
	mangaanimalmi	29	piimangaani	6,00
	hiekkä	60	piimangaani ja nikkeli	0,14
	molybdeenidioksidi	6,5		
	valssit	4,1		
	ferromolybeeni	2,6		
	hiekkapuhallushiekka	1,8		
	ferrotitaani	0,9		
	Kuonanmuodostajat	kalkkikivi	340	kalkki
kalkki		6,7		
fluorisälpä		18		1,75
Tulenkestävät materiaalit	magnesiitti	35		0,34
	bauksiitti	7,8	(sis. nikkelin valmistukseen)	0,65
	piikarbidi	0,6		
Ilmakaasut	happi	69	(sis. nikkelin valmistukseen)	
	argon	43		
Muut aineet	rikkidioksidi	8,0	rikkihappo	
	bentoniitti	4,2	ferrokromi, -nikkeli ja pelletit	0,29
	typpihappo	4,2		
	räjähteet	3,2	ferrokromi ja -nikkeli	
	natriumsulfaatti	1,7		
	natriumkloridi	1,6	natriumhydroksidi	1,29
	rasva	1,3		
	fluorivetyhappo	1,3		
	natriummetasulfiitti	0,7		
	pakkauspaperi	11		
Pelkistys- ja polttoaineet	kivihiili	470		0,60
	polttoöljyt	29		0,21
	raakaöljy	14		0,08
	metallurginen hiili	1,2	(sis. nikkelin valmistukseen)	0,60

<sup>1</sup> Kuva raaka-aineen valmistusta, johon materiaalisyyte liittyy.

<sup>2</sup> Lähde: Mäenpää ym. 2000. Piilovirtakertoimella tarkoitetaan luonnonvarojen hyödyntämisen yhteydessä syntyvää tuotteen ainesmäärään sisältymättömien luonnonainesten siirtojen tai muuntojen määrää. Kertomalla materiaalisyytteen määrä piilovirtakertoimella saadaan ko. materiaalisyytteen piilovirta. Lisäämällä tämä materiaalisyytteen määrään saadaan kokonaisluonnonvarojen käyttö.

e) Materiaalisyötteitä 1000 kg muokattuja kuparituotteita kohti

	Materiaali	Määrä (kg)	Raaka-aineen valmistus <sup>1</sup>	Piilovirtakerroin <sup>2</sup>
Pääraaka-aineet	kuparirikaste	4 100		71,02
Muut raaka- ja seosaineet	ulkopuolinen kupariromu	130		
	kuparisakat	91	(muiden metallien valmistusprosesseista)	
Tulenkestävät	magnesiitti	5,8		0,34
Ilmakaasut	happi	10	metalli ja rikaste	
Lisä- ja apuaineet	bariumsulfaatti	3,0		
	rikkidioksidi	1,4		
	grafiitti	1,4		0,34
	vetyperoksidi	0,8		
	voiteluöljyt	0,6		
	Fennopol	1,5	(vedenkäsittelykemikaali)	
Muut aineet	rauta	83	(jauhinkuulat)	
	metallurginen hiili	31	rauta	0,6
	hiekkä	640	sementti (louhoksen täyttö)	0,14
	kalkkikivi	81	- " -	0,3
	savikivi	3,8	- " -	0,29
	bauksiitti	25,0	rikaste	0,65
	kalsiumsulfaatti	1,4	- " -	
	natriumkloridi	1,2	- " -	1,29
	dolomiitti	1,0	- " -	0,34
	oliviini	0,8	- " -	
	typpi	0,5	- " -	
	rikki	0,3	- " -	0,15
Polttoaineet <sup>3</sup>	kivihiili	1 200		0,6
	polttoöljyt	420	(66 % kuljetuksista)	0,21
	raakaöljy	160		0,08
	puu / hake	54		
	maakaasu	23		0,17
	muut kaasumaiset polttoaineet	66		
	ligniitti	3,5		

<sup>1</sup> Kuvaa raaka-aineen valmistusta, johon materiaalisyöte liittyy.

<sup>2</sup> Lähde: Mäenpää ym. 2000. Piilovirtakertoimella tarkoitetaan luonnonvarojen hyödyntämisen yhteydessä syntyvää tuotteen ainesmäärään sisältyvämmien luonnonainesten siirtojen tai muuntojen määrää. Kertomalla materiaalisyötteen määrä piilovirtakertoimella saadaan ko. materiaalisyötteen piilovirta. Lisäämällä tämä materiaalisyötteen määrään saadaan kokonaisluonnonvarojen käyttö.

<sup>3</sup> Polttoaineiden laskennassa hyvityksiä ei ole otettu huomioon.



f) Materiaalisyötteitä 1000 kg nikkelikatodeja ja -brikettejä kohti

	Materiaali	Määrä (kg)	Raaka-aineen valmistus <sup>1</sup>	Piilovirtakerroin <sup>2</sup>
Pääraaka-aineet	nikkelirikaste	5400		17,65
Muut raaka- ja seosaineet	ulkopuolinen romu	8,2		
	nikkelisakat	36		
Tulenkestävät	magnesiitti	7,4		0,34
Ilmakaasut	happi	4,9	metalli ja rikaste	
Lisä- ja apuaineet	bariumsulfaatti	3,0		
	rikkidioksidi	1,4		
	grafiitti	1,4		0,34
	vetyperoksidi	0,8		
	voiteluöljyt	0,6		
	Fennopol	6,3	(vedenkäsittelykemikaali)	
			(jauhinkuulat)	
Muut aineet	rauta	82		
	metallurginen hiili	31	rauta	0,6
	hiekkä	640	sementti (louhoksen täyttö)	0,14
	kalkkikivi	80	- " -	0,3
	savikivi	3,8	- " -	0,29
	bauksiitti	24	rikaste valmistus	0,65
	kalsiumsulfaatti	1,3	- " -	
	dolomiitti	1,0	- " -	0,34
	oliviini	0,8	- " -	
	typpi	0,5	- " -	
	rikki	0,3	- " -	1,5
	natriumkloridi	7,5	rikaste ja NaOH	1,29
	aktiivihili	8,8		
	tulenkestävät	1,3		
	muurauslaasti	0,5		
Polttoaineet <sup>3</sup>	kivihili	1600		0,6
	raakaöljy	160		0,08
	polttoöljyt	1300	(50 % kuljetuksista)	0,21
	puu / hake	54		
	maakaasu	41		0,17
	muut kaasumaiset polttoaineet	65		
	ligniitti	3,4		

<sup>1</sup> Kuvaa raaka-aineen valmistusta, johon materiaalisyöte liittyy.

<sup>2</sup> Lähde: Mäenpää ym. 2000. Piilovirtakertoimella tarkoitetaan luonnonvarojen hyödyntämisen yhteydessä syntyvää tuotteen ainesmäärään sisältyvätkä luonnonainesten siirtojen tai muuntojen määrää. Kertomalla materiaalisyötteen määrä piilovirtakertoimella saadaan ko. materiaalisyötteen piilovirta. Lisäämällä tämä materiaalisyötteen määrään saadaan kokonaisluonnonvarojen käyttö.

<sup>3</sup> Polttoaineiden laskennassa hyvityksiä ei ole otettu huomioon.

## g) Materiaalisyötteitä 1000 kg sinkkiharkkoja kohti

	Materiaali	Määrä (kg)	Raaka-aineen valmistus <sup>1</sup>	Piilovirtakerroin <sup>2</sup>
Pääraaka-aineet	sinkkirikaste	1900		11,5
Muut raaka- ja seosaineet	muut sinkkipitoiset aineet	7,6		
Lisä- ja apuaineet	kalkkikivi	120	Ca(OH) <sub>2</sub> , Al, NaOH ja sementti	0,3
	bauksiitti	11	alumiini (anodit)	0,65
	alumiiniromu	0,8	- " -	
	natriumvetysulfidi	6,9		
	mangaanidioksidi	6,3		
	strontiumtrioksidi	1,1		
	arsenitrioksidi	0,7		
	ammoniumkloridi	0,6		
Muut aineet	rikki	4,9	rikaste (rikkihappo)	0,15
	kalsiumsulfaatti	0,6	- " -	
	rauta	6,6	(jauhinkuulat)	
	metallurginen hiili	2,5	rauta	0,6
	hiekkä	1,8	sementti	0,14
	savikivi	1,8	- " -	0,29
Polttoaineet <sup>3</sup>	kivihili	300		0,6
	raakaöljy	130		0,08
	polttoöljyt	34		0,21
	maakaasu	21		0,17
	muut kaasumaiset polttoaineet	9,6		
	ligniitti	8		

<sup>1</sup> Kuvaa raaka-aineen valmistusta, johon materiaalisyöte liittyy.

<sup>2</sup> Lähde: Mäenpää ym. 2000. Piilovirtakertoimella tarkoitetaan luonnonvarojen hyödyntämisen yhteydessä syntyvää tuotteen ainesmäärään sisältymättömien luonnonainesten siirtojen tai muuntojen määrää. Kertomalla materiaalisyötteen määrä piilovirtakertoimella saadaan ko. materiaalisyötteen piilovirta. Lisäämällä tämä materiaalisyötteen määrään saadaan kokonaisluonnonvarojen käyttö.

<sup>3</sup> Polttoaineiden laskennassa hyvityksiä ei ole otettu huomioon.

### 4.3 Primäärienergian ominaiskulutukset

Primäärienergialla kuvataan maasta otettujen primäärienergiälähteiden (kuten maakaasu, öljy, kivihili, biomassa ja vesivoima) energiasisältöjen summaa. Primäärienergia ei suoraan kerro tuotteen valmistusprosessien energiatehokkuudesta, koska se ei kuvaa kulutettua sähkömäärää vaan sähköntuotannossa ja tuotteiden valmistuksessa energianlähteinä käytettyjä maasta otettuja primäärienergiälähteitä, jolla sekundääristä energiaa (sähköä) tuotetaan. Metallialosteiden primäärienergian ominaiskulutukset on esitetty taulukossa 9. Lukuarvot käsittävät tässä työssä määritellyn elinkaaren kokonaisuudessaan, joten sivutuotteiden valmistuksen primäärienergiat ovat mukana hyvitettyinä.

Tuotantolaitosten Suomessa käyttämä ostosähkön osuus primäärienergian kulutuksesta on esitetty samassa taulukossa 9. Sen prosentuaalinen osuus tuotteen elinkaaren primäärienergian kulutuksesta on laskettu ilman sivutuotteiden hyvitystä kuparin, nikkelin ja sinkin kohdalla. Näin laskettuna ostosähkön osuus vastaa paremmin todellista tilannetta. Teräslevyjen ja -kelojen ominaiskulutuksen ostosähkön osuus perustuu IISI:n käyttämään Suomen sähköntuotantomalliin ja muiden vastaavasti tämän työn yhteydessä tehtyyn Suomen sähkönhankintamalliin (Petäjä 1999). Näiden erilaisten mallien vaikutusta primäärienergiakulutukseen on käsitelty liitteessä 4.

Saman tuoteryhmän sisällä olevat erot tuotteiden primäärienergian ominaiskulutuksessa kuvaavat tuotteiden jalostusasteen kasvattamisen vaikutusta primäärienergian kulutukseen. Tuloksista ilmenee, että tuotteen jalostusasteen nousu lisää lähes poikkeuksetta primäärienergian ominaiskulutusta.

Nikkelin korkea primäärienergian ominaiskulutus ei johdu pelkästään sulatusprosessista ja jalostuksessa käytettävistä materiaaleista. Nikkelin primäärienergian ominaiskulutukseen vaikuttaa myös malmin alhainen nikkelipitoisuus, joka lisää kaivostoiminnassa tarvittavaa energiamäärää. Terästankojen muita terästuotteita selvästi alhaisemmat primäärienergiankulutukset johtuvat romupohjaisesta tuotannosta. Koska romu on valmista metallia, romupohjaisessa tuotannossa tarvitaan ainoastaan romun sulatukseen energiaa. Myös alumiinintuotanto on Suomessa romupohjaista.

Taulukko 9. Metallijalosteiden primäärienergian ominaiskulutukset vuonna 1997.

METALLI / tuoteryhmä / tuote	Kokonaisprimäärienergia (Gj / tonni tuotetta)		
	koko elinkaari <sup>1</sup>	ostosähkö	ostosähkön osuus (%)
<b>TERÄS</b>			
<i>Teräslevyt ja -kelat</i>			
Kuumavalssattu teräslevy	29,17	0,63	2,16
Kuumavalssattu teräskela	25,59	0,61	2,38
Kylmävalssattu teräsohutlevy	28,61	1,64	5,73
Kuumasinkitty teräsohutlevy	29,37	1,57	5,35
Muovipinnoitettu teräsohutlevy	31,46	2,20	6,99
<i>Teräslangat</i>			
Teräsaihio	23,05	0,00	0
Valssilanka	27,63	1,36	4,92
Vedetty lanka	36,05	7,29	20,22
<i>Terästangot</i>			
Takoaihio	9,70	6,16	63,5
Kuumavalssattu tanko	12,52	7,22	57,67
Kirkas nuorrutettu tanko	19,86	9,81	49,4
<b>RUOSTUMATON TERÄS</b>			
Teräsaihio	25,89	3,57	13,79
Kuumavalssattu nauha	28,48	4,59	16,12
Kuumavalssattu, hehkutettu ja peitattu nauha	31,24	5,59	17,89
Kylmävalssattu, hehkutettu ja peitattu nauha	40,21	9,27	23,05
<b>KUPARI</b>			
Muokattu kuparituote	41,95	36,00	35,83 <sup>2</sup>
<b>NIKKELI</b>			
Nikkelikatodi ja -briketti	112,84	57,60	32,43 <sup>2</sup>
<b>SINKKI</b>			
Sinkkiharkko	29,14	29,30	71,86 <sup>2</sup>
<b>ALUMIINI</b>			
Alumiiniharkko	12,31	2,79	22,66

<sup>1</sup> Primäärienergia sisältää raaka-aineiden valmistuksen ja kuljetuksen tehtaalle, tuotteiden valmistuksen, energiantuotannon ja sivutuotteista saadut hyvitykset.

<sup>2</sup> Sivutuotteiden hyvitykset eivät ole mukana. Hyvitysten kanssa vastaavat luvut ovat 85,82 %, 51,05 % ja noin 100 %.

## 4.4 Päästöt ilmaan ja veteen

Metallien jalostusteollisuuden tuotteiden ominaispäästöjä on koottu taulukkoon 10. Tässä yhteydessä on esitetty metallipäästöt ja ympäristövaikutuksiltaan merkittävimmäksi todetut ns. konventionaaliset päästöt (ks. luku 5). Todettakoon, että liitteessä 5 ja yrityksille toimitetuissa inventaarioraporteissa on esitetty enemmän päästömuuttujia kuin taulukossa 10.

Ilmaan menevistä päästöistä hiilidioksidi, typen oksidit ja rikkidioksidi ovat enimmäkseen polttoaineperäisiä päästöjä, joiden inventaarioanalyysin tuloksiin vaikuttavat merkittäväällä tavalla käytetty sähköntuotantomalli ja raaka-aineiden kuljetustavat ja -matkat. Hiilidioksidin päästöarvioissa on otettu huomioon kaikki fossiilisista polttoaineista peräisin olevat päästöt, joten masuuniprosesseissa raudan ja ferrokromin valmistuksessa pelkistimenä käytetty hiili on mukana hiilidioksidipäästölaskelmissa. Orgaanisista ilmaan menevistä päästöistä on taulukkoon otettu mukaan hiilivedyt yhtenä ryhmänä. Ryhmä sisältää haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) sekä muita määrittelemättömiä hiilivetyjä. Taulukossa 10 joiltakin päästömuuttujilta puuttuu arvo joko sen takia, että päästö ei ole tuotannolle ominainen tai päästöön liittyviä mittaustuloksia ei ole saatavilla.

Teräsohutlevyjen suuret elohopea- ja sinkkipäästöt ilmaan ja veteen johtuvat inventaariossa käytetystä IISI:n sinkintuotannon päästökertoimista, jotka ovat merkittävästi suuremmat kuin tämän työn yhteydessä tehdyn sinkin inventaariosta vastaavat kertoimet. Jos käytettäisiin Suomen sinkkituotannon ominaispäästöjä, elohopeapäästöt pienenisivät esimerkiksi kuumasinkityn teräsohutlevyn kohdalla 11,94 mg → 3,00 mg / tonni tuotetta ja muovipinnoitetun teräsohutlevyn kohdalla vastaavasti 12,31 mg → 3,60 mg / tonni tuotetta.

Sulfidimalmeissa sinkkiä, kadmiumia ja elohopeaa esiintyy yhdessä arvo-metallin kanssa vaihtelevina pitoisuuksina. Näin ollen sinkkipäästöt ovat kuparin, nikkelin ja tietysti myös sinkin inventaarioissa rikasteesta lähtöisin. Teräksen ja ruostumattoman teräksen valmistuksen sinkkipäästöt johtuvat sinkkipitoisesta romusta. Teräsohutlevytuotteiden sinkityksessä käytetyn sinkin valmistuksen sinkkipäästöt näkyvät kuumasinkityn ja muovipinnoitetun teräsohutlevyjen inventaarioissa.

Elohopeaa on erityisesti sinkkimalmissa, mutta sinkin valmistuksen yhteydessä se otetaan talteen ja käytetään edelleen sivutuotteena. Muut kuin raaka-ainelähtöiset elohopeapäästöt ovat peräisin pääosin energiantuotannosta (kivihiilestä, turpeesta). Kadmiumpäästöjä syntyy varsinkin kupari- ja nikkeli- tuotannossa. Arsenia on vaihtelevia määriä kaikissa sulfidimalmeissa ja sitä esiintyy siten raaka-ainelähtöisenä päästönä kuparin, sinkin ja nikkelin tuotannossa.

Kromipäästö on tyypillinen ruostumattoman teräksen valmistukselle, mutta sitä syntyy myös jonkin verran terästankojen valmistuksen yhteydessä. Kupari- ja nikkeli- päästöistä suurin osa aiheutuu luonnollisesti kupari- ja nikkeli- tuotannosta, mutta nikkeliä vapautuu myös ruostumattoman teräksen valmistuksen yhteydessä ja inventaariosta nikkeli- päästö- määrää nostaa vielä raaka-aineena käytetyn nikkelin valmistuksen nikkeli- päästö. Vedettyjen lankojen tuotannossa kupari- päästö- jä ei aiheuta pelkästään lankojen kuparointiprosessi, vaan myös käytetyn kuparin valmistus.

Taulukko 10. Metallijalosteiden ominaispäästöjä ilmaan ja veteen. Lukuarvot kattavat tuotteen koko elinkaaren, joka koostuu raaka-aineiden valmistuksista ja kuljetuksista, tuotteen valmistuksesta, energiantuotannosta ja hyvitetystä sivutuotteista. Taulukossa esiintyvät negatiiviset luvut ovat syntyneet hyvitysmenettelyjen seurauksena. Kyseinen päästö on ollut kaikki vaiheet yhteenlaskettunakin pienempi kuin hyvitetävän aineen päästö, josta on seurauksena negatiivinen luku.

TERÄSLEVY JA -KELA		Päästö / tonni tuotetta				
		Kuumavalssattu teräslevy	Kuumavalssattu teräskela	Kylmävalssattu teräsohutlevy	Kuumasinkitty teräsohutlevy	Muovipinnoitettu teräsohutlevy
<i>Päästöt ilmaan</i>						
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	kg	2 359,55	2 070,12	2 261,42	2 273,60	2 412,04
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	kg	1,98	1,61	2,03	2,19	2,31
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	kg	3,17	2,88	3,26	3,90	4,05
HC, hiilivedyt	kg	15,33	13,49	14,24	14,29	14,75
As, arseeni	mg	13,05	13,90	22,07	84,65	88,00
Cd, cadmium	mg	26,90	24,34	26,59	42,19	42,64
Cr, kromi	mg	98,00	89,63	101,04	97,99	102,11
Cu, kupari	mg	150,46	135,52	145,91	623,47	620,09
Hg, elohopea	mg	2,10	2,20	3,38	11,81 <sup>1</sup>	12,31 <sup>1</sup>
Ni, nikkeli	mg	122,35	118,38	154,42	149,27	166,14
Pb, lyijy	mg	2 345,68	2 087,13	2 162,64	3 369,65	3 346,52
V, vanadiini	mg	350,33	345,72	471,80	455,65	516,24
Zn, sinkki	mg	240,52	220,38	249,65	2 471,50	2 455,12
<i>Päästöt veteen</i>						
As, arseeni	mg	1,89	1,84	2,42	130,72	129,43
Cd, cadmium	mg	0,35	0,34	0,47	7,64	7,61
Cr, kromi	mg	1,97	2,08	3,25	49,09	83,17
Cu, kupari	mg	5,13	4,68	5,37	112,45	111,38
Hg, elohopea	mg	0,19	0,17	0,17	8,67	8,57
Ni, nikkeli	mg	8,41	8,11	10,61	19,87	20,92
Pb, lyijy	mg	29,82	32,04	51,61	570,60	574,16
Zn, sinkki	mg	1 363,31	1 268,29	1 299,64	3 751,69	3 776,89

<sup>1</sup> Kuumasinkityn ja muovipinnoitetun teräsohutlevyjen elohopeapäästöt ilmaan ja veteen ovat korkeita, koska työssä on käytetty kansainvälisiä sinkin valmistuksen tietoja (IISI). Jos tulokset lasketaan Outokumpu Zinc Oy:n päästökertoimilla, vastaavat lukuarvot ovat päästöinä ilmaan 3,00 mg ja 3,60 mg.

(jatkuu seuraavalla sivulla)

TERÄSLANKA		Teräsaihio	Valssilanka	Vedetty lanka
<i>Päästöt ilmaan</i>				
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	kg	1 993,51	2 264,70	2 647,97
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	kg	1,67	2,26	2,88
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	kg	1,60	2,09	2,67
HC, hiilivedyt	kg	12,19	13,05	15,20
As, arseeni	mg	1,34	3,12	22,00
Cd, cadmium	mg	1,70	2,07	6,11
Cr, kromi	mg	8,29	11,10	22,16
Cu, kupari	mg	17,78	18,65	87,66
Hg, elohopea	mg	0,80	1,50	4,38
Ni, nikkeli	mg	11,58	14,62	27,24
Pb, lyijy	mg	57,79	62,47	119,71
V, vanadiini	mg	39,71	45,76	66,57
Zn, sinkki	mg	602,06	632,28	725,52
<i>Päästöt veteen</i>				
As, arseeni	mg	2,14	2,25	2,41
Cd, cadmium	mg	0,26	0,27	0,66
Cr, kromi	mg	-4,95	-5,19	-5,57
Cu, kupari	mg	29,30	30,73	2 348,63
Hg, elohopea	mg	0,38	0,40	0,50
Ni, nikkeli	mg	8,10	8,49	19,44
Pb, lyijy	mg	-17,81	-18,68	-2,02
Zn, sinkki	mg	17,35	18,19	87,12
TERÄSTANKO		Takoihio	Kuumavalssattu tanko	Kirkas nuorru-tettu tanko
<i>Päästöt ilmaan</i>				
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	kg	452,50	599,34	992,68
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	kg	1,02	1,28	2,26
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	kg	0,61	0,74	1,07
HC, hiilivedyt	kg	2,38	3,18	5,29
As, arseeni	mg	19,33	39,76	48,71
Cd, cadmium	mg	3,12	3,49	4,36
Cr, kromi	mg	1 594,86	2 064,90	3 379,82
Cu, kupari	mg	262,20	472,67	780,98
Hg, elohopea	mg	62,99	68,04	80,21
Ni, nikkeli	mg	320,74	513,00	835,74
Pb, lyijy	mg	216,80	244,54	421,714
V, vanadiini	mg	93,61	124,33	181,73
Zn, sinkki	mg	750,16	859,35	2 390,65
<i>Päästöt veteen</i>				
As, arseeni	mg	0,01	0,01	0,02
Cd, cadmium	mg	1,21E-05	1,31E-05	1,53E-05
Cr, kromi	mg	47,88	53,40	62,43
Cu, kupari	mg	0,58	0,62	0,73
Hg, elohopea	mg	1,47E-03	1,58E-03	1,84E-03
Ni, nikkeli	mg	7,04	7,60	8,89
Pb, lyijy	mg	-0,43	-0,46	-0,54
Zn, sinkki	mg	85,02	91,46	106,94

(jatkuu seuraavalla sivulla)

RUOSTUMATON TERÄS		Teräsaihio nauha	Kuumavalssattu hehk. ja peitattu	Kuumavalss. hehk. ja peitattu nauha	Kylmävalssattu nauha
<i>Päästöt ilmaan</i>					
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	kg	1 334,13	1 521,83	1 725,57	2 240,15
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	kg	5,12	5,56	5,93	7,46
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	kg	3,83	3,96	4,18	5,01
HC, hiilivedyt	kg	7,07	7,34	7,75	9,38
As, arseeni	mg	154,33	157,73	163,97	190,17
Cd, cadmium	mg	47,91	48,79	50,57	58,14
Cr, kromi	mg	23 649,72	25 530,73	27 248,66	31 003,30
Cu, kupari	mg	105,58	107,08	110,60	125,82
Hg, elohopea	mg	7,03	7,59	8,25	10,76
Ni, nikkeli	mg	6 880,89	7 880,27	8 709,69	9 913,44
Pb, lyijy	mg	6 015,83	6 102,57	6 304,12	7 175,57
V, vanadiini	mg	59,06	62,80	67,41	85,38
Zn, sinkki	mg	24 423,89	24 778,27	25 592,44	29 116,07
<i>Päästöt veteen</i>					
As, arseeni	mg	0,23	0,23	0,24	0,27
Cd, cadmium	mg	1,07	1,08	1,12	1,27
Cr, kromi	mg	1 170,00	1 202,21	2 570,91	6 156,14
Cu, kupari	mg	444,10	450,41	465,20	529,21
Hg, elohopea	mg	0,03	0,03	0,03	0,04
Ni, nikkeli	mg	5 998,16	6 112,22	7 130,05	10 112,71
Pb, lyijy	mg	310,44	314,85	325,19	369,94
Zn, sinkki	mg	2 562,25	2 598,63	2 683,96	3 053,28
MUUT METALLIT		Muokatut kupari-tuotteet	Nikkelikatodi ja -briketti	Sinkkiharkko	Alumiiniharkko
<i>Päästöt ilmaan</i>					
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	kg	5 466,31	9 021,48	1 915,91	412,84
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	kg	48,59	78,82	7,99	1,10
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	kg	57,71	74,12	9,31	2,26
HC, hiilivedyt	kg	-9,80	-3,96	2,13	0,63
As, arseeni	mg	13 740,00	4 279,19	7 475,01	105,70
Cd, cadmium	mg	3 222,23	1 398,51	590,49	10,65
Cr, kromi	mg	79,18	107,27	59,46	4,89
Cu, kupari	mg	85 905,40	3 252,81	1 026,96	
Hg, elohopea	mg	25,63	29,02	76,51	1,32
Ni, nikkeli	mg	1 419,10	51 755,50	102,33	5,02
Pb, lyijy	mg	12 693,70	5 167,54	12 144,00	358,01
V, vanadiini	mg	108,49	182,90	244,25	8,33
Zn, sinkki	mg	31 865,99	1 221,22	196 314,00	1 559,76
<i>Päästöt veteen</i>					
As, arseeni	mg	2 846,00	688,00	200,00	
Cd, cadmium	mg	376,39	32,76	114,25	
Cr, kromi	mg	-0,16	-2,23	59,46	
Cu, kupari	mg	85 939,00	13 444,00	2 538,73	
Hg, elohopea	mg	62,70	0,02	17,13	
Ni, nikkeli	mg	17 327,00	174 397,00	102,40	
Pb, lyijy	mg	11 174,40	9 800,80	3 080,89	
Zn, sinkki	mg	21 618,00	6 429,00	22 935,24	

## 4.5 Jätteet

Metallijalosteiden elinkaaren aikana syntyvät jätteet on luokiteltu viiteen jäteluokkaan (ks. taulukko 7). Jäteluokat ovat mineraalijäte, kuona ja tuhka, ongelmajäte, teollisuuden sekajäte, polttoon menevä jäte ja määrittelemätön jäte. Mineraalijäte koostuu kaivostoiminnassa syntyvästä sivukivestä mukaan lukien raaka-aineiden valmistuksessa syntyvät sivukivimäärät, mikäli niitä on ilmoitettu. Hyötykäyttöön meneviä kuonia ei ole käsitelty jätteinä eikä niitä ole siis liitetty taulukossa esiintyviin kuonamääriin.

Jätteiden luokittelu on lähtötietojen kirjavuuden vuoksi tehty vain karkealla tasolla. Sama jätejake voi esiintyä eri metallin kohdalla eri jäteluokassa. Tulosten luotettavuuden lisäämiseksi jäteluokittelu vaatii jatkossa lisäselvitystä. Näin ollen tulokset eivät ole tarkkoja, vain suuntaa-antavia. Luokittelukaan ei ole muotoutunut metallien jalostusteollisuuden kannalta parhaaksi mahdolliseksi.

Kaivostoiminnan sivukivimäärä on riippuvainen malmin arvometallipitoisuudesta. Rautamalmit ovat massiivisia ja melko puhtaita rautaoksideja, jolloin sivukivimäärät ovat suhteellisen pieniä. Sulfidimalmien (kupari, nikkeli, sinkki) arvometallipitoisuudet ovat pieniä (enintään muutaman prosenttia), josta syystä kaivoksilla joudutaan liikuttelemaan suuria sivukivimääriä. Metallipitoisuuden lisäksi louhostyyppi vaikuttaa sivukivimääriin. Avolouhoksella joudutaan suuria kivimääriä poistamaan louhittavan metalliesiintymän yläpuolelta, kun taas maanalaisilla louhoksilla louhitaan vain arvometallia. Esimerkkinä louhostyyppin vaikutuksesta mineraalijättemäärään voidaan mainita terästankojen inventaariossa raaka-aineena käytetyn kromiseoksen valmistuksen kautta tuleva vaikutus. Terästankojen tuotantohan on romupohjainen eikä mineraalijätteitä pitäisi kovin suuria määriä esiintyä inventaariossa. Tehtaalla käytetty ferrokromi on louhittu avolouhoksella, jossa sivukivimäärät ovat olleet poikkeuksellisen suuria, mistä syystä sivukivimäärät näkyvät terästankojen inventaariotuloksissa yllättävän suurena mineraalijättemääränä.

Kuona ja tuhka syntyvät pääasiallisesti metallin valmistuksessa. Hyötykäyttöön meneviä jätteitä ei ole esitetty erikseen, mutta niitä on käsitelty kohdassa 6.1.



Taulukko 11. Metallijalosteiden elinkaaren aikana syntyvät jätemäärät. Tuotteen elinkaari koostuu raaka-aineiden valmistuksista ja kuljetuksista, tuotteen valmistuksesta, energiantuotannosta ja hyvitetystä sivutuotteista.

Tuote	Mineraali- jäte	Kuona <sup>1</sup> ja tuhka	Ongelma- jäte	Teoll. sekajäte	Poltto- jäte	Määrittele- mätön jäte
<i>Teräslevyt ja -kelat</i>						
Kuumavalssattu teräslevy	332,1	211,8	0,0070	2,0	0,002	47,9
Kuumavalssattu teräskela	298,2	179,7	0,0071	1,9	0,002	43,6
Kylmävalssattu teräsohutlevy	318,2	184,5	0,48	2,4	0,004	48,7
Kuumasinkityt teräsohutlevyt	309,1	179,3	0,46	2,8	0,004	76,1
Muovipinnoitetut teräsohutlevyt	313,1	177,8	0,46	5,1	0,004	77,6
<i>Teräslangat</i>						
Teräsaihio	302,8	24,9	0,035	32,4	33,3	73,9
Valssilanka	317,6	46,4	0,15	34,3	34,9	78,0
Vedetty lanka	431,3	52,2	1,90	89,0	37,8	86,1
<i>Terästangot</i>						
Teräsaihio	477,0	29,7	0,0004	0,1	0,002	7,6
Kuumavalssattu tanko	513,2	57,6	0,0005	0,3	0,002	8,5
Kirkas nuorrotettu tanko	600,0	83,0	0,06	0,6	0,003	10,7
<i>Ruostumaton teräs</i>						
Teräsaihio	14 582,8	645,8	0,15	4,9	0,06	31,3
Kuumavalssattu nauha	14 789,9	658,3	0,22	6,9	0,06	32,2
Kuumavalssattu, hehkutettu ja peitattu nauha	15 275,5	698,8	3,50	7,1	0,06	33,6
Kylmävalssattu, hehkutettu ja peitattu nauha	17 377,6	823,6	4,20	11,1	0,07	40,6
<i>Kupari</i>						
Muokatut kuparituotteet	87 899,4	2 832,7	6,70	66,3	0,49	24,6
<i>Nikkeli</i>						
Nikkelikatodit ja -brikitit	86 752,5	3 035,0	3,00	76,2	0,75	42,2
<i>Sinkki</i>						
Sinkkiharkot	5 353,6	5,6	0,07	729,3	48,4	13,4
<i>Alumiini</i>						
Alumiiniharkot			0,007	746,6		1,1

<sup>1</sup> Sisältää vain kuonat, jotka eivät mene hyötykäyttöön.

## 4.6 Tulosten vertailua muiden tutkimusten tuloksiin

### 4.6.1 Lähtökohdat vertailulle

Eri yhteyksissä tehtyjen metallijalosteiden inventaarioanalyysin tulokset ovat lähtökohdiltaan samanlaiset, jos niissä on käytetty samanlaisia tuotejärjestelmärajoituksia, allokointiperiaatteita, sivutuotteiden hyvitystapoja ja kuormitustekijöiden arviointimenettelyjä (vrt. liite 4). Käytännössä elinkaari-inventaarion laadintaan liittyy aina valintoja, minkä takia eri yhteyksissä tehtyjen samojenkin tuotteiden elinkaari-inventaarioiden tulokset eroavat jonkin verran lähtökohdiltaan. Erot lopputuotteen komponenttien inventaariotiedoissa saattaa johtaa siihen, että lopputuotteen inventaariotiedot eivät kuvaa riittävän tarkasti koko elinkaaren aikaisia kuormitustekijöitä. Keskeinen kysymys elinkaariarvioinnissa onkin tulosten tarkkuustaso, jonka arviointi ja todentaminen on vaikeaa.

Tuotteiden inventaariotulokset ovat keskenään vertailukelpoisia ainoastaan silloin, kun tuotteiden inventaariotiedot ovat lähtökohdiltaan samanlaiset ja tuotteilla on samat käyttötarkoitukset ja toiminnot. Viimeksi mainittu ehto merkitsee sitä, että eri metallijalosteiden inventaariotuloksia ei voida vertailla keskenään ympäristömyötäisyyden näkökulmasta. Tässä yhteydessä pyritäänkin vertailemaan ainoastaan samojen metallijalosteiden eri yhteyksissä saatuja inventaariotuloksia keskenään.

Useimmista tämän tutkimuksen terästuotteista on tehty kansainvälisen rauta- ja teräsjärjestön (IISI) teettämät elinkaari-inventaariot, jotka ovat IISI:n luvalla erikseen saatavilla jäsenyritysten kautta. Inventaariotulokset eivät ole julkisia. Vastaavasti kansainvälinen kuparijärjestö (ICA) ja sinkkijärjestö (IZA) ovat teettäneet kuparin ja sinkin inventaarioselvitykset. Lisäksi kuparituotteiden primäärienergian ominaiskulutuksista on julkaistu saksalainen tutkimus (Kupfer-Institut 1995). Näiden tutkimusten tuloksia on vertailtu tämän työn tutkimustuloksiin. Sen sijaan ruostumattoman teräksen, nikkelin ja alumiinin tuotteiden osalta ei ole pystytty tekemään vertailuja, koska niille ei ole löytynyt vastaavanlaisia tutkimustuloksia.

Luvuissa 4.2–4.5 esitetyt inventaariotulokset on laskettu teräslevyjä ja -keloja lukuun ottamatta SYKEN sähkötuotantomallilla, joka johtaa suomalaisten metallijalosteiden aiheuttaman ympäristökuormituksen suhteen oikeampaan lopputulokseen kuin laskettaessa tulokset IISI:n Suomen sähköntuotantomallilla (vrt. liite 4). Eri sähköntuotantomalleilla lasketut tulokset eroavat selvästi toisistaan niiden tuotteiden kohdalla, joissa ostosähköllä on merkittävä osuus. SYKEN Suomen sähköntuotantomallissa käytetään Suomen voimalaitosten teknologian tason mukaisia todellisia päästöjä. Hiilidioksidi-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt ovat suurempia IISI:n mallissa kuin SYKEN mallissa. IISI:n mallissa hiilidioksidipäästö on tuotettua yhtä sähköyksikköä kohti 1,72 kertaa suurempi kuin Suomen mallissa ja typenoksidit ja rikkidioksidi vastaavasti 1,96 ja 5,18 (ks. liite 4).

Primäärienergian ominaiskulutus on yleisesti elinkaariarvioinneissa käytetty tunnusluku, jolla kuvataan maasta otettujen primäärienergiälähteiden energiamäärää. Primäärienergian ominaiskulutus ei suoranaisesti kerro toiminnan tarvitsemasta energiamäärästä, koska lopputulokseen vaikuttaa se, millä energialähddejakaumalla tietty (sekundäärinen) energiatarve on tyydytetty.

Eri maissa valmistettujen tuotteiden inventaariolaskennassa on käytetty maa-kohtaisia sähköntuotantojakaumia ja siksi sähköntuotantomallilla on joissakin tapauksissa huomattavakin vaikutus primäärienergian lukuarvoihin, varsinkin niiden tuotteiden inventaarioissa, joissa ostosähkön osuus on suuri.

Esimerkkinä sähköntuotantojakauman vaikutuksesta tuotteen kokonaisprimäärienergian kulutukseen voidaan tarkastella kuumavalsattua terästankoa. Jos lähtökohdaksi otetaan Suomessa valmistettu terästanko primäärienergiankulutus

on 12,52 GJ/tonni. Kun ainoastaan tehtaan ostosähkö muutetaan tuotettavaksi Englannin sähkötuotantoprofiililla, niin primäärienergian kulutus on 15,26 GJ/tonni tuotetta ja vastaavasti Norjan sähkötuotantoprofiililla 5,69 GJ/tonni tuotetta. Joten eri maissa valmistettavien samankaltaisten tuotteiden primäärienergiakulutukset voivat erota huomattavastikin toisistaan, vaikka tuotantoprosessit olisivat tehokkuudeltaan samantasoiset. Sähkötuotantomallin perusteita ja vaikutuksia metallijalosteiden primäärienergian kulutuksiin tarkastellaan yksityiskohtaisemmin liitteessä 4.

Teräksen valmistuksen ympäristövaikutuksia vertailtaessa on otettava huomioon eri teräslajien ja jalosteiden vaatimus- ja laatuero. Esimerkiksi verrattuna vähemmän vaativien, halpojen terästen usein äärimmilleen yksinkertaistettuun ja suoraviivaistettuun massatuotantoon ei vaativien ja korkealaatuisten jalosteiden tekoon riitä yksin korkeampi tekniikan ja tietämyksen taso, vaan usein tarvitaan lisäkäsitteilyä tai lisävaiheita, enemmän seosaineita jne. Näin parempien tuotteiden valmistaminen saattaa (per tonni) olla ympäristöä enemmän kuormittavaa, esimerkiksi enemmän energiaa vaativaa. Tällaiset vaikutukset kylläkin kompensoituvat tuotteen parempien ominaisuuksien kautta, muun muassa teräksen suuremman lujuuden (eli pienemmän materiaalarpeen), pidentyneen käyttöiän ja muiden tekijöiden ansiosta.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että tässä työssä esitetyt terästuotteiden inventaariotiedot ovat pitkälle vertailukelpoisia IISI:n vastaavien terästuotteiden inventaariotulosten tunnuslukujen kanssa. Saman tuotenimikkeen yhteydessä esiintyy kuitenkin jonkin verran laadullisia eroja, joilla on vaikutusta myös tuotteiden aiheuttamaan ympäristökuormitukseen. Lisäksi terästuotteiden kansainvälisessä aineistossa mukana olevien laitosten vähäisyys ja keskittyminen kehittyneisiin maihin ei mahdollista sitä, että vertailu antaisi vastauksen siihen, mikä on suomalaisten yritysten tuotteiden ympäristökuormitustekijöiden taso kansainväliseen tasoon nähden. Eri tutkimusten kuparin ja sinkin inventaariotuloksien ei voida sanoa olevan niinkään hyvin vertailukelpoisia kuin terästuotteiden, koska niiden laadinnassa on käytetty erilaisia laskentamenettelyjä ja rajauksia eikä näiden erojen merkitystä ole pystytty kunnolla tämän työn yhteydessä arvioimaan.

#### **4.6.2 Primäärienergia ja hiilidioksidin ominaispäästöt**

Tässä työssä esitettyjen kuumavalsattujen teräslevyjen ja -kelojen inventaariotulokset ovat lähtökohdiltaan samanlaiset kansainvälisen rauta- ja teräsjärjestön teettämän inventaarioselvityksen (IISI / Ecobilan 1999) tulosten kanssa, joten näiden tutkimusten inventaariotulokset ovat keskenään vertailukelpoiset. Tuotenimikkeen alla esiintyy jonkin verran laadullista vaihtelua, mutta niiden aiheuttamaa vaikutusta tuloksiin ei ole pystytty arvioimaan. Kuumavalsattujen teräslevyjen osalta IISI:n tutkimukseen on osallistunut neljä eurooppalaista yritystä. Teräskeloiden osalta vastaava yritysten lukumäärä on kaksitoista. Eri yritysten inventaariotulokset on saatu saman tiedonkeruukäytännön ja laskentaohjelmiston avulla. Yrityksen tuloksista on laskettu syönteille ja tuotoksille Euroopan keskiarvot, minimi- ja maksimit. Aineistossa on mukana myös suomalaisen yrityksen tiedot, jotka on päivitettyä esitetty tässä työssä.

Teräslevyjen ja -kelojen inventaariotulosten samanlaisesta perustasta huolimatta laskennassa on jouduttu tekemään valintoja, jotka saattavat tehdä vääryyttä jonkin yrityksen tuotantoratkaisuille, koska inventaariossa käytetyllä laskentamallilla ei pystytä kuvaamaan ko. ratkaisuihin liittyviä kaikkia ympäristönäkökohtia. Esimerkiksi jäteöljyn käyttöä tai muilta tehtailta jätteeksi jäävän rautahilseen käyttöä sintraamossa ei hyvitetä mitenkään laskentamallissa. Käytännössä elinkaaritöissä ei päästä koskaan täydellisyyteen, sillä kustannussyistä inventaa-

riotietojen laadinnassa joudutaan aina tekemään rajauksia ja kompromisseja. Pienet erot lähtökohdiltaan samanlaisissakin inventaarioanalyysissä on tosiasia. Tämä merkitsee sitä, ettei kahden samanlaisenkaan tutkimuksen inventaariotuloksia tule vertailla koskaan "desimaalin tarkkuudella" ja pienet erot tuloksissa eivät merkitse tuotantotoiminnan paremmuutta tai heikkoutta.

Tulokset osoittavat, että tämän tutkimuksen teräskelojen ja -levyjen primäärienergian ominaiskulutukset ovat IISI:n tutkimuksen keskiarvotasoa. Käytettäessä inventaariolaskennassa SYKE:n sähköntuotantomallia tulos pienenee vain 0,3 prosenttia. Myös hiilidioksidin ominaispäästöt ovat IISI:n tutkimuksen keskiarvotasoa ja SYKE:n sähköntuotantomallilla laskettaessa vähennys päästöarvoon on noin 3 prosenttia.

Teräskeloista valmistettavien ohutlevytuotteiden inventaariotiedot, jotka on esitetty tässä työssä, on arvioitu IISI:n tiedonkeruukäytännön ja laskentaohjelman avulla. Tämän tutkimuksen tulokset ovat hieman parempia kuin IISI:n tutkimuksen keskiarvot. SYKE:n sähköntuotantomallilla laskettaessa (koska ostosähkön osuus on suurempi kuin levyjen ja kelojen valmistuksessa) tulokset pienenevät noin yhdellä prosentilla. Hiilidioksidipäästöt ovat vastaavasti keskiarvotasoa ja SYKE:n sähköntuotantomallin vähentävä vaikutus ominaispäästöön on kolmen prosentin luokkaa.

Teräsvalssilangan inventaarioaineisto perustuu samanlaisiin tuotejärjestelmärajauksiin kuin IISI:n tutkimuksissa on käytetty ja kohdassa 3.2 esitettyyn inventaarioanalyysin laskentamenettelyyn, joka vastaa pitkälle IISI:n menettelyä. Laskentamenettelyssä on käytetty jonkin verran erilaisia sivutuotteiden hyvitystapoja, koska IISI:n käyttämä menettely ei ollut tiedossa kuin aivan tämän työn loppuvaiheessa. Lisäksi raaka-aineiden lähtötiedot ja kuljetuksissa käytetyt päästökerroimet ovat erilaisia. Näiden erojen merkitystä ei ole pystytty arvioimaan tarkasti tässä työssä, mutta on oletettavaa, ettei niillä ole lopputuloksen kannalta suurta merkitystä. Tämän tutkimuksen ja IISI:n valssilangan inventaariotuloksia voidaan pitää varsin hyvin vertailukelpoisina. Todettakoon, että Suomessa valmistetun valssilangan elinkaari-inventaarion lähtötiedot ovat olleet mukana IISI:n tutkimuksen inventaariotietojen tunnuslukujen laskennassa. Valssilangan, teräslevyjen ja -kelojen IISI:n tunnusluvut on laskettu malmipohjaisten tuotantolaitosten inventaariotuloksista.

Kuumavalssatun terästangon inventaario on tehty samoilla periaatteilla kuin valssilangan inventaario. IISI:n inventaariotietojen tunnusluvut on laskettu yhdentoista romupohjaisen tuotantolaitoksen inventaariotiedoista. IISI:n lähtöaineistossa tämä tuoteryhmä sisältää laadullisesti hyvin erilaisia tuotteita.

Teräsvalssilangan ja kuumavalssatun terästangon inventaariotulokset vastaavat melko tarkkaan primäärienergian ja hiilidioksidiominaispäästöjen osalta IISI:n tutkimuksen keskiarvoja.

Tämän tutkimuksen anodikuparin, muokattujen kuparituotteiden ja sinkkiharkon inventaarioanalyysit on laadittu samojen periaatteiden mukaan kuin valssilangan ja kuumavalssattujen terästankojen inventaarioanalyysit. Sen sijaan Bousteadin (1998a, 1998b) anodikuparin ja sinkkiharkkojen/seosten inventaariot perustuvat erilaisiin tietojen käsittelytapoihin kuin tämän työn yhteydessä tehdyt inventaarioanalyysit. Bousteadin tulokset on laskettu ns. elemental flow -menetelmällä, jossa eri alkuaineet käsitellään rinnakkaisvirtoina ja niille allokoidaan painomäärien suhteessa ko. syötteen ja tuotokset. Tässä yhteydessä ei ole pystytty tekemään vertailua tämän allokointimenettelytavan ja IISI:n töiden yhteydessä käytetyn ns. laajennetun allokointimenettelyn eroista. Todettakoon, että Bousteadin töiden keskiarvotulokset on laskettu kansainvälisten keskusjärjestön piirissä olevien yritysten inventaariotiedoista. Tämä merkitsee sitä, että suomalaisten yritysten tiedot ovat olleet kansainvälisten inventaariotöiden tunnuslukujen laskennassa mukana.

Tässä työssä saatu anodikuparin pieni primäärienergian ominaiskulutus Boustedin (1998a) selvitykseen verrattuna johtuu Boustedin (1998a) ja tämän työn välisistä inventaarioiden laadintaan liittyvistä eroista energialähteiden käsittelyssä. Bousteadin työn primäärienergian ominaiskulutukset eivät ole siis vertailukelpoisia tämän tutkimuksen kanssa.

Bousteadin inventaarioselvityksissä on käytetty eri maiden sähköntuotantomallin energialähteiden määrittelyyn samaa periaatetta kuin IISI:n mallissa. Sen sijaan näiden eri energianlähteiden päästökertoimien määrittelyperusteet eivät ole tiedossa. Kupari- ja sinkkituotteiden inventaariotulosten luonnehdintaa varten tämän työn yhteydessä laaditut kuparin ja sinkin inventaariotulokset on laskettu ostosähkön osalta myös IISI:n mallilla, joka vastaa lähtökohdiltaan paremmin Bousteadin töissä käytettyä sähköntuotantomallia.

Todettakoon, että tämän työn anodikuparin ja sinkkiharkon päästöt ovat karkealla tavalla vertailtavissa Bousteadin työn päästöjen kanssa. Sivutuotteiden allokointi- ja hyvitysmenettelyjen erot sekä Bousteadin sähköntuotantomallin päästökertoimien tuntemattomuus merkitsevät kuitenkin sitä, että tarkastelua voidaan tehdä vain suuruusluokkatasolla.

Anodikuparin CO<sub>2</sub>-päästö / tonni tuotetta Bousteadin tutkimuksessa on 3800 kg, tämän tutkimuksen tulos on 3804 kg ja IISI:n sähköntuotantomallilla laskettuna 4128 kg. Sinkkiharkon tai seosten vastaavat lukuarvot ovat 2500 kg, 1916 kg ja 2527 kg / tuotettu tonni.

Saksalaisessa tutkimuksessa (Kupfer-Institut 1995) esitetyt primäärienergian kulutukset yksittäisille kuparituotteille (valssatut kuparilevyt 43,34 GJ, kupari-putket 54,82 GJ ja kuparilangat 45,04 GJ / tonni tuotetta) vastaavat paremmin tämän työn yhteydessä saatuja tuloksia. Tutkimuksessa mukana ollut saksalainen yritys valmistaa kuparituotteet Outokummun liekkisulatusmenetelmällä. Tutkimuksen tulokset eivät ole kuitenkaan sellaisinaan vertailukelpoisia keskenään lopputuotteen ja inventaarion laadinnan erilaisuuksien vuoksi. Tässä työssä mainittu muokattu kuparituote edustaa keskimääräistä kuparituotetta, joka sisältää levyt, putket ja langat. Muokatun kuparituotteen primäärienergiankulutus on 41,95 MJ / tonni tuotetta ja IISI:n sähköntuotantomallilla vähän lähempänä saksalais-tutkimuksen keskiarvoa 47,04 MJ / tonni tuotetta.

#### **4.6.3 Typenoksidit, rikkidioksidi ja metallit**

Suomessa valmistettujen teräskelojen ja -levyjen sekä sinkkiharkon typen oksidien ominaispäästökertoimet ovat selvästi alemmat kuin vastaavien IISI:n ja Bousteadin tutkimusten typen oksidien ominaispäästökertoimet. Terästuotteiden NO<sub>x</sub>-ominaispäästökerroin malmipohjaisessa tuotannossa vaihtelee 2–3 kilon välillä per tuotettu tonni kansainvälisessä tutkimuksessa. Kuparianodin ominaispäästökerroin on hieman suurempi kuin Bousteadin tutkimuksessa, mikä johtuu Suomeen tuotettujen kuparirikasteiden pitkistä kuljetusmatkoista.

Rikkidioksidin osalta suomalaisten tuotteiden ominaispäästöt ovat vastaavien kansainvälisten selvitysten keskiarvotasa anodikuparia lukuun ottamatta, kun tulosten laskentaan käytetään IISI:n käyttämää sähköntuotantomallia. Todelliset rikkidioksidipäästöt ovat tuotannon ostosähkönmäärästä riippuen 22–60 prosenttia pienemmät. Suomessa valmistettavan anodikuparin selvästi pienemmät rikkidioksidin ominaispäästöt johtuvat liekkisulatusmenetelmästä. Tässä tutkimuksessa SO<sub>2</sub>-ominaispäästö on 45 kg ja Bousteadin tutkimuksessa 280 kg / tonni kuparianodia. Todettakoon, että Bousteadin työn päästöjen ominaispäästöjen keskiarvot on laskettu aineistosta, jossa vain osa anodikuparin valmistajista käyttää liekkisulatusmenetelmää.

Sinkkiharkkojen metallipäästöt ilmaan ja veteen ovat samaa suuruusluokkaa sekä Bousteadin tutkimuksessa että tässä työssä lukuun ottamatta sinkkipäästöä ilmaan. Tämän työn yhteydessä tehdyssä inventaariossa sinkkipäästö ilmaan on kolminkertainen Bousteadin työn tulokseen verrattuna. Syynä tähän on ilmeisesti se, että tehdasalueen hajapäästöt ovat mukana tämän työn inventaariolaskelmissa.

Anodikuparin inventaarion metallipäästöt ovat selvästi pienempiä kuin Bousteadin keskiarvotulokset. Metallipäästöt veteen ovat puolestaan samaa tasoa lyijyä lukuun ottamatta, joka on tämän työn inventaariossa vain kuudesosa Bousteadin vastaavasta lukuarvosta.

## Vaikutusarvioinnin tulokset

### 5.1 Tulosten esittämisestä ja niiden tulkinnasta

Metallijalosteiden tuotannon aiheuttamia ympäristövaikutuksia on arvioitu kohdassa 3.3 esitetyillä vaikutusarviointimalleilla, joiden tuloksena saadaan ns. vaikutuspisteitä. Vaikutuspiste on mittayksikkö, jolla kuvataan eri tekijöiden, esimerkiksi elinkaarivaiheiden potentiaalisia ympäristövaikutuksia. Ainoastaan vertailtavien tekijöiden piste-eroilla on merkitystä tulosten tulkinnassa, eikä pisteitä voida ymmärtää todellisina vaikutuksina. Mitä suurempi lukuarvo, sitä haitallisempi ympäristölle.

Tässä työssä esitetyt vaikutuspisteet vastaavat ns. kokonaisvaikutuspisteitä, joissa erilaisten vaikutuskokonaisuuksien, vaikutusluokkien, tiedot on yhteismittallistettu arvottamisen avulla (ks. kohta 3.3.2). Tällainen lopputulos on jossakin määrin subjektiivinen ja se heijastaa arvottamisen taustalla olevan asiantuntijajoukon keskimääräistä näkemystä eri vaikutusluokkien haittojen vähentämistarpeesta. Tuloksen subjektiivisuuden takia elinkaariarvioinneissa pyritäänkin usein välttämään kokonaisvaikutuspisteiden laskentaa, jolloin vaikutusarviointitulokset muodostuvat vain luonnontieteellisesti perusteltavista vaikutusluokkien indikaattorituloksista. Tässä työssä on kuitenkin lähdetty siitä, että kokonaisvaikutuspisteiden laskenta helpottaa valtavan tietoineiston esittämistä ja ympäristönsuojelutoimenpiteiden kohdentamista. Toisaalta lukijalle annetaan myös mahdollisuus tarkastella tuloksia ilman arvottamisen vaikutusta.

Vaikutusarviointimallien tulosten esittäminen etenee kunkin tuoteryhmän osalta siten, että aluksi esitetään valtakunnallisen arviointimallin tulokset eli ilmastomuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen vaikutuspisteet tuotettua metallijalostetonna kohti. Näiden vaikutusluokkien laskentaperusteet ovat kaikille metallijalosteille samat ja arvioteknisesti parhaiten perusteltavissa. Tulokset on esitetty ensin kuvana, josta näkyy eri elinkaarivaiheiden ja vaikutusluokkien keskinäinen merkitys tuotteen kokonaisuuden aiheuttajana. Tämän jälkeen esitetään taulukkomuodossa kuvan taustalla olevat kuormitustekijöiden vaikutuspisteet vaikutusluokittain. Kussakin vaikutusluokassa kuormitustekijöiden vaikutuspisteiden keskinäiset suhteet vastaavat karakterisoitujen kuormitustekijöiden indikaattoriarvojen suhteita, joten tulokset on tulkittavissa myös ilman arvottamisen aiheuttamaa subjektiivisuutta. Lukuarvojen suhteet kertovat suoraan eri tekijöiden keskinäisen merkityksen ko. vaikutusluokan haittojen aiheuttajana. Toisaalta taulukon kuormitustekijöiden vaikutuspisteitä voidaan verrata myös eri vaikutusluokkien välillä, koska eri vaikutusluokkien vaikutuspisteet on tehty keskenään vertailukelpoisiksi vaikutusluokkien painokerrointen käytön avulla.

Käytännössä vaikutusluokkien painot ratkaisevat sen, kuinka eri vaikutusluokkien vaikutuspisteet asettuvat toisiinsa nähden. Tämän takia liitteessä 6 on luonnehdittu herkkyysanalyysin avulla sitä, kuinka tulokset muuttuvat vaikutusluokkapainojen vaihdellessa. Luvuissa 5.2–5.8 esitetyt vaikutuspisteet perustuvat arvottamisessa saatujen keskimääräisten vaikutusluokkapainojen käyttöön.

Valtakunnallisen arviointimallin tulosten jälkeen esitetään kokonaisarviointimallin tulokset elinkaarivaiheittain. Nämä vaikutuspisteet kuvaavat koko tuoteryhmän vuosituotannon aiheuttamaa kokonaisvaikutusta, joka muodostuu edellä mainittujen neljän vaikutusluokan lisäksi ekotoksisuuden, suorien kasvillisuusvaikutusten ja terveysvaikutusten seurauksena. Kokonaisarviointimallin vaikutuspisteet ovat ilmastomuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästökemikaalien ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ , NMVOC, CO, N(W), P(W)) osalta samat kuin valtakunnallisessa mallissa. Poikkeuksen tekevät rikkidioksidi ja typen oksidit ilmaan, koska kokonaisarviointimallissa rikkidioksidin ja typen oksidien valtakunnallisen mallin vaikutuspisteisiin lisätään niiden paikallisten vaikutusten vaikutuspisteet.

Ekotoksisuuden, suorien kasvillisuusvaikutusten ja terveysvaikutusten arviointi perustuu käytännössä suppean asiantuntijajoukon käsityksiin, mikä on otettava huomioon tulosten tulkinnessa. Ensinnäkin näiden vaikutusluokkien haittoja aiheuttaville päästöille (metallit veteen ja ilmaan, POP-päästöt, syanidit jne.) ei ollut käytössä kunnollisia tieteellisesti perusteltavia karakterisointikertoimia. Karakterisointikertoimiin liittyvän epävarmuuden ja arvosidonnaisuuden takia ko. haitallisten päästöjen vaikutuspisteitä ei voida verrata edes keskenään luonnontieteellisistä lähtökohdista käsin. Toiseksi vaikutusluokkien painojen käyttö vaikutusluokkien tietojen yhdistämisessä lisää omalta osaltaan ekotoksisuuden, suorien kasvillisuusvaikutusten ja terveysvaikutusten tulosten subjektiivisuutta. Yhteenvetona voidaan sanoa, että ko. vaikutusluokkien päästöjen vaikutuspisteet ovat tulkittavissa ”merkitseviksi” vasta, kun suuruusluokkaero muiden kuormitustekijöiden vaikutuspisteisiin on kertaluokkia. Sama pätee myös verrattaessa toksisten päästöjen vaikutuspisteitä toisiinsa.

Elinkaariaikaisia vaikutuspisteitä kuvaava kokonaisarviointimalli kattaa päästöt, joille on pystytty muodostamaan vaikutuskertoimet. Näiden lisäksi on esitetty valmistusvaiheen muiden kuormitustekijöiden (esim. pilaantuneet maa-alueet, haju) vaikutuspisteet. Vastaavien kuormitustekijöiden vaikutuksia ei ole pystytty esittämään muiden elinkaarivaiheiden osalta.

Koska mallien päästöjen laskentaperusteet ovat lähtökohdiltaan Suomeen sidotut, ne soveltuvat sitä huonommin, mitä kauempana Suomesta päästöjä synnyttävä toiminto sijaitsee. Vaikutusarviointitarkastelussa virheen suuruutta haarukoidaan herkkyysanalyysin avulla, mikäli tuotteen tuotanto sisältää merkittävässä määrin kaukana ulkomailla tapahtuvaa päästötoimintaa.

Luvuissa 5.2–5.9 vaikutuspisteiden ensisijaisena tarkoituksena on käyttää niitä tuotteiden sisäiseen arviointiin, jossa eri tekijöiden ympäristönsuojelutoimenpiteiden kohdentamistarvetta vertaillaan keskenään. Mitä suurempi vaikutuspiste, sen suurempi tarve vähentää tarkasteltavan tekijän aiheuttamaa kuormitusta ympäristöön. Vaikutuspisteet on muutettu eri tuotteiden osalta samaan skaalaan, mikä mahdollistaa myös eri tuotteiden välisten vaikutuspisteiden tarkastelun. Tuoteyksikköä kohti laskettujen vaikutuspisteiden vertailun mielekkyys on kuitenkin kyseenalaista, sillä tässä työssä tarkasteltavat metallijalosteet eivät ole lopputuotteita. Ainoastaan metallijalosteita sisältäviä lopputuotteita ja niiden vaikutuspisteitä voidaan verrata keskenään, mikäli vertailtavat lopputuotteet ovat toinnoltaan samanlaisia.

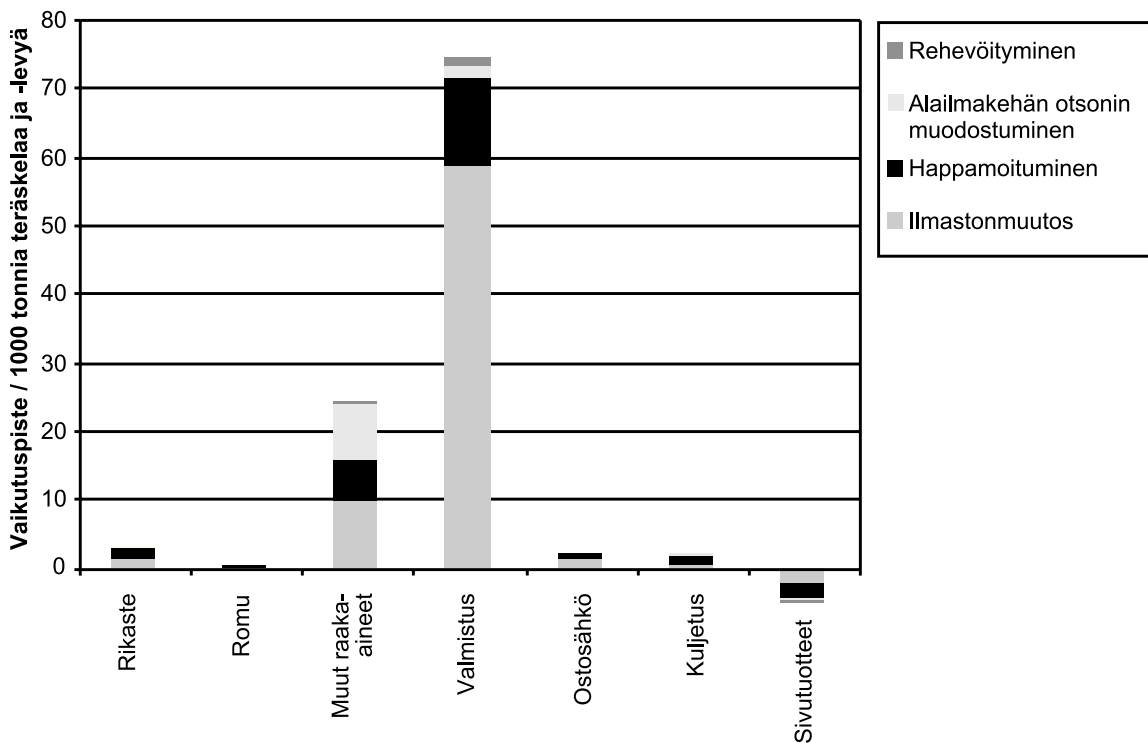
Vuosituotantoa kohti lasketut vaikutuspisteet tuottavat saman kokonaiskuvan eri tekijöiden keskinäisestä merkityksestä ympäristövaikutusten aiheuttajana kuin metallijalostetonna kohti lasketut tulokset. Vuosituotantoa kohti lasketut vaikutuspisteet antavat lisäksi käsityksen eri metallijalosteiden aiheuttamista ympäristövaikutusvasteista. Luonto reagoi kokonaiskuormitusmääriin. Vaikka tuoteyksikköä kohti lasketut ominaispäästöt ovat alhaiset, vaikutus ympäristöön



voi olla haitallista, jos tuotantomäärät ovat suuret. Toisaalta ympäristön kannalta suuret tuotantomäärät mahdollistavat usein paremman puhdistus- ja prosessiteknikan käytön, minkä seurauksena tuotteiden ominaispäästöt ovat pienet. Luvuissa 5.2–5.9 esitettyjen kokonaisvaikutuspisteiden tulkinnan kannalta on tärkeää ymmärtää, että ne eivät kuitenkaan sovellu arvioteknisten eroavaisuuksien takia yksityiskohtaiseen tuotteiden väliseen vertailuun. Asiaa on selvitetty luvussa 5.10.

## 5.2 Teräslevyt ja -kelat

Teräslevyillä ja -keloilla tehdyt vaikutusarviointilaskelmat koskevat vuoden 1997 kuumavalssattujen, kylmävalssattujen ja pinnoitettujen levytuotteiden tuotannon vaikutuksia. Kylmävalssatut ja pinnoitetut levytuotteet tehdään kuumavalssatuista keloista. Kuumavalssattujen teräslevyjen ja -kelojen valmistusketjut ovat pitkälle samat, minkä takia seuraavassa esitetään ensin kuumavalssattujen teräslevyjen ja -kelojen yhteisvaikutuksia kuvaavat tulokset. Valtakunnallisen mallin laskelmat osoittavat, että kuumavalssattujen teräslevyjen ja -kelojen tuotannon ympäristönäkökohdat liittyvät selvästi ilmastonmuutokseen ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen (kuva 10 ja taulukko 12).



Kuva 10. Kuumavalssattujen teräslevyjen ja -kelojen tuotannon aiheuttamat vaikutuspisteet vuonna 1997 valtakunnallisella mallilla laskettuna.

Taulukko 12. Kuumavalssattujen teräslevyjien ja -kelojen tuotannon ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästömuuttujien vaikutuspisteet vuonna 1997.

Vaikutusluokka	Päästö- muuttuja	Vaikutuspiste / 1000 tonnia teräslevyä ja -kelaa							
		Rikaste	Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu- tuotteet	Yhteensä
Ilmastonmuutos	CO <sub>2</sub>	1,249	0,064	8,725	58,594	0,913	0,444	-1,928	66,748
	N <sub>2</sub> O	0,071	0,001	0,612	0,000	0,003	0,046	-0,147	0,515
	CH <sub>4</sub>	0,003	0,000	0,203	0,000	0,063	0,000	-0,038	0,228
Happamoituminen	SO <sub>2</sub>	1,038	0,002	4,990	10,430	0,698	0,478	-1,559	15,037
	NO <sub>x</sub>	0,335	0,043	1,135	2,235	0,121	0,540	-0,725	3,306
	NH <sub>3</sub>	0,001	0,000	0,024	0,000	0,000	0,001	-0,007	0,018
	HCl	0,047	0,000	0,105	0,000	0,047	0,000	-0,004	0,148
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO <sub>x</sub>	0,275	0,035	0,930	1,833	0,099	0,443	-0,595	2,711
	NMVOOC	0,098	0,003	7,054	0,000	0,005	0,023	-0,161	6,921
	CO	0,005	0,001	0,174	0,000	0,004	0,006	0,180	0,365
Rehevöityminen	CH <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	-0,001	0,003
	NO <sub>x</sub>	0,114	0,015	0,386	0,760	0,041	0,184	-0,247	1,124
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,004
	N(W)	0,027	0,000	0,105	0,570	0,001	0,000	-0,002	0,674
	P(W)	0,011	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000	-0,179	-0,140
Yhteensä		3,276	0,164	24,491	74,423	1,997	2,165	-5,413	97,662

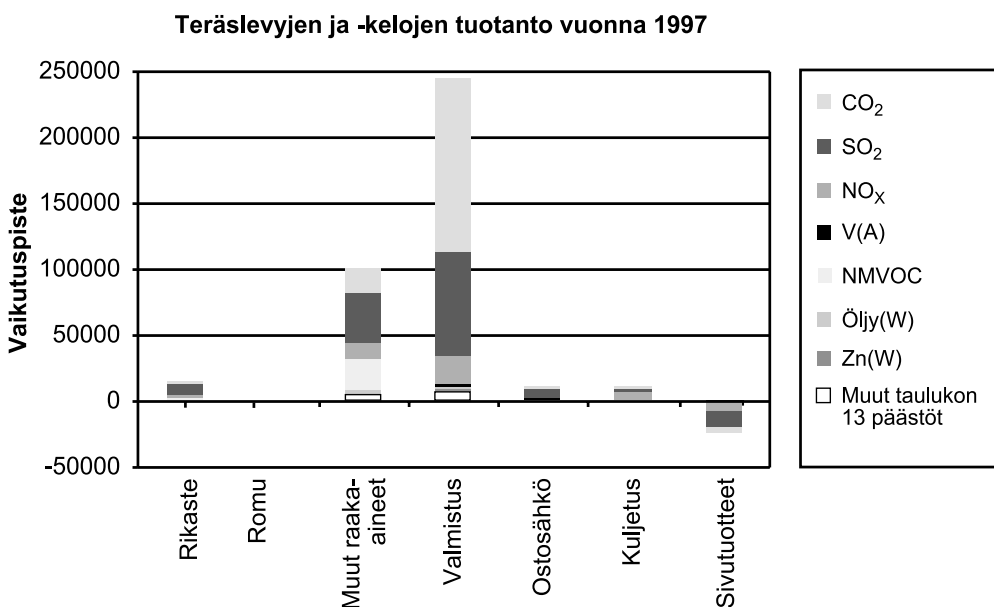
Valtakunnallisen arviointimallin vaikutuspisteiden taustalla ovat vaikutusluokkien keskiarvopainot, jotka on saatu 37 ympäristöalan asiantuntijan arvottamistulosten perusteella (ks. kohta 3.3). Kokonaisarviointimallissa käytettiin muista metallijalosteista poiketen tehtaan, kunnan ja aluekeskuksen ympäristövastaavien arvottamia vaikutusluokkien keskiarvopainoja myös valtakunnallisten vaikutusluokkien osalta. Tämä johtui yksinkertaisesti siitä, että tämä tuoteryhmä läpikäytiin aikanaan pilottiluonteisesti eikä arvottamista yhtenäistetty enää jälkikäteen muiden metallijalosteiden arvottamisen kanssa. Painokerrointen ero näkyy käytännössä vain ilmastonmuutoksen ja happamoitumisen painokerrointen suhteiden erilaisuutena malleissa. Valtakunnallisessa mallissa ilmastonmuutoksen ja happamoitumisen painokerrointen suhde on 0,58 (=happamoitumisen paino/ilmastonmuutoksen paino) kun se kokonaisarviointimallissa on 0,80. Ero johtaa siihen, että kokonaisarviointimallissa hiilidioksidipäästöt saavat vähemmän vaikutuspisteitä kuin valtakunnallisessa mallissa. Vastaavasti happamoitumista aiheuttavat päästöt, rikkidioksidi ja typen oksidit, saavat selvästi enemmän vaikutuspisteitä kokonaisarviointimallissa kuin valtakunnallisessa mallissa. Eri mallit tuottivat kuitenkin samanlaisen ympäristövaikutusprofiilin (kuvat 10 ja 11), mikä osoittaa teräslevyjien ja -kelojen ympäristövaikutusten painottuvan selvästi valmistusvaiheeseen.

Päästöjen kokonaisvaikutukset selittyvät pitkälle ilmastonmuutosta, happamoitumista ja alailmakehän otsonia muodostavilla päästöillä (taulukko 13). Tuotantolaitoksen ulkopuolelta hankittavan koksen valmistus aiheuttaa elinkaari-inventaariotietojen perusteella merkittäviä hiilivetyypäästöjä (liitteen 5 taulukko 1), joiden vaikutukset saattavat olla alailmakehän otsonin muodostumiseen esitettyä suuremmat päästölähteen eteläisen sijainnin (Puola) takia. Kokonaisarviointimallissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC), joiden oletetaan mallissa olevan yhtä kuin ilmaan menevät hiilivetyypäästöt, vaikutuskertoimet perustuvat Suomen olosuhteisiin, joissa VOC-päästöillä ei ole niin merkittävää roolia alailmakehän otsonin muodostamisessa kuin Keski-Euroopassa (Lindfors ym. 1995).

Kokonaisarviointimallista puuttuu arvioteknisten vaikeuksien takia muun muassa sellaisia päästömuuttujia kuin fluoridi ja mangaani, joita esiintyy muissa elinkaarivaiheissa kuin valmistuksessa (liitteen 5 taulukko 1). Näiden päästöjen määrät ovat veteen menevää magnesiumia lukuunottamatta kuitenkin siksi vähäisiä, ettei niiden puuttuminen kokonaisarviointimallista muuta olennaisesti kokonaiskuvaa. Magnesiumin päästömäärä (38 t /a) rikastevaiheessa on oletettavasti virheellinen.

Valmistusvaiheesta arvioitiin tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan subjektiivisten näkemysten perusteella myös paikallisten kuormitustekijöiden vaikutuspisteet. Arvioitavana olivat myös päästöt, joilta puuttuivat selkeät päästöarviot. Näiden taulukosta 13 puuttuvien valmistusvaiheen kuormitustekijöiden kokonaisvaikutuspistemääräksi saatiin 154 682, mikä on lähes kaksi kolmasosaa taulukon 13 valmistusvaiheen päästöjen kokonaisvaikutuspistemäärästä. Pölyäminen koettiin selvästi haitallisimmaksi kuormitustekijäksi (65 351 vaikutuspistettä). Jättekysymykset muodostuivat tärkeäksi toimenpiteiden kohdentamisalueeksi (tuotantolaitoksen alueelle varastoitavat prosessijätteet 27 710, yhdyskuntajätteet 11 084 ja ongelmajätteet 1 365 vaikutuspistettä). Tuotantolaitoksen ulkopuolelle pääsevä melu koettiin myös merkittävänä haittatekijänä (21 481 vaikutuspistettä). Muut valmistusvaiheen kuormitustekijät vaikutuspistemäärineen olivat seuraavat: pysyvät orgaaniset yhdisteet ilmaan eli ns. POP-päästöt (5 582), lämpökuorma (3 424), tervan haju (1 946), rikkivedyn haju (1 946), fenolit veteen (1 047) ja saastuneet maa-alueet tehdasalueella (934).

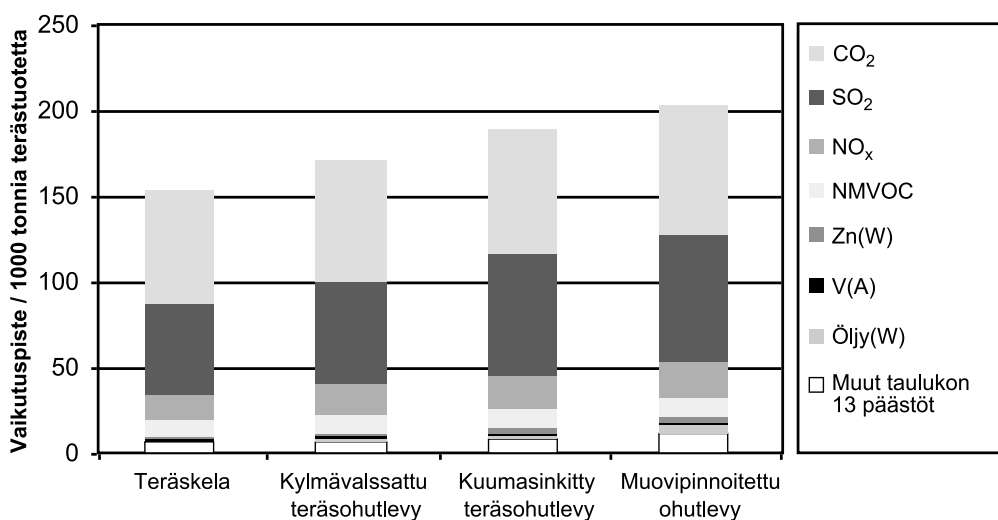
Kuumavalssatun teräskelan ja siitä jatkojalostettavien ohutlevyjen (kylmävalssattu teräsohutlevy, kuumasinkitty teräsohutlevy, muovipinnoitettu ohutlevy) vaikutuspisteet kokonaisarviointimallilla laskettuna osoittavat sen, että teräskela aiheuttaa noin 80–90 prosenttia jatkojalostettavien tuotteiden kokonaisvaikutuksista (kuva 12). Kaiken kaikkiaan näiden ohutlevyjen valmistus vuonna 1997 aiheutti noin 28 300 vaikutuspisteen verran lisävaikutuksia taulukon 13 kokonaisvaikutuspisteisiin nähden.



Kuva 11. Kuumavalssattujen teräsvaihteiden ja -kelojen tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön vuonna 1997 kokonaisarviointimallilla laskettuna.

Taulukko 13. Kuumavalssattujen teräskelojen ja -levyjen päästömuuttujien kokonaisvaikutukset ympäristöön vuonna 1997 kokonaisarviointimallilla laskettuna.

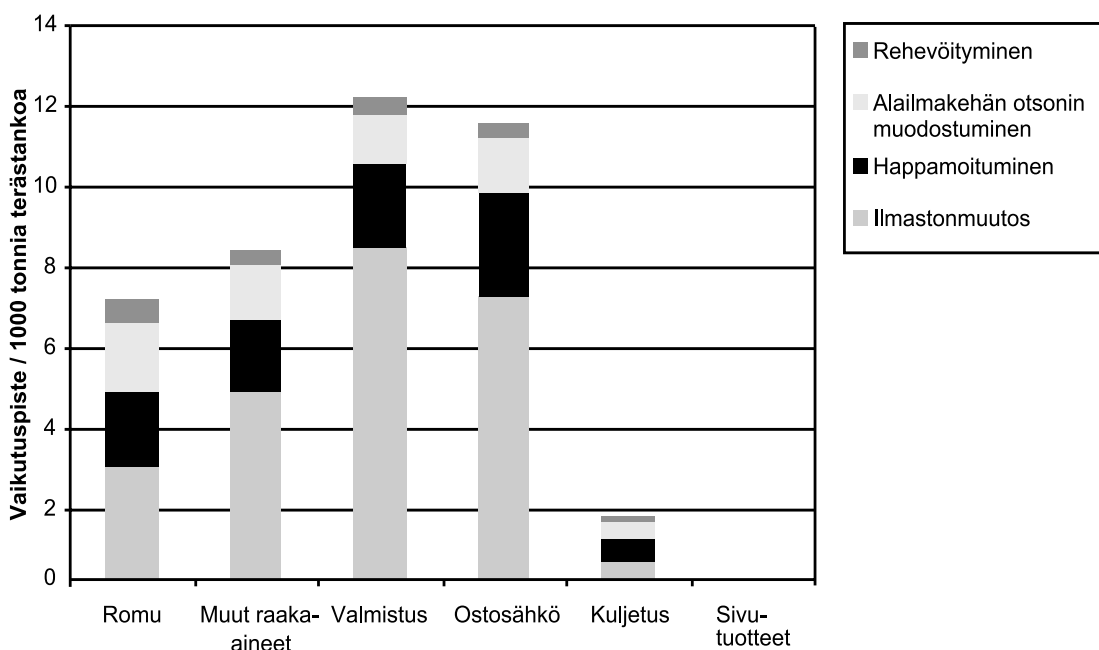
Päästö- muuttuja	Vaikutuspiste							Yhteensä
	Rikaste	Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu- tuotteet	
CO <sub>2</sub>	2801	144	19562	131376	2048	996	-4322	152604
N <sub>2</sub> O	159	2	1373	0	8	104	-330	1316
CH <sub>4</sub>	7	0	462	0	144	0	-86	527
SO <sub>2</sub>	7812	17	37540	78472	5249	3600	-11733	120957
NH <sub>3</sub>	6	0	134	0	2	4	-39	107
NO <sub>x</sub>	3216	410	10885	21443	1158	5179	-6955	35335
HCl	351	0	791	0	351	0	-26	1466
CO	16	5	577	0	14	20	596	1228
NMVOC	318	9	22792	0	16	73	-520	22688
As(A)	0	0	17	0	8	0	0	24
Cd(A)	0	0	27	284	12	0	0	323
Cr(A)	4	0	22	140	10	0	0	175
Cu(A)	5	0	11	149	5	0	0	170
Hg(A)	0	0	2	0	1	0	0	4
Ni(A)	29	0	405	591	183	0	0	1207
Pb(A)	0	0	25	1370	11	0	0	1406
V(A)	86	0	1266	1174	571	0	0	3097
Zn(A)	0	0	10	60	4	0	0	74
N(W)	29	0	113	611	1	0	-2	751
P(W)	34	0	115	0	0	0	-533	-384
Öljy(W)	154	0	2902	2245	27	109	-1329	4108
Fe(W)	0	0	0	3265	0	0	-96	3169
Zn(W)	9	0	16	2603	6	0	0	2633
Syanidi(W)	0	0	1034	0	209	0	0	1243
Yhteensä	15036	587	100079	243781	10037	10085	-25376	354229



Kuva 12. Kuumavalssatun teräskelan ja siitä jatkojalostettujen ohutlevyjen vaikutuspisteet kokonaisarviointimallilla laskettuna vuonna 1997.

## 5.3 Terästagot

Terästagolle tehdyt vaikutusarviointilaskelmat kuvaavat vuoden 1997 takoihioiden, kuumavalssattujen ja kirkkaiden nuorrutettujen tankojen tuotannon yhteisvaikutuksia. Valtakunnallisen mallin laskelmat osoittavat, että terästankojen tuotannon ympäristönäkökohdat liittyvät selvästi ilmastonmuutokseen ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen (kuva 13 ja taulukko 14).



Kuva 13. Terästankojen tuotannon aiheuttamat vaikutuspisteet vuonna 1997 valtakunnallisella mallilla laskettuna.

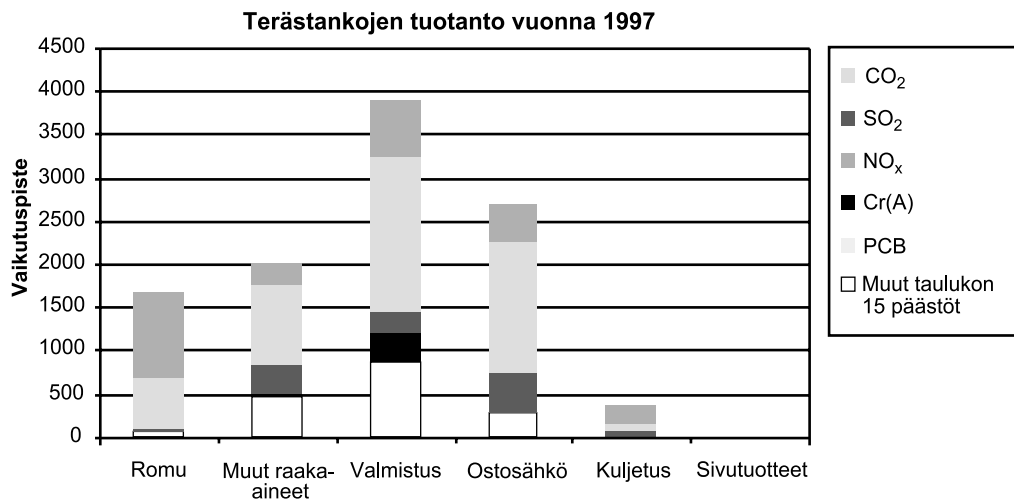
Taulukko 14. Terästankojen tuotannon ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästömuuttujien vaikutuspisteet vuonna 1997.

Vaikutusluokka	Päästömuuttuja	Vaikutuspiste / 1000 tonnia terästankoa						Yhteensä
		Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet	
Ilmastonmuutos	CO <sub>2</sub>	2,721	4,095	8,209	6,738	0,450	-0,004	22,208
	N <sub>2</sub> O	0,036	0,068	0,000	0,210	0,004	-0,001	0,319
	CH <sub>4</sub>	0,007	0,487	0,000	0,029	0,001	0,000	0,523
Happamoituminen	SO <sub>2</sub>	0,095	1,300	0,896	1,778	0,135	-0,001	4,202
	NO <sub>x</sub>	1,816	0,439	1,192	0,798	0,432	-0,004	4,674
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	HCl	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO <sub>x</sub>	1,489	0,360	0,977	0,654	0,354	-0,003	3,832
	NM VOC	0,114	0,935	0,000	0,695	0,012	0,000	1,757
	CO	0,063	0,119	0,245	0,005	0,007	0,000	0,439
	CH <sub>4</sub>	0,000	0,006	0,000	0,000	0,002	0,000	0,009
Rehevöityminen	NO <sub>x</sub>	0,617	0,149	0,405	0,271	0,147	-0,001	1,589
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N(W)	0,000	0,161	0,000	0,106	0,000	0,000	0,268
	P(W)	0,000	0,015	0,000	0,014	0,000	0,000	0,029
<b>Yhteensä</b>		<b>6,959</b>	<b>8,143</b>	<b>11,925</b>	<b>11,300</b>	<b>1,545</b>	<b>-0,014</b>	<b>39,857</b>

Ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavat päästöt selittävät pitkälti terästankojen tuotannosta syntyvien päästöjen aiheuttamat haitat, mikä näkyy kokonaisarviointimallilla ja valtakunnallisella arviointimallilla laskettujen vaikutuspistemäärien samankaltaisuutena (kuvat 13 ja 14). Terästankojen valmistusvaiheen kromi-, PCB-, nikke- li-, PAH- ja dioksiini/furaanipäästöjen yhteenlasketut vaikutuspisteet ovat valmistusvaiheen typen oksidipäästöjen (NO<sub>x</sub>) vaikutuspisteiden tasoa.

Tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan subjektiivisten näkemysten perusteella arvioitiin myös valmistusvaiheen paikallisten kuormitustekijöiden vaikutuspisteet. Näiden yhteenlasketuksi vaikutuspistemääräksi saatiin 2 740, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin valmistusvaiheen aiheuttamien päästöjen yhteenlasketut vaikutuspisteet. Melu koetaan merkittävänä häirtana tehdasalueen ympäristössä, jonka välittömässä läheisyydessä on asutusta. Se sai yksittäisistä valmistusvaiheen kuormitustekijöistä suurimman vaikutuspistemäärän eli 940 pistettä. Toiminta tuotantolaitosalueella on saattanut aiheuttaa aikanaan maaperän pilaantumista (740 vaikutuspistettä). Jättekysymysten tehostaminen on edelleen ajankoh- taista (464 vaikutuspistettä). Pölyhaittakin on vielä olemassa (396 vaikutuspistettä).

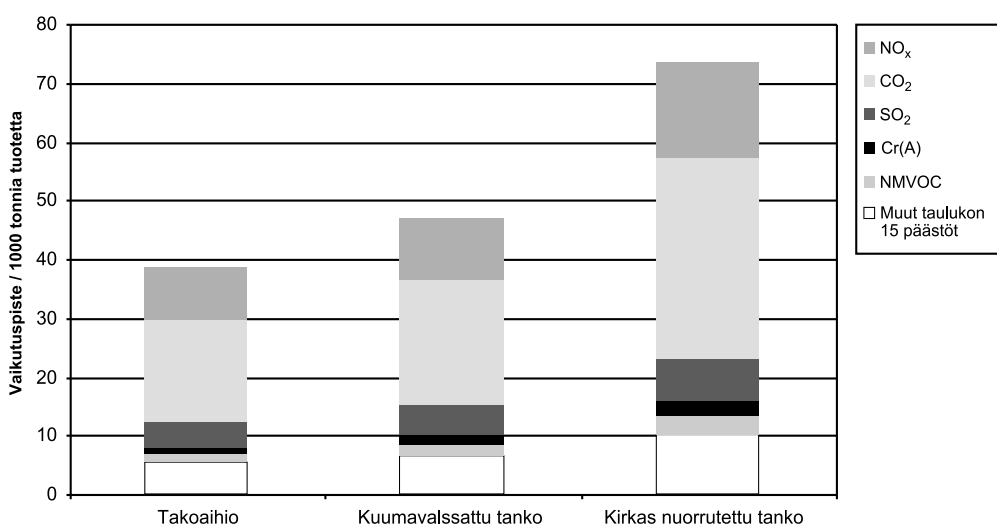
Kuvassa 15 on esitetty erikseen takoaihion, kuumavalssatun ja kirkkaan nuor- rutetun tangon kokonaisvaikutuspisteet, kun arvioinnin taustalla ovat taulukossa 15 esitetyt päästömuuttujat. Kirkkaan nuorrutetun tangon valmistus vaatii run- saasti energiaa, mikä näkyy selvästi suurempana tuotettua tuotetta kohti laskettu- na vaikutuspistemääränä.



Kuva 14. Terästankojen tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna.

Taulukko 15. Terästankojen päästömuuttujien kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna.

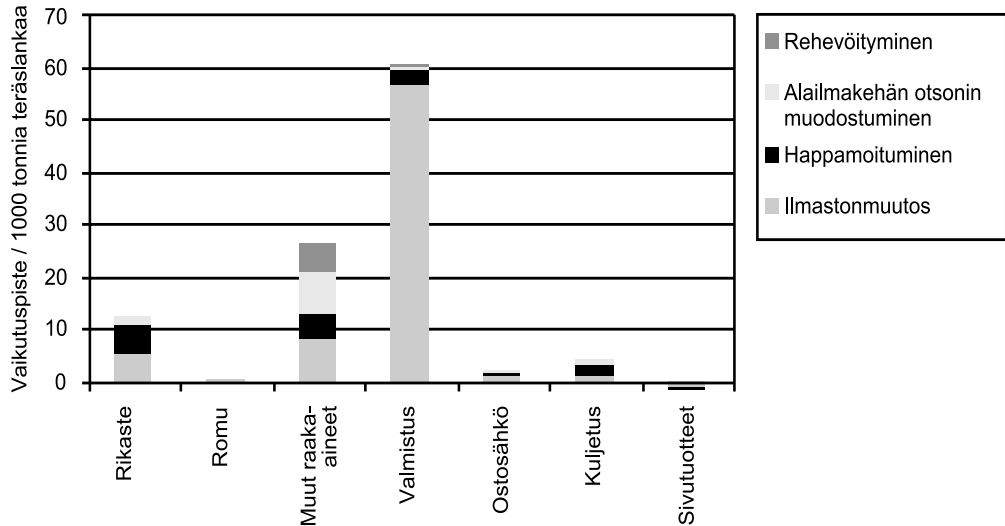
Kuormitustekijä	Kokonaisvaikutuspiste						Yhteensä
	Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu-tuotteet	
CO <sub>2</sub>	602	906	1816	1491	100	-1	4913
N <sub>2</sub> O	8	15	0	47	1	0	70
CH <sub>4</sub>	2	109	0	6	0	0	117
SO <sub>2</sub>	25	344	237	470	36	0	1112
NO <sub>x</sub>	989	239	649	435	235	-2	2545
CO	15	28	57	1	2	0	102
NMVOOC	27	220	0	163	3	0	413
PAH	0	0	135	0	0	0	135
DIO/FUR	0	0	149	0	0	0	149
PCB	0	0	0	0	0	0	0
As(A)	0	0	3	1	0	0	4
Cd(A)	0	0	2	2	0	0	4
Cr(A)	0	34	349	2	0	0	386
Cu(A)	0	0	99	0	0	0	99
Hg(A)	0	0	24	1	0	0	25
Ni(A)	0	1	182	5	0	0	189
Pb(A)	0	0	4	0	0	0	4
V(A)	0	2	68	15	0	0	85
Zn(A)	0	2	42	0	0	0	44
Fluoridi(A)	0	28	70	0	1	0	99
N(W)	0	45	0	29	0	0	74
P(W)	0	3	0	3	0	0	6
Öljy(W)	0	11	8	0	0	0	20
<b>Yhteensä</b>	<b>1668</b>	<b>1987</b>	<b>3896</b>	<b>2673</b>	<b>377</b>	<b>-4</b>	<b>10597</b>



Kuva 15. Takoaihion, kuumavalssatun ja kirkaaksi nuorrutetun tangon vaikutuspisteet kokonaisarviointimallilla laskettuna.

## 5.4 Teräslangat

Teräslangoille tehdyt vaikutusarviointilaskelmat kuvaavat vuoden 1997 teräsaihioiden, valssilankojen ja vedettyjen lankojen tuotannon yhteisvaikutuksia. Valtakunnallisen mallin laskelmat osoittavat, että teräslankojen tuotannon ympäristönäkökohdat liittyvät selvästi ilmastomuutokseen ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen (kuva 16 ja taulukko 16).



Kuva 16. Teräslankojen tuotannon aiheuttamat vaikutuspisteet vuonna 1997 valtakunnallisella mallilla laskettuna.

Taulukko 16. Teräslankojen tuotannon ilmastomuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästömuuttujien vaikutuspisteet vuonna 1997.

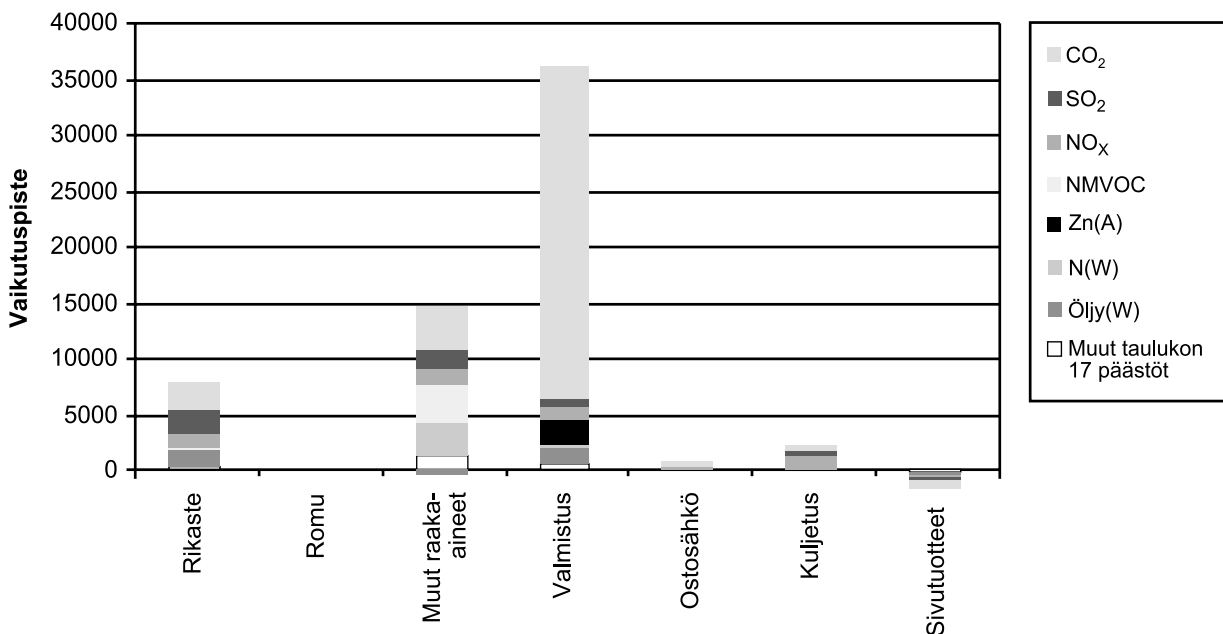
Vaikutusluokka	Päästömuuttuja	Vaikutuspiste / 1000 tonnia teräslankaa							Yhteensä
		Rikaste	Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu-tuotteet	
Ilmastomuutos	CO <sub>2</sub>	4,877	0,096	7,088	56,600	1,017	0,709	-1,162	69,225
	N <sub>2</sub> O	0,271	0,001	0,457	0,002	0,032	0,001	-0,007	0,757
	CH <sub>4</sub>	0,011	0,000	0,053	0,000	0,004	0,000	-0,024	0,045
Happamoituminen	SO <sub>2</sub>	4,033	0,003	3,761	1,534	0,268	1,192	-0,282	10,509
	NO <sub>x</sub>	1,165	0,064	1,257	1,012	0,120	1,065	-0,208	4,477
	NH <sub>3</sub>	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
	HCl	0,199	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	-0,003	0,205
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO <sub>x</sub>	0,956	0,052	1,031	0,830	0,099	0,874	-0,170	3,671
	NMVOOC	0,397	0,001	5,979	0,003	0,105	0,018	-0,019	6,485
	CO	0,016	0,002	1,419	0,002	0,001	0,006	-0,001	1,445
	CH <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Rehevytyminen	NO <sub>x</sub>	0,396	0,022	0,427	0,344	0,041	0,362	-0,071	1,522
	NH <sub>3</sub>	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
	N(W)	0,057	0,000	4,233	0,044	0,016	0,000	-0,005	4,344
	P(W)	0,011	0,000	0,375	0,149	0,002	0,000	-0,142	0,396
<b>Yhteensä</b>		<b>12,395</b>	<b>0,241</b>	<b>26,088</b>	<b>60,520</b>	<b>1,706</b>	<b>4,228</b>	<b>-2,094</b>	<b>103,084</b>



Ilmastomuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavat päästöt selittävät pitkälti teräslankojen tuotannosta syntyvien päästöjen aiheuttamat haitat, mikä näkyy kokonaisarviointimallilla ja valtakunnallisella arviointimallilla laskettujen vaikutuspistemallien samankaltaisuutena (kuvat 16 ja 17). Yli puolet teräslankojen tuotannon kokonaisvaikutuksista syntyy valmistusvaiheessa, kun tarkasteltavina ovat taulukon 17 päästömuuttajat.

Tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihterin ja ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan subjektiivisten näkemysten perusteella arvioitiin myös valmistusvaiheen paikallisten kuormitustekijöiden vaikutuspisteet. Näiden yhteenlaskettu vaikutuspistemäärä on noin 45 % taulukossa 17 esitettyjen päästöjen yhteenlasketusta vaikutuspistemäärästä. Teräsihoiden valmistuksessa syntyvä pöly (8 906 vaikutuspistettä) ja sähkösuodattimen pölyä sisältävät jätteet (9 056 vaikutuspistettä) erottuvat tärkeimpinä ympäristönsuojelun kohdentamisalueina. Myös teräsihoiden valmistuksen kiintoainepäästöt (3 470 vaikutuspistettä) ja prosessijätteet (1 755 vaikutuspistettä) koettiin melko tärkeiksi toimenpidealueiksi. Valssilangan ja vedetyn langan valmistuksen paikallisten tekijöiden vaikutuspistemäärä (2 850) arvioitiin vain runsaaksi 10 prosentiksi siihen nähden, mitä aihoiden valmistus aiheuttaa paikallisia vaikutuksia. Vetämön ja valssaamon lietteet (1 699 vaikutuspistettä) muodostuivat merkittävimäksi toimenpidekohteiksi valssilangan ja vedetyn langan valmistuksessa, kun tarkasteltavana oli taulukon 17 ulkopuolelle jäävät valmistuksen aiheuttamat paikalliset kuormitustekijät.

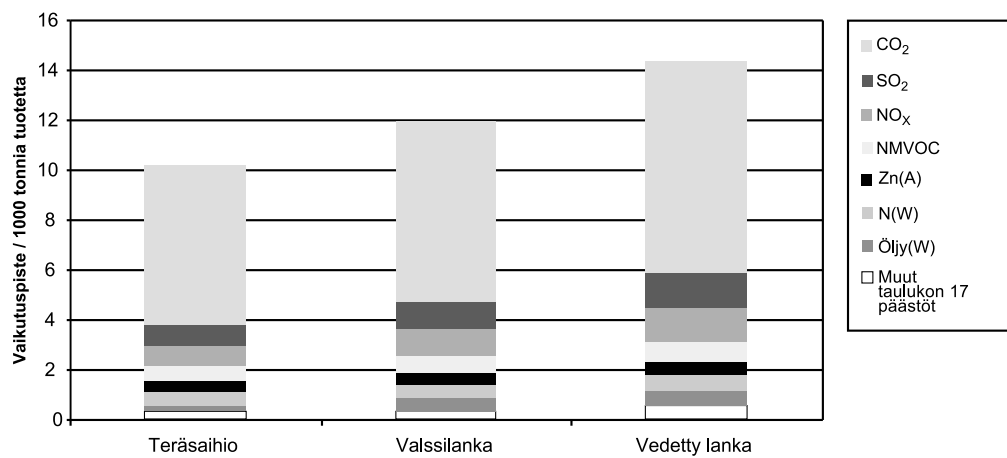
Kuvassa 18 on esitetty erikseen teräsihoiden, valssilangan ja vedetyn langan kokonaisvaikutuspisteet, kun arvioinnin taustalla ovat taulukossa 17 esitetyt päästömuuttajat.



Kuva 17. Teräslankojen tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna.

Taulukko 17. Teräslankojen päästömuuttujien kokonaisvaikutukset ympäristöön vuonna 1997 kokonaisarviointimallilla laskettuna.

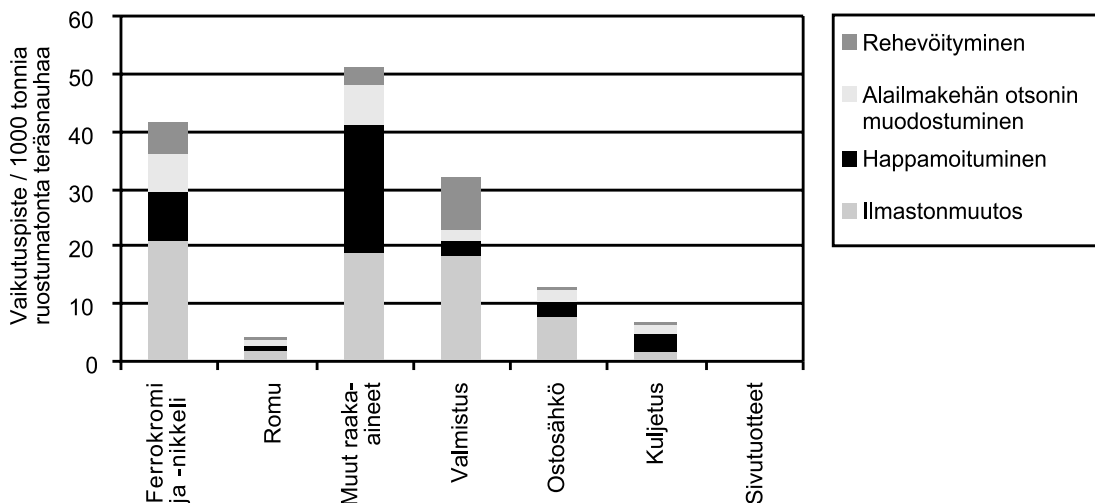
Päästö- muuttuja	Vaikutuspiste							Yhteensä
	Rikaste	Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu- tuotteet	
CO <sub>2</sub>	2559	50	3718	29694	534	372	-609	36317
N <sub>2</sub> O	142	1	240	1	17	0	-3	397
CH <sub>4</sub>	6	0	28	0	2	0	-13	24
SO <sub>2</sub>	2033	2	1895	773	135	600	-142	5296
NH <sub>3</sub>	2	0	0	0	0	0	0	3
NO <sub>x</sub>	1360	74	1467	1181	141	1243	-242	5224
HCl	100	0	4	0	0	0	-1	103
CO	9	1	774	1	0	3	-1	789
NMVOc	217	0	3264	2	57	10	-10	3540
As(A)	2	0	25	12	13	0	-2	50
Cd(A)	4	0	8	95	13	0	-2	117
Zn(A)	8	0	17	2240	3	0	0	2268
N(W)	38	0	2871	29	11	0	-3	2946
P(W)	4	0	140	56	1	0	-53	147
Öljy(W)	1399	1	-344	1484	8	27	-407	2168
Cu(W)	19	0	131	499	0	0	0	650
Zn(W)	17	0	67	8	0	0	0	92
<b>Yhteensä</b>	<b>7920</b>	<b>130</b>	<b>14306</b>	<b>36075</b>	<b>934</b>	<b>2257</b>	<b>-1490</b>	<b>60131</b>



Kuva 18. Teräsaihion, valssilangan ja vedetyn langan vaikutuspisteet kokonaisarviointimallilla laskettuna.

## 5.5 Ruostumattomat teräsnauhat

Ruostumattomille teräsnauhaille tehty vaikutusarviointilaskelmat kuvaavat vuoden 1997 ferrokromin, teräsaihioiden, kuumavalssattujen ja kylmävalssattujen nauhojen tuotannon yhteisvaikutuksia. Valtakunnallisen mallin vaikutusluokkien osalta vaikutukset keskittyvät selvästi valmistusvaiheen ulkopuolelle, rikasteen (ferrokromin ja -nikkelin) ja muiden raaka-aineiden tuotantoon (kuva 19 ja taulukko 18).



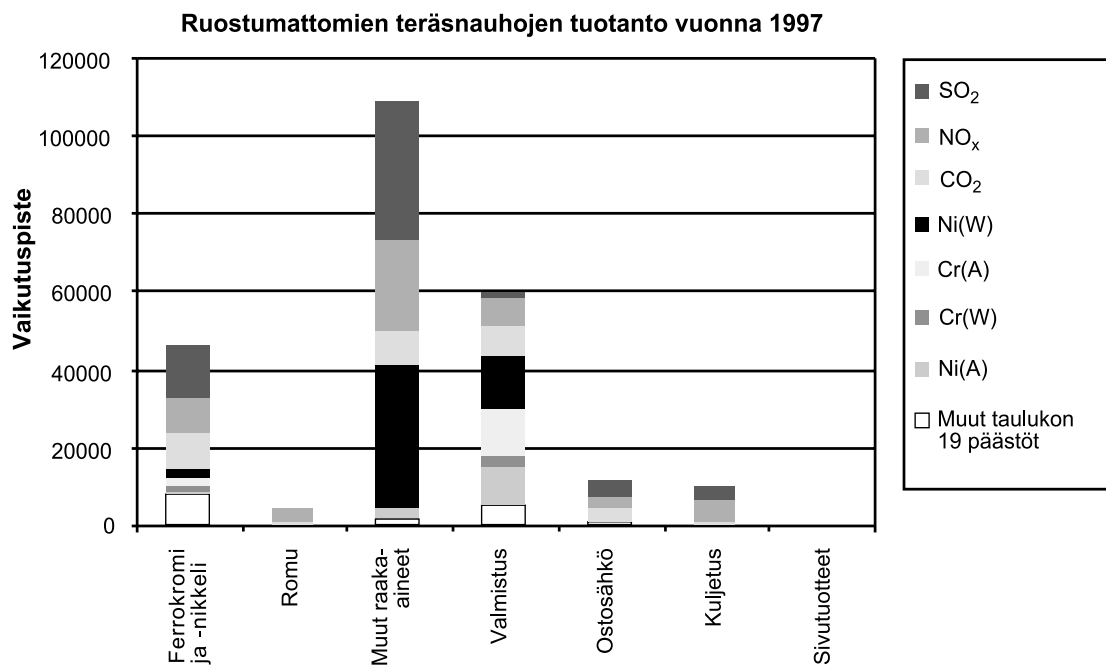
Kuva 19. Ruostumattomien teräsnauhojen tuotannon aiheuttamat vaikutuspisteet vuonna 1997 valtakunnallisella mallilla laskettuna.

Taulukko 18. Ruostumattomien teräsnauhojen tuotannon ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästömuuttujien vaikutuspisteet vuonna 1997.

Vaikutusluokka	Päästö- muuttuja	Vaikutuspiste / 1000 tonnia ruostumatonta teräsnauhaa							Yhteensä
		Ferrokromi ja -nikkeli	Romu	Muut raaka- aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu- tuotteet	
Ilmastonmuutos	CO <sub>2</sub>	19,977	1,471	18,698	17,929	7,346	1,354	0,000	66,775
	N <sub>2</sub> O	0,469	0,020	0,093	0,000	0,229	0,006	0,000	0,817
	CH <sub>4</sub>	0,051	0,004	-0,192	0,000	0,031	0,001	0,000	-0,105
Happamoituminen	SO <sub>2</sub>	5,628	0,050	15,349	0,783	1,884	1,326	0,000	25,020
	NO <sub>x</sub>	2,866	0,954	6,918	2,033	0,846	1,737	0,000	15,353
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
	HCl	0,003	0,000	0,096	0,000	0,000	0,000	0,000	0,099
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO <sub>x</sub>	2,577	0,858	6,221	1,828	0,760	1,562	0,000	13,806
	NMVOOC	3,445	0,066	0,442	0,000	0,808	0,042	0,000	4,803
	CO	0,562	0,036	0,453	0,000	0,006	0,017	0,000	1,074
Rehevöityminen	CH <sub>4</sub>	0,001	0,000	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001
	NO <sub>x</sub>	1,009	0,336	2,435	0,715	0,298	0,611	0,000	5,403
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N(W)	4,260	0,003	0,270	8,278	0,187	0,001	0,000	12,998
P(W)	0,301	0,000	0,013	0,000	0,016	0,000	0,000	0,330	
<b>Yhteensä</b>		<b>41,149</b>	<b>3,797</b>	<b>50,793</b>	<b>31,566</b>	<b>12,411</b>	<b>6,656</b>	<b>0,000</b>	<b>146,373</b>

Nikkeli- ja kromipäästöt, joiden vaikutukset on pystytty kokonaisarviointimallin avulla liittämään valtakunnallisen mallin tulosten kanssa samaan kehikkoon, muuttavat elinkaarivaiheiden keskinäistä suhdetta kokonaisvaikutusten aiheuttajana. Elinkaarivaihe "muut raaka-aineet" muodostuu tällöin selvästi merkittävimmäksi ympäristövaikutuksia aiheuttavaksi elinkaarivaiheeksi (kuva 20 ja taulukko 19), jonka vaikutuspisteet tulevat suurimmaksi osaksi ruostumattoman teräksen tuotantopanoksena käytettävän nikkelin kautta.

Ruostumattomien teräsnauhojen kokonaisarviointimallissa käytetyt rikkidioksidin ja typen oksidien vaikutuspistekertoimet (vaikutuspiste = vaikutuspistekerroin · päästö) poikkeavat muiden metallialusteiden yhteydessä käytetyistä kertoimista (ks. liite 6), koska tehtaan ympäristöasioita käsittelevät asiantuntijat arvioivat rikkidioksidin ja typen oksidien aiheuttavan suoria kasvillisuusvaikutuksia tehtaan lähiympäristössä ja tälle vaikutusluokalle annettiin suuri painoarvo suhteessa muihin vaikutusluokkiin. Arvottamiseen liittyvän virhemahdollisuuden takia taulukossa 19 on esitetty myös ruostumattomien teräsnauhojen rikkidioksidin ja typen oksidien vaikutuspisteet siten, että niiden laskennasta on poistettu suorien kasvillisuusvaikutusten aiheuttamat vaikutukset. Kokonaisvaikutukset putoavat tämän toimenpiteen seurauksena lähes 30 prosentilla.



Kuva 20. Ruostumattomien teräsnauhojen tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna. Rikkidioksidin ja typen oksidien vaikutuspisteet ovat kuvassa todennäköisesti selvästi liian suuret (ks. teksti ja taulukko 19).

Tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan subjektiivisten näkemysten perusteella arvioidut muut kuin taulukossa 19 esitetyt kuormitustekijät saivat valmistusvaiheessa suurusluokaltaan samanlaisen kokonaisvaikutuspistemäärän kuin valmistusvaiheen päästöttekijät yhteensä taulukossa 19. Näiden valmistusvaiheen paikallisten kuormitustekijöiden vaikutuspisteet muodostuivat jäteasioista (prosessijätteet 31 468 vaikutuspistettä, neutralointisakat 5 900 vaikutuspistettä ja vedenpuhdistussakat 1 967 vaikutuspistettä), kaatopaikan pilaamista maa-alueista (18 702 vai-

kutus pistettä) ja tehdasalueen aiheuttamasta melusta (3 077 vaikutuspistettä). Ilmaan menevän fluoridin, jonka päästömäärää ei ole tarkemmin pystytty arvioimaan, vaikutuspistemääräksi saatiin 4 774.

Vaikutusarvioinnin tulosten perusteella ruostumattoman teräksen tuotannon ympäristötoimenpiteiden tulisi tulevaisuudessa painottua pitkälti nikkelin tuotannon ympäristöasioiden hoitoon ja valmistusvaiheen jätekysymyksiin sekä nikkel- ja kromipäästöjen vähentämiseen.

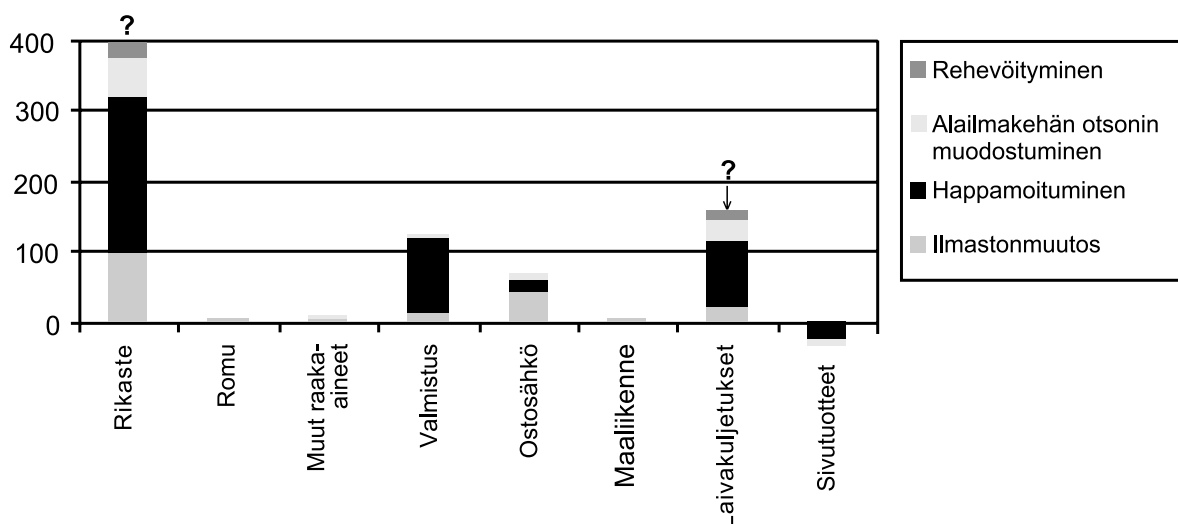
Taulukko 19. Ruostumattomien teräsnauhojen tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna. Suluissa esitetyt vaikutuspisteet kuvaavat mallin tulosta, jossa rikkidioksidin ja typhen oksidien laskennasta on poistettu suorien kasvillisuusvaikutuksien aiheuttamat vaikutukset.

Päästö- muuttuja	Vaikutuspiste							Yhteensä
	Ferrokromi ja -nikkeli	Romu	Muut raaka- aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu- tuotteet	
CO <sub>2</sub>	9071	668	8490	8141	3336	615	0	30321
N <sub>2</sub> O	213	9	42	0	104	3	0	371
CH <sub>4</sub>	24	2	-88	0	14	1	0	-48
SO <sub>2</sub>	13243 (3436)	117 (30)	36116 (9372)	1843 (478)	4432 (1150)	3121 (810)	0	58872 (15277)
NH <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>x</sub>	9533 (4454)	3173 (1482)	23010 (10751)	6762 (3160)	2812 (1314)	5776 (2699)	0	51066 (23860)
HCl	1	0	43	0	0	0	0	45
CO	263	17	212	0	3	8	0	503
NM VOC	1612	31	207	0	378	20	0	2248
Ni(A)	934	0	2808	10140	21	0	0	13903
Cr(A)	2367	0	3	12496	7	0	0	14872
Pb(A)	0	0	6	212	0	0	0	219
Zn(A)	145	0	5	3084	1	0	0	3235
N(W)	460	0	25	1224	18	0	0	1727
P(W)	129	0	6	0	7	0	0	141
Öljy(W)	-49	20	848	118	86	77	0	1098
Ni(W)	2047	0	36905	13031	0	0	0	51983
Cr(W)	977	0	0	2601	0	0	0	3577
Zn(W)	2541	0	230	67	0	0	0	2839
Syanidi(W)	2373	0	50	40	0	0	0	2464
Yhteensä	45884 (30996)	4037 (2259)	108918 (69908)	59759 (54790)	11219 (6438)	9620 (4229)	0	239437 (168619)

## 5.6 Muokatut kuparituotteet

Muokatuille kuparituotteille tehdyt vaikutusarviointilaskelmat kuvaavat vuoden 1997 anodikuparituotannon ja muokattujen kuparituotteiden tuotannon yhteisvaikutuksia.

Kuvassa 21 ja taulukossa 20 on esitetty valtakunnallisen arviointimallin tulokset muokatuille kuparituotteille. Rikastevaihe vaikuttaa eniten happamoitumiseen. Kokonaisuudessaan rikkidioksidi näyttäisi olevan merkittävin yksittäinen päästötekijä haittojen aiheuttajana, kun tarkasteltavana ovat ko. neljä vaikutusluokkaa.



Kuva 21. Muokattujen kuparituotteiden tuotannon aiheuttamat vaikutuspisteet vuonna 1997 valtakunnallisella mallilla laskettuna (? = tulokseen liittyy erittäin suurta epävarmuutta, nuoli alas = vaikutuspisteet todennäköisesti liian suuret).

Taulukko 20. Muokattujen kuparituotteiden tuotannon ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästömuuttujien vaikutuspisteet vuonna 1997.

Vaikutusluokka	Päästömuuttuja	Vaikutuspiste / 1000 tonnia kuparituotetta								Yhteensä
		Rikaste	Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Maaliikennekuljetukset	Laivakuljetukset	Sivutuotteet	
Ilmastonmuutos	CO <sub>2</sub>	94,290	0,299	2,168	11,698	39,286	1,163	20,490	4,385	173,780
	N <sub>2</sub> O	0,000	0,004	0,024	0,000	1,056	0,000	0,000	-0,410	0,675
	CH <sub>4</sub>	0,652	0,001	0,007	0,000	0,140	0,000	0,000	-7,676	-6,876
Happamoituminen	SO <sub>2</sub>	161,624	0,010	0,684	103,917	11,795	0,806	56,438	-20,104	315,171
	NO <sub>x</sub>	60,894	0,199	1,074	2,077	4,714	0,538	36,431	-2,528	103,399
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	HCl	2,074	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,075
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO <sub>x</sub>	49,929	0,164	0,881	1,703	3,865	1,077	29,871	-2,073	85,417
	NM VOC	1,560	0,013	0,238	0,029	3,419	0,014	0,374	-10,724	-5,075
	CO	0,803	0,007	0,051	0,563	0,028	0,003	0,061	3,862	5,377
	CH <sub>4</sub>	0,008	0,000	0,000	0,000	0,369	0,000	0,000	-0,098	0,279
Rehevöityminen	NO <sub>x</sub>	20,702	0,068	0,365	0,706	1,603	0,451	12,385	-0,860	35,421
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N(W)	0,775	0,000	0,135	0,000	0,655	0,001	0,000	-0,005	1,562
	P(W)	0,000	0,000	0,010	0,000	0,095	0,000	0,000	0,000	0,105
Yhteensä		393,312	0,765	5,640	120,693	67,026	4,054	156,050	-36,232	711,308

Muokattujen kuparituotteiden happamoittavat päästöt ovat käytännössä rikkidioksidi ja typen oksidit (taulukko 20). Muokattujen kuparituotteiden rikaste valmistetaan pääosin Etelä-Euroopassa ja Etelä-Amerikassa, joissa happamoittavat päästöt aiheuttavat erilaisen vasteen kuin Pohjois-Euroopassa. Eri elinkaarivaiheiden happamoittavien päästöjen karakterisoinnissa on kuitenkin käytetty kertoimia, jotka kuvaavat Suomesta lähtöisin olevien päästöjen happamoittavaa potentiaalia. Laskelmissa on käytetty EMEP-mallin laskeumatuloksia, joissa noin puolet rikkidioksidin (48 %) ja typen oksidien (51 %) päästömäärästä päätyy meriympäristöön (Barrett ym. 1995). Tällä määrällä ei siis ole happamoittavaa vaikutusta. Lisäksi

kertoimissa on otettu huomioon Pohjois-Euroopan keskimääräiset maaperäolosuhteet, jonka seurauksena typpiyhdisteiden happamoittava potentiaali ei todennäköisesti toteudu samalla tavalla kuin rikkidioksidin happamoittava potentiaali (Grennfelt ym. 1994). Tämän takia mallissa on vähennetty typen oksidien teoreettista happamoittavaa potentiaalia 40 %:lla.

Muuttamalla rikasteen valmistusvaiheen rikkidioksidin ja typen oksidien karakterisointikertoimien lähtöoletuksia voidaan haarukoida rikastevaiheen happamoittavien päästöjen määrää suhteessa muihin elinkaarivaiheisiin. Esimerkiksi olettamalla, että meriin päätyvä päästöosuus on samaa suuruusluokkaa kuin alkuperäisessä mallissa ja typen oksidit aiheuttavat koko happamoittavalla potentiaalillaan vaikutuksia, saadaan samankaltainen tulos kuin kuvassa 21 on esitetty.

Vastaavasti laivakuljetusvaiheen vaikutuspisteiden laskentaperusteet kuvassa 21 ovat epävarmat, koska kuljetuksen päästöt syntyvät enimmäkseen valtamerikuljetusten seurauksena. Esimerkiksi olettamalla, että meriin päätyvä kuljetusten päästöosuus on kaksi kertaa suurempi kuin alkuperäisen mallin päästöosuus ja typen oksidit aiheuttavat koko happamoittavalla potentiaalillaan vaikutuksia, saadaan merikuljetuksen vaikutuspisteet, jotka ovat noin puolet kuvan 21 osoittamista laivakuljetusten vaikutuspisteistä.

Alailmakehän otsonin muodostumisessa typen oksidit ovat määrävässä asemassa (taulukko 20). Mallin kertoimet on säädetty vastaamaan Suomen olosuhteita, joissa typen oksideilla on selvästi tärkein merkitys otsonin muodostumisessa. Tilanne on erilainen esimerkiksi Etelä- ja Keski-Euroopassa, jossa haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC) ovat tärkeimmässä roolissa alailmakehän otsonin muodostajina. Rikasteen valmistuksen ja kuljetusten laskelmat antavat tämän takia käytännössä väärän näkemyksen. Typen oksidit saavat liian suuren vaikutuspistemäärän rikasteen valmistuksessa ja kuljetuksissa. Koska rikasteen valmistuksen ja kuljetusten NMVOC-päästöt ovat kuitenkin suhteellisen vähäiset, ei niiden merkityksen kasvattaminen otsonin muodostumisessa johda todennäköisesti ko. elinkaarivaiheiden kokonaispölyväiden kasvamiseen. Typen oksidien merkityksen selvä pieneneminen otsonin muodostajana päinvastoin vähentää reilusti rikasteen valmistuksen ja kuljetuksen kokonaispotentiaalia alailmakehän otsonin muodostajina.

Muokattujen kuparituotteiden rehevöittävät päästöt eivät näyttele merkittävää roolia tuotejärjestelmän aiheuttamissa ympäristövaikutuksissa. Tämä näkyy hyvin kuvasta 21, jossa on laskettu eri vaikutusluokkien merkitys elinkaarivaiheiden kokonaisvaikutuspisteistä.

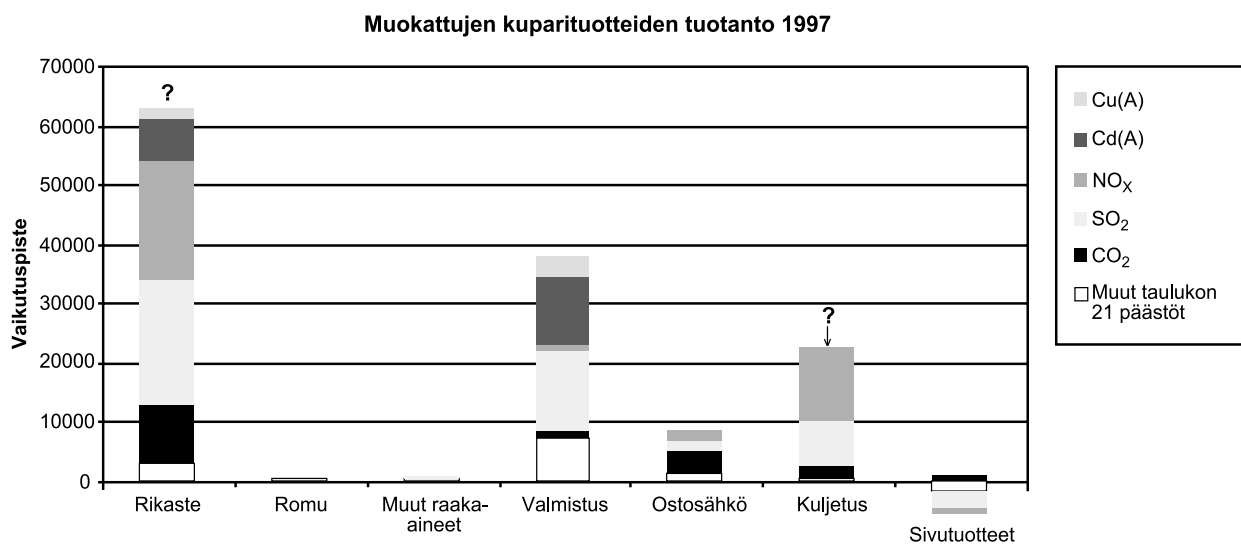
Kokonaisarviointimallin perusteella merkittävimmät vaikutukset aiheutuvat edelleen rikastusvaiheesta (kuva 22). Se aiheuttaa yksin 50 % koko tuotejärjestelmän vaikutuspisteistä, kun tarkastelussa ovat mukana vain taulukon 21 päästökijät.

Kokonaisarviointimallin ilman menevän kadmiumin suuri vaikutuspistemäärä johtuu kadmiumille käytetystä suuresta vaikutuskerroin-arvosta, joka poikkeaa selvästi mallin oletusarvosta (ks. luku 3.3.3, liitteet 3 ja 6). Tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja alueellisen ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan arvottamisen kautta saatu kadmiumin suuri lukuarvo suhteessa muihin metalleihin perustuu kadmiumille annettuun suureen painoarvoon ekotoksisuusvaikutuksessa, koska lähialueen viljanjyvistä on mittauksin todettu terveysraja-arvoja ylittäviä pitoisuuksia. Kadmiumin vaikutuspisteisiin liittyy siten selvää subjektiivisuutta, minkä takia ne saattavat olla useita kertoja liian suuret suhteessa muiden metallien vaikutuspisteisiin. Asiaa on käsitelty lähemmin luvussa 5.10.

Taulukon 21 päästötekijöiden lisäksi toiminta aiheuttaa muita kuormitustekijöitä, joiden vaikutuspisteet on pystytty arvioimaan vain valmistusvaiheessa. Nämä kuormitustekijät aiheuttavat tehdyn arvottamisen tulosten perusteella yli kaksi kertaa enemmän vaikutuspisteitä kuin valmistusvaihe taulukossa 21. Tarkkaa arviointia ei ole pystytty tekemään, koska anodikuparin sekä nikkelikatodin ja -brikitin osuuksia näissä kuormitustekijöissä ei ole pystytty erottelemaan toisistaan. Taulukossa 22 on eritelty näiden kuormitustekijöiden vaikutuspisteet, jotka ovat siis vertailukelpoisia taulukossa 21 esitettyjen vaikutuspisteiden kanssa.

Kokonaisarviointimallin antama kokonaiskuva (kuva 22) eroaa jonkin verran valtakunnallisen arviointimallin antamasta kokonaiskuvasta (kuva 21). Ero johtuu etenkin kokonaisarviointimalliin sisällytetyistä metallipäästöistä. Metallipäästöt syntyvät pääasiassa valmistusvaiheessa (ks. liite 5), minkä takia valmistusvaiheen kokonaisvaikutuspisteet nousevat korkealle kokonaisarviointimallissa.

Kokonaisarviointimallin perusteella merkittävimmät päästötekijät ovat rikkioksidit, typen oksidit, kadmium (ilmaan) ja hiilidioksidi (taulukko 21). Valmistuksen jätekysymykset, melu ja pilaantuneet maa- ja pohjavesialueet saivat myös korkeat vaikutuspisteet.



Kuva 22. Muokattujen kuparituotteiden tuotannon kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna (? = tulokseen liittyy erittäin suurta epävarmuutta, nuoli alas = vaikutuspisteet todennäköisesti liian suuret).



Taulukko 21. Muokattujen kuparituotteiden kuormitustekijöiden kokonaisvaikutukset ympäristöön vuonna 1997 kokonais-arviointimallilla laskettuna.

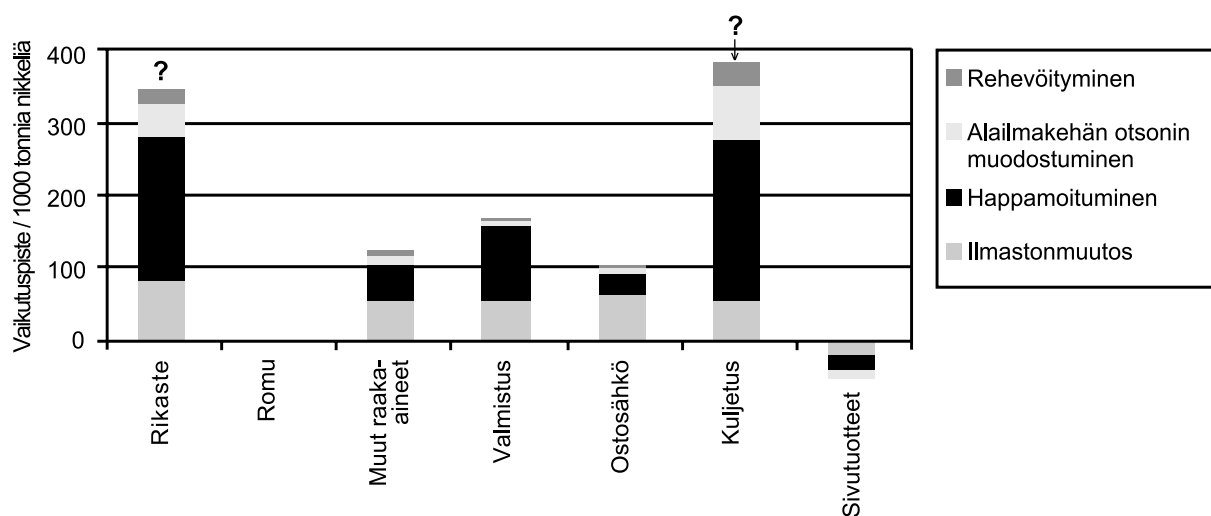
Päästö- muuttuja	Kokonaisvaikutuspisteet							Yhteensä
	Rikaste	Romu	Muut raaka- aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu- tuotteet	
CO <sub>2</sub>	9646	31	222	1197	4019	2214	449	17777
N <sub>2</sub> O	0	0	2	0	108	1	-42	70
CH <sub>4</sub>	69	0	1	0	15	0	-816	-731
SO <sub>2</sub>	21638	1	92	13913	1579	7567	-2692	42098
NH <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>x</sub>	19801	65	349	675	1533	12256	-822	33857
HCl	215	0	0	0	0	0	0	215
CO	87	1	5	61	3	9	416	581
NMVOC	168	1	26	3	369	45	-1156	-544
Trikloori- etyyleeni	0	0	0	1239	0	0	0	1239
As(A)	100	0	0	1008	4	0	0	1112
Cd(A)	7298	0	0	11649	48	0	0	18996
Cu(A)	1516	0	0	3267	0	0	0	4783
Hg(A)	0	0	0	1	1	0	0	2
Ni(A)	826	0	0	17	103	0	0	947
Pb(A)	268	0	0	416	3	0	0	688
Zn(A)	0	0	0	315	0	0	0	315
N(W)	398	0	87	0	420	12	-3	915
P(W)	0	0	5	0	49	0	0	54
As(W)	0	0	0	26	0	0	0	26
Cd(W)	0	0	0	129	0	0	0	129
Cu(W)	327	0	0	2193	0	0	0	2519
Hg(W)	0	0	0	34	0	0	0	34
Ni(W)	0	0	0	1012	0	0	0	1012
Pb(W)	91	0	0	12	0	0	0	102
Zn(W)	178	0	0	444	0	0	0	622
Öljy(W)	0	0	24	0	10	24	-509	-452
Yhteensä	62626	100	814	37608	8265	22128	-5175	126366

Taulukko 22. Tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja alueellisen ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan subjektiivisten näkemysten perusteella saadut kuparituotteiden sekä nikkelikatodien ja -brikettien valmistusvaiheen paikallisten kuormitustekijöiden (jotka puuttuvat taulukosta 21) keskimääräiset vaikutuspisteet.

Kuormitustekijät	Vaikutuspisteet		
	Anodikuparin sekä nikkelikatodin ja -briketin valmistus	Anodikuparin jalostus muokatuiksi kuparituotteiksi	Yhteensä
Pöly	4604	0	4604
Muut päästöt	1066	606	1672
Lämpöhukka veteen	556	0	556
Lämpöhukka ilmaan (vesihöyry)	257	0	257
Ongelmajätteet	824	473	1297
Yhdyskuntajätteet	0	26	26
Rikastehiekka	25990	0	25990
Raekuona	18827	0	18827
Rautasakka	6276	0	6276
Kipsisakka	10903	0	10903
Muu prosessijäte	507	482	989
Melu	14635	176	14811
Haju	1809	428	2237
Pilaantuneet maa-alueet tehdasalueella	6084	1171	7255
Pilaantuneet maa-alueet ympäristössä	13566	0	13566
Pilaantuneet pohjavedet ympäristössä	12579	0	12579
<b>Yhteensä</b>	<b>118484</b>	<b>3362</b>	<b>121846</b>

## 5.7 Nikkelikatodit ja -briketit

Nikkelille tehdyt vaikutusarviointilaskelmat kuvaavat vuoden 1997 nikkelikatodien ja -brikettien tuotannon yhteisvaikutuksia. Rikasteen valmistus ja kuljetukset ovat eniten ympäristöä kuormittavia elinkaarivaiheita, kun tarkasteltavana ovat valtakunnallisen arviointimallin vaikutusluokat (kuva 23 ja taulukko 23). Näiden elinkaarivaiheiden vaikutusten arviointiin liittyvät kuitenkin samat epävarmuusnäkökohdat kuin muokattujen kuparituotteiden vaikutusarvioinnin yhteydessä (ks. luku 5.6).



Kuva 23. Nikkelin tuotannon aiheuttamat vaikutuspisteet vuonna 1997 valtakunnallisella mallilla laskettuna (? = tulokseen liittyä erittäin suurta epävarmuutta, nuoli alas = vaikutuspisteet todennäköisesti liian suuret).

Taulukko 23. Nikkelin tuotannon ilmastomuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästömuuttujien vaikutuspisteet vuonna 1997.

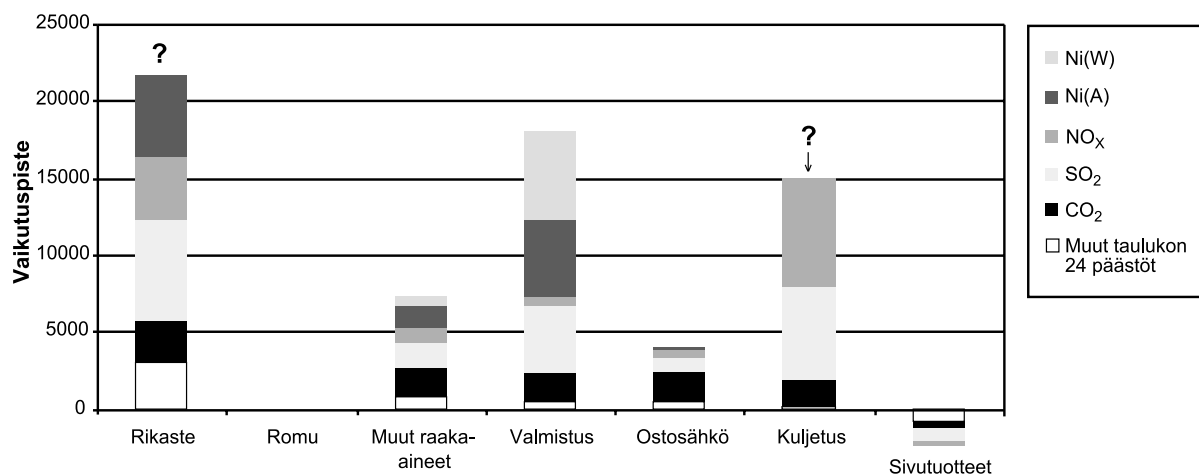
Vaikutusluokka	Päästömuuttuja	Vaikutuspiste / 1000 tonnia nikkelikatodia ja -brikettejä							Yhteensä
		Rikaste	Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetukset	Sivu-tuotteet	
Ilmastomuutos	CO <sub>2</sub>	81,846	0,018	52,854	52,948	58,615	52,133	-12,103	286,310
	N <sub>2</sub> O	0,000	0,000	0,268	0,000	1,654	0,040	-0,482	1,480
	CH <sub>4</sub>	0,566	0,000	0,099	0,000	0,224	0,008	-9,021	-8,124
Happamoituminen	SO <sub>2</sub>	140,293	0,001	36,028	93,403	19,165	132,936	-18,650	403,175
	NO <sub>x</sub>	52,857	0,012	12,413	9,180	7,293	89,523	-2,708	168,571
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	HCl	1,800	0,000	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	2,057
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO <sub>x</sub>	43,340	0,010	10,178	7,527	5,980	73,403	-2,220	138,218
	NMVOG	1,354	0,001	2,761	0,000	5,476	1,005	-12,595	-1,997
	CO	0,697	0,000	0,617	0,000	0,044	0,210	4,540	6,108
	CH <sub>4</sub>	0,007	0,000	0,001	0,000	0,590	0,000	-0,115	0,484
Rehevöityminen	NO <sub>x</sub>	17,970	0,004	4,220	3,121	2,479	30,435	-0,920	57,308
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N(W)	0,673	0,000	3,547	0,000	0,840	0,056	-2,083	3,033
	P(W)	0,000	0,000	0,142	0,000	0,115	0,000	0,000	0,257
Yhteensä		341,403	0,045	123,386	166,179	102,475	379,749	-56,356	1056,880

Kokonaisarviointimallin laskelmat muuttavat kokonaiskuvaa elinkaarivaiheiden vaikutusprofiilista siten, että valmistusvaiheen merkitys kasvaa vaikutusten aiheuttajana (kuva 24 ja taulukko 24). Erityisesti nikkeli-päästöt veteen ja ilmaan nostavat valmistusvaiheen vaikutuspisteitä.

Nikkelin valmistusvaiheen muiden kuin taulukossa 24 esitettyjen kuormitustekijöiden vaikutusarviointi liittyi anodikuparin vastaavien tekijöiden arviointiin. Työssä ei ole pystytty jakamaan paikallisten kuormitustekijöiden vaikutuspisteitä nikkelille ja kuparille erikseen. Taulukosta 22 nähdään, että näillä paikallisilla tekijöillä on tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan keskimääräisten näkemysten perusteella suuri merkitys. Valmistuksen jättekysymykset, melu ja pilaantuneet maa- ja pohjavesialueet erottautuivat selvästi korkeine vaikutuspisteineen.

Kokonaisvaikutusmallin perusteella merkittävimmät päästötekijät ovat valmistusvaiheen nikkeli-päästöt ja eri elinkaarivaiheisiin liittyvät happamoittavat rikkidioksidin ja typen oksidien päästöt.

Nikkelikatodien ja -brikettien tuotanto vuonna 1997



Kuva 24. Nikkelin tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna (? = tulokseen liittyy erittäin suurta epävarmuutta, nuoli alas = vaikutuspisteet todennäköisesti liian suuret).

Taulukko 24. Nikkelin tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön vuonna 1997 kokonaisarviointimallilla laskettuna.

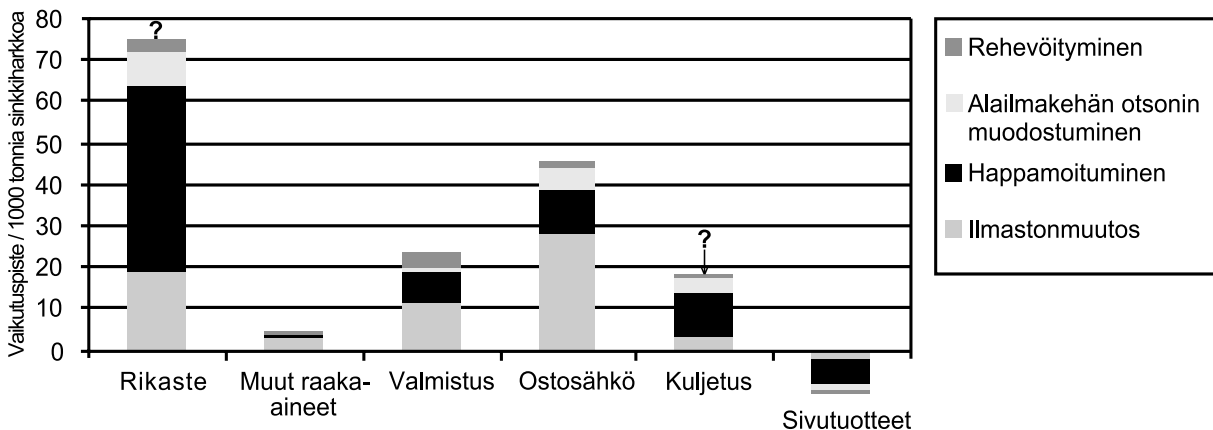
Kuormitus- tekijät	Kokonaisvaikutuspisteet							Yhteensä
	Rikaste	Romu	Muut raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet	
CO <sub>2</sub>	2841	1	1835	1838	2035	1810	-420	9938
N <sub>2</sub> O	0	0	11	0	66	2	-19	59
CH <sub>4</sub>	20	0	3	0	8	0	-317	-285
SO <sub>x</sub>	6444	0	1655	4290	880	6106	-857	18518
NH <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>x</sub>	4117	1	967	715	568	6972	-211	13128
HCl	65	0	9	0	0	0	0	74
CO	25	0	23	0	2	8	166	223
NMVOOC	50	0	101	0	200	37	-461	-73
Trikloorietyleeni	0	0	0	0	0	0	0	0
As(A)	30	0	14	72	2	0	0	117
Cd(A)	2149	0	335	288	24	0	0	2797
Cu(A)	20	0	7	34	0	0	0	61
Hg(A)	0	0	0	0	1	0	0	1
Ni(A)	5354	0	1411	4932	23	0	0	11720
Pb(A)	82	0	12	3	1	0	0	98
Zn(A)	0	0	0	3	0	0	0	4
N(W)	23	0	151	0	36	2	-71	141
P(W)	0	0	5	0	4	0	0	9
As(W)	0	0	0	2	0	0	0	2
Cd(W)	0	0	0	3	0	0	0	4
Cu(W)	417	0	63	41	0	0	0	522
Hg(W)	0	0	0	0	5	0	0	5
Ni(W)	0	0	684	5760	0	0	0	6444
Pb(W)	27	0	4	0	0	0	0	30
Zn(W)	0	0	0	1	0	0	0	2
Öljy(W)	0	0	14	0	6	20	-201	-161
<b>Yhteensä</b>	<b>21662</b>	<b>2</b>	<b>7304</b>	<b>17984</b>	<b>3861</b>	<b>14955</b>	<b>-2390</b>	<b>63378</b>

## 5.8 Sinkkiharkot

Sinkkiharkon vaikutusarviointilaskelmat koskevat vuoden 1997 kuormitustekijöitä. Valtakunnallisen arviointimallin tulosten perusteella rikasteen valmistus on selvästi suurin ympäristövaikutuksia aiheuttava elinkaarivaihe (kuva 25 ja taulukko 25). Myös ostosähkön kokonaisvaikutus on huomattava. Rikasteen valmistuksen ja kuljetusten vaikutuspisteisiin sisältyy kuitenkin suurta epävarmuutta, koska mallissa käytetyt vaikutuskertoimet happamoittaville ja alailmakehän otsonia aiheuttaville päästöille vastaavat Pohjois-Euroopan olosuhteita. Asiaa on käsitelty muokattujen kuparituotteiden vaikutusarvioinnin yhteydessä (luku 5.6).

Kokonaisarviointimallin laskelmat nostavat valmistusvaiheen vaikutuspisteet toiseksi suurimmaksi (kuva 26). Valmistusvaiheen sinkki-, arseeni- ja kadmiumpäästöjen vaikutuspisteet ovat selvästi yli puolet koko valmistusvaiheen vaikutuspisteistä, kun tarkasteltavana ovat taulukossa 26 esitetyt kuormitustekijät.

Tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan subjektiivisten näkemysten perusteella arvioitiin myös valmistusvaiheen paikallisten kuormitustekijöiden vaikutuspisteet. Näiden yhteenlaskettu vaikutuspistemäärä on noin puolet taulukossa 26 esitettyjen valmistusvaiheen päästöjen yhteenlasketusta vaikutuspistemäärästä. Paikalliset kuormitustekijät olivat käytännössä jätteitä, joista erottuivat selvästi jarosiitti (3 621 vaikutuspistettä) ja rikkirikasteet (1 916 vaikutuspistettä).

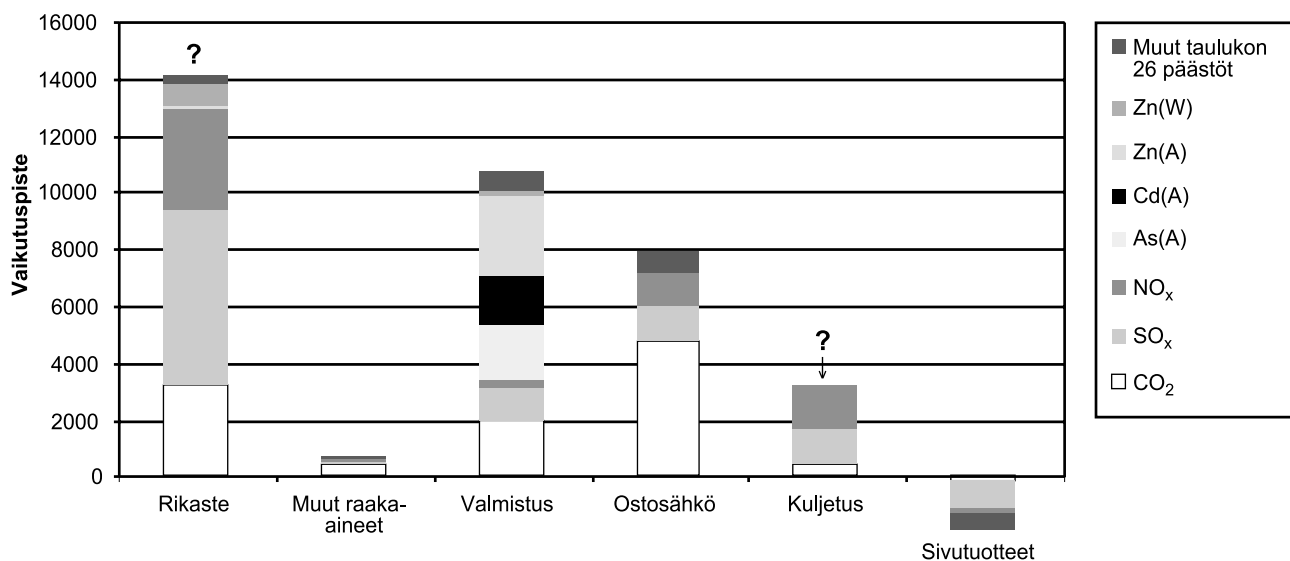


Kuva 25. Sinkkiharkon tuotannon aiheuttamat vaikutuspisteet vuonna 1997 valtakunnallisella mallilla laskettuna (? = tulokseen liittyy erittäin suurta epävarmuutta, nuoli alas = vaikutuspisteet todennäköisesti liian suuret).

Taulukko 25. Sinkkiharkon tuotannon ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästömuuttujien vaikutuspisteet vuonna 1997.

Vaikutusluokka	Päästö- muuttuja	Vaikutuspiste / 1000 tonnia sinkkiharkkoa						Yhteensä
		Rikaste	Muut raaka- aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetukset	Sivu- tuotteet	
Ilmastonmuutos	CO <sub>2</sub>	18,576	2,475	11,248	26,929	2,560	-0,988	60,801
	N <sub>2</sub> O	0,000	0,029	0,000	0,841	0,001	-0,082	0,787
	CH <sub>4</sub>	0,253	0,021	0,000	0,114	0,000	-1,538	-1,149
Happamoitu- minen	SO <sub>2</sub>	35,194	0,480	6,440	7,106	6,823	-5,419	50,624
	NO <sub>x</sub>	9,224	0,384	0,803	3,190	4,060	-0,567	17,094
	NH <sub>3</sub>	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
	HCl	0,167	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,168
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO <sub>x</sub>	7,563	0,315	0,658	2,616	3,329	-0,465	14,016
	NMVOOC	0,319	0,088	0,000	2,780	0,003	-2,148	1,042
	CO	0,141	0,009	0,000	0,021	0,015	0,774	0,960
Rehevöityminen	CH <sub>4</sub>	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,020	-0,014
	NO <sub>x</sub>	3,136	0,131	0,273	1,084	1,380	-0,193	5,811
	NH <sub>3</sub>	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
	N(W)	0,081	0,102	3,436	0,251	0,000	0,000	3,869
	P(W)	0,000	0,005	0,000	0,029	0,000	0,000	0,034
Yhteensä		74,669	4,039	22,859	44,962	18,170	-10,645	154,054

Sinkkiharkon tuotanto vuonna 1997



Kuva 26. Sinkkiharkon tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna (? = tulokseen liittyy erittäin suurta epävarmuutta, nuoli alas = vaikutuspisteet todennäköisesti liian suuret).

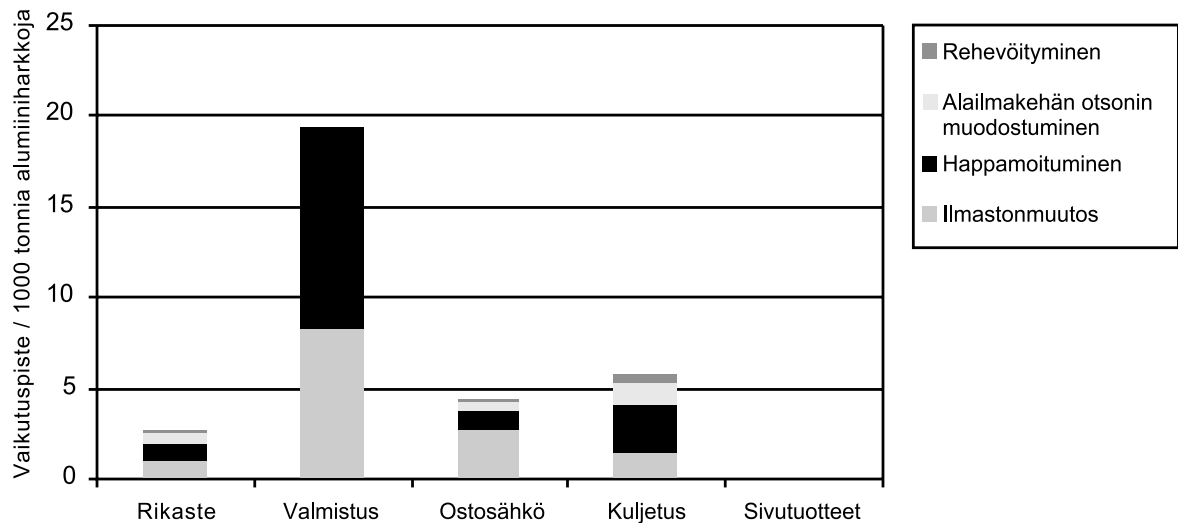
Taulukko 26. Sinkkiharkon tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön vuonna 1997 kokonaisarviointimallilla laskettuna.

Päästömuuttuja	Kokonaisvaikutuspiste						Yhteensä
	Rikaste	Muut raaka- aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivu- tuotteet	
CO <sub>2</sub>	3251	433	1968	4713	448	-173	10640
N <sub>2</sub> O	0	5	0	147	0	-14	138
CH <sub>4</sub>	45	4	0	20	0	-272	-204
SO <sub>x</sub>	6159	84	1127	1244	1194	-948	8859
NH <sub>3</sub>	2	0	0	0	0	0	2
NO <sub>x</sub>	3487	145	303	1206	1535	-214	6461
HCl	29	0	0	0	0	0	29
CO	25	2	0	4	3	135	168
NMVOG	56	15	0	486	1	-376	182
As(A)	0	0	1962	10	0	0	1972
Cd(A)	0	0	1701	18	0	0	1719
Cr(A)	0	0	0	0	0	0	0
Cu(A)	0	0	0	0	0	0	0
Hg(A)	0	0	196	44	0	0	240
Ni(A)	0	0	0	0	0	0	0
Pb(A)	122	0	22	0	0	0	145
V(A)	0	0	0	0	0	0	0
Zn(A)	105	0	2767	0	0	0	2873
As(W)	0	0	3	0	0	0	3
Cd(W)	0	0	112	0	0	0	112
Cu(W)	0	0	0	0	0	0	0
Hg(W)	0	0	324	0	0	0	324
Pb(W)	0	0	0	0	0	0	0
Zn(W)	809	0	195	0	0	0	1004
N(W)	2	2	76	7	0	0	87
P(W)	0	1	0	5	0	0	6
Yhteensä	14092	692	10757	7903	3180	-1863	34761

## 5.9 Alumiiniharkot

Alumiiniharkon vaikutusarviointilaskelmat kuvaavat vuoden 1997 kuormitustekijöiden vaikutuksia. Valmistusvaihe on merkittävin ympäristövaikutuksia aiheuttava elinkaarivaihe sekä valtakunnallisen että kokonaisarviointimallin laskelmien perusteella (kuvat 27 ja 28, taulukot 27 ja 28).

Alumiiniharkon tuotannon vaikutuspisteet ovat pienet sekä tuoteyksikköä kohti laskettuna (kuva 27 ja taulukko 27) että absoluuttisina vaikutuspistemäärinä (kuva 28 ja taulukko 28). Vaikutuspisteiden pienuus johtuu siitä, että tuotanto on pienimuotoista ja romupohjaista. Todettakoon, että elinkaarivaiheessa "kuljetus" on mukana sekä raaka-aineiden että alumiiniromun kuljetukset.



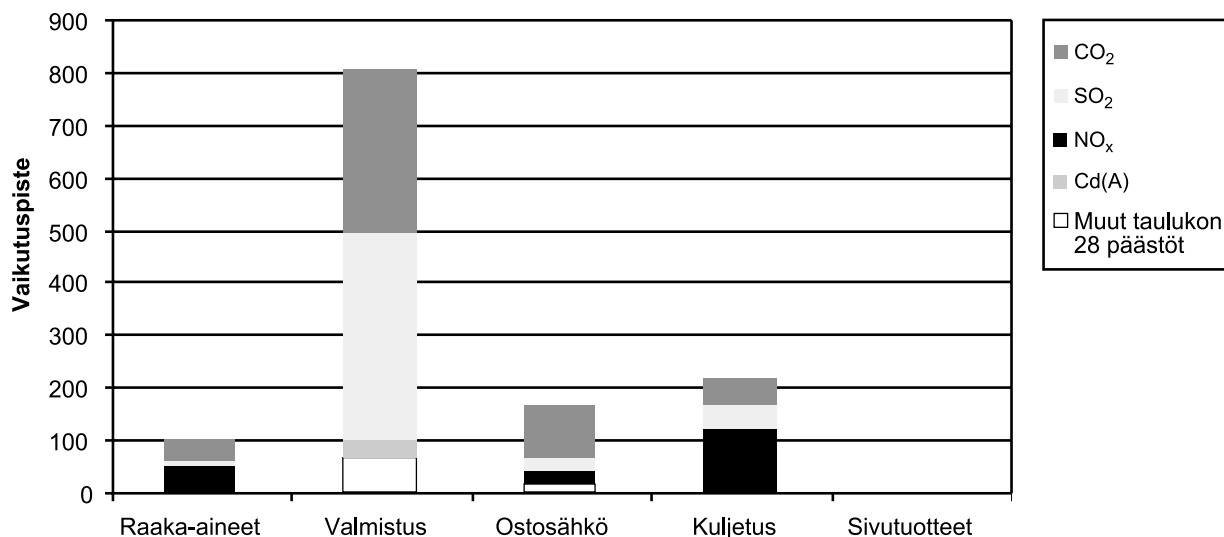
Kuva 27. Alumiiniharkkojen tuotannon aiheuttamat vaikutuspisteet vuonna 1997 valtakunnallisella mallilla laskettuna.

Taulukko 27. Alumiiniharkon tuotannon ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien päästömuuttujien vaikutuspisteet vuonna 1997.

Vaikutusluokka	Päästömuuttuja	Vaikutuspiste / 1000 tonnia alumiiniharkkoa					Yhteensä
		Raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet	
Ilmastonmuutos	CO <sub>2</sub>	1,000	8,177	2,563	1,361	0,000	13,101
	N <sub>2</sub> O	0,000	0,000	0,080	0,013	0,000	0,093
	CH <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,011	0,002	0,000	0,013
Happamoituminen	SO <sub>2</sub>	0,274	10,126	0,676	1,222	0,000	12,298
	NO <sub>x</sub>	0,613	0,000	0,304	1,427	0,000	2,343
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	HCl	0,000	1,038	0,000	0,000	0,000	1,038
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO <sub>x</sub>	0,502	0,000	0,249	1,170	0,000	1,921
	NM VOC	0,022	0,000	0,265	0,029	0,000	0,315
	CO	0,009	0,000	0,002	0,019	0,000	0,031
	CH <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,007
Rehevöityminen	NO <sub>x</sub>	0,208	0,000	0,103	0,485	0,000	0,796
	NH <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N(W)	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,005
	P(W)	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003
Yhteensä		2,629	19,341	4,259	5,735	0,000	31,965



Alumiiniharkkojen tuotanto vuonna 1997



Kuva 28. Alumiiniharkon tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön kokonaisarviointimallilla laskettuna.

Tehtaan ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan subjektiivisten näkemysten perusteella arviointiin myös valmistusvaiheen paikallisten kuormitustekijöiden vaikutuspisteet. Näiden yhteenlaskettu vaikutuspistemäärä oli noin kaksi kertaa niin suuri kuin taulukossa 28 esitettyjen päästöjen yhteenlaskettu vaikutuspistemäärä. Pisteet eivät ole kuitenkaan vertailukelpoisia, sillä alumiiniharkkojen valmistus on osa monimetallituotetehtaan tuotantoa eikä näiden paikallisten tekijöiden pisteitä ole pystytty jakamaan alumiiniharkolle. Lisäksi ainoan merkittävän vaikutuspistemäärän saanut tekijä oli ”romusta jäävät jätejakeet”, jonka vaikutuspistemäärä muodostui luonnonvaran ehtymisnäkökulmasta. Taustalla oli siis tehostamistarve sille, että romuista pystyttäisiin entistä tehokkaammin erottamaan arvometallit. Edellytyksenä tälle on muun muassa se, että tämä näkökohta otetaan huomioon jo tuotteiden suunnitteluvaiheessa.

Taulukko 28. Alumiiniharkon tuotannon aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutukset ympäristöön vuonna 1997 kokonaisarviointimallilla laskettuna.

Päästömuuttuja	Kokonaisvaikutuspiste					Yhteensä
	Raaka-aineet	Valmistus	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet	
CO <sub>2</sub>	38	313	98	52	0	501
N <sub>2</sub> O	0	0	3	0	0	4
CH <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	1
SO <sub>2</sub>	10	388	26	47	0	472
NO <sub>x</sub>	50	0	25	117	0	191
CO	0	0	0	1	0	1
NMVOC	1	0	10	1	0	12
As(A)	0	11	0	0	0	12
Cd(A)	0	36	2	0	0	38
Pb(A)	0	23	0	0	0	23
Zn(A)	0	33	0	0	0	33
N(W)	0	0	0	0	0	0
P(W)	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>100</b>	<b>804</b>	<b>165</b>	<b>218</b>	<b>0</b>	<b>1287</b>

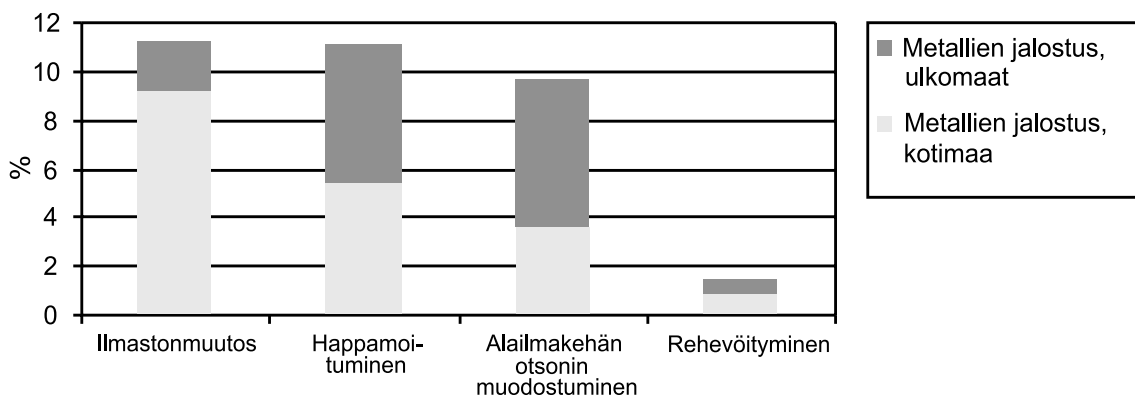
## 5.10 Tulosten suuruusluokasta ja luotettavuudesta

Vaikutusarvioinnin tuloksena saatujen vaikutuspisteiden arvoskaala on vapaasti valittavissa. Metallijalosteiden vaikutuspisteiden suuruusluokka muuttuu ymmärrettäväksi vasta, kun niitä verrataan jonkin tunnetun kohteen vaikutuspisteisiin.

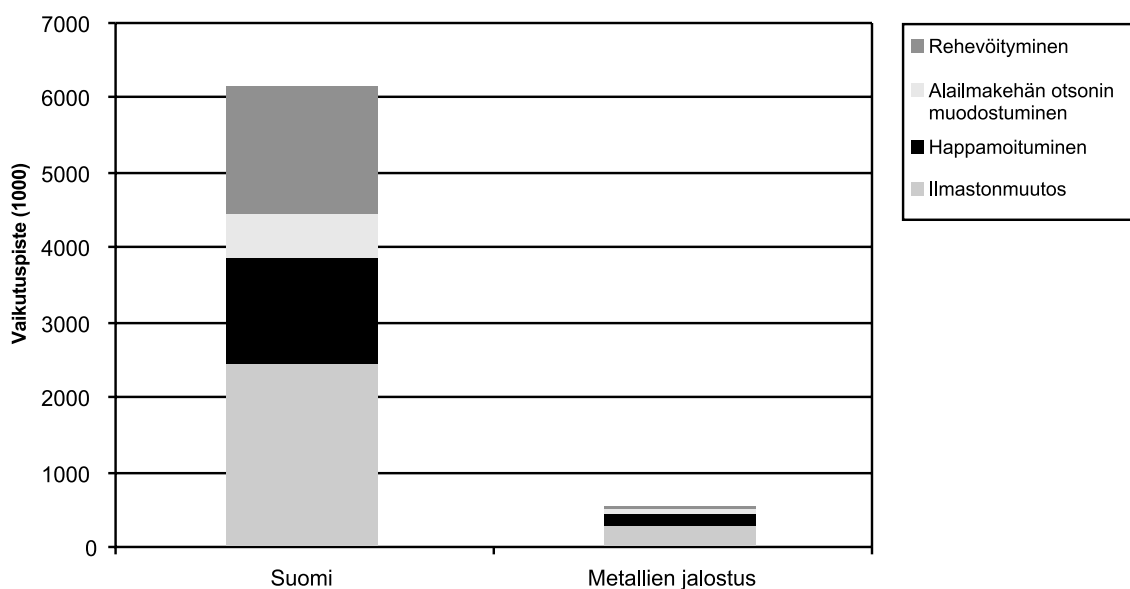
Metallien jalostuksen aiheuttamia ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen vaikutuspisteitä on seuraavassa verrattu Suomen kokonaispäästöjen aiheuttamiin vastaavien vaikutusluokkien vaikutuspisteisiin. Ko. vaikutusluokkien laskentaperusteet ovat metallien jalostuksen ja Suomen päästöjen tapauksissa samat ja siten niiden vaikutuspisteet ovat keskenään vertailukelpoisia. Tosin metallien jalostuksen vaikutuspisteet sisältävät myös ulkomaatoimintojen päästöjen vaikutukset, joiden esittämiseen samassa vaikutuspistekehikossa Suomen päästöjen kanssa liittyy omat arviotekniset vaikeutensa (ks. luvut 5.1, 5.7 ja 5.8). Tästä huolimatta metallien jalostuksen vaikutuspisteiden vertaaminen Suomen kokonaispäästöjen vaikutuspisteiden kanssa antaa karkean kuvan vaikutuspisteiden suuruusluokasta sekä käsityksen ko. teollisuusalan vaikutusten merkityksestä ympäristövaikutusten aiheuttajana.

Suomen metallien jalostus aiheuttaa ilmastonmuutokseen, happamoitumiseen ja alailmakehän otsonin muodostumiseen vasteen, joka on noin 10 prosenttia siitä mitä Suomen päästöt aiheuttavat. Sen sijaan rehevöitymisen vaste on huomattavasti vähäisempi, ainoastaan 1,5 prosenttia siitä vasteesta, jonka Suomen rehevöittävät päästöt aiheuttavat (kuva 29). Kun nämä vaikutusluokkakohittaiset suhdeluvut kerrotaan luvussa 3.3.3 esitetyillä ko. vaikutusluokkien painokertoimilla ja skaalausvakiolla, saadaan metallien jalostuksen aiheuttamat kokonaisvaikutuspisteet kussakin vaikutusluokassa. Luvut ovat eri vaikutusluokkien kesken vertailukelpoisia ja vastaavat luvuissa 5.2–5.9 esitetyjä vaikutuspisteitä. Kaikkien Suomen päästöjen aiheuttama yhteenlaskettu vaste näissä neljässä vaikutusluokassa on 6,16 miljoonaa vaikutuspistettä. Suomen metallien jalostuksen aiheuttama vastaava vaikutuspistemäärä on runsaat 8 % eli 511 000 vaikutuspistettä kaikki elinkaarivaiheet mukaan lukien. Metallien jalostuksen aiheuttamat vaikutuspisteet jakautuvat eri vaikutusluokkien kesken seuraavasti: ilmastonmuutos 271 000 pistettä, happamoituminen 156 000 pistettä, alailmakehän otsonin muodostuminen 58 000 pistettä ja rehevöityminen 25 000 pistettä (kuva 30).

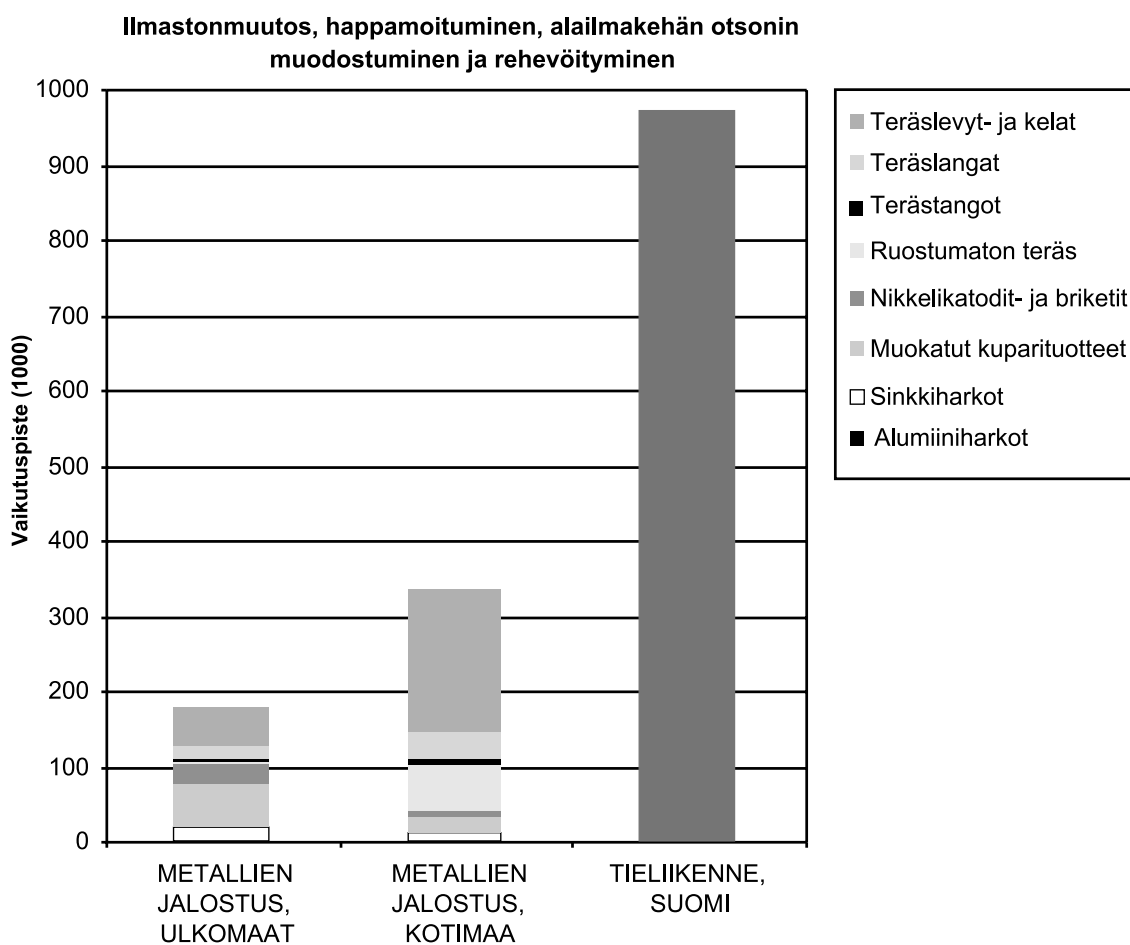
Suomen metallien jalostuksen aiheuttama ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen yhteenlaskettu vaikutuspistemäärä on noin puolet vaikutuspistemäärästä, jonka Suomen maantiliikenne aiheuttaa ko. vaikutusluokkien osalta (kuva 31).



Kuva 29. Suomen metallien jalostusteollisuuden aiheuttamien vaikutusluokkaindikaattoriarvojen osuus (%) ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen indikaattoriarvoista, jotka Suomen kaikki päästöt aiheuttavat.



Kuva 30. Suomen metallien jalostusteollisuuden ja kaikkien Suomen päästöjen aiheuttamat ilmastomuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen vaikutuspisteet.



Kuva 31. Suomen metallien jalostuksen ja tieliikenteen aiheuttamat ilmastomuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen kokonaisvaikutuspisteet.

Edellä esitetyt vaikutuspisteet kuvaavat kokonaisvaikutuksia vain ko. neljän vaikutusluokan osalta. Tieliikenteen ja metallien jalostuksen vertailun lopputulos saattaa muuttua selvästi, jos tarkastelussa olisivat mukana kaikki tieliikenteen ja metallien jalostuksen aiheuttamat vaikutukset. Esimerkiksi tieliikenteen pienhiukkaspäästöjen terveysvaikutukset ja vaikutukset eliöihin sekä monimuotoisuuden vähenemiseen, meluun, maisemaan ja muut maankäyttöön liittyvät haitat puuttuvat vertailusta kokonaan. Vastaavilla vaikutusnäkökohdilla on oma merkityksensä myös metallien jalostuksessa. Lisäksi metallien jalostus aiheuttaa merkittäviä määriä metallipäästöjä, joilla on muun muassa ekotoksisia vaikutuksia. Näiden vaikutusluokkien tietojen liittäminen kokonaisvaikutusarviointiin ei ole kuitenkaan arviointiteknisesti mahdollista.

Metallien jalostuksen metallipäästöjen vaikutusten suuruusluokkaa voidaan haarukoida laskemalla kohdissa 5.2–5.9 esitetyt metallien vaikutuspisteet yhteen ja vertaamalla näin saatua lukua edellä esitettyihin ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen vaikutuspisteisiin. Metallien jalostuksen aiheuttamien metallipäästöjen yhteenlaskettu vaikutuspistemäärä on 148 000, joka on käytännössä sama kuin metallien jalostuksen aiheuttamien happamoittavien päästöjen vaikutuspistemäärä. Tästä ilmaan menevien metallien yhteenlasketut vaikutuspisteet ovat 75 000 pistettä, jotka muodostuvat arviointimallissa ekotoksisuudesta ja terveysvaikutuksista. Veteen menevien metallien yhteenlaskettu vaikutuspistemäärä (73 000) muodostuu pelkästään ekotoksisuudesta.

Metallien vaikutuksille saadaan toisenlainen pistemäärä, kun arviointi tapahtuu ”ylhäältä alaspäin”. Vaikutusluokkien arvottamisessa Suomen päästöjen aiheuttamalle ekotoksisuushaitalle saatiin paino, joka vastaa tässä yhteydessä esitetystä vaikutuspisteyksikössä 1,41 miljoonaa vaikutuspistettä. Metallien jalostuksen metallipäästöjen vaikutuspistemäärä voidaan karkeasti arvioida tähän lukuun nähden, kun laskelmien lähtökohdaksi valitaan metsäteollisuuden elinkaariarvioinnin (Seppälä 1997) yhteydessä saatu toksisuusasiantuntijoiden arviointitulokset Suomen eri päästöryhmien osuudesta ekotoksisuushaittojen aiheuttajana (ilmaan menevät metallit aiheuttavat noin 21 % Suomen ekotoksisuushaitoista, ilmaan menevät orgaaniset yhdisteet 20 % ja veteen menevät haitalliset aineet 59 %) ja liitteessä 3 esitetyt metallien karakterisointikertoimet sekä luvussa 6.2 esitetyt metallien jalostuksen ja Suomen metallipäästöt. Kun lisäksi laskelmissa on oletettu, että veteen menevät metallit aiheuttavat Suomessa 30–40 % veteen joutuvien haitallisten päästöjen aiheuttamasta ekotoksisuushaitasta, saadaan metallien jalostuksen aiheuttamille metallipäästöille suuruusluokaltaan 197 000–254 000 vaikutuspistemäärä. Näin saatu luku on selvästi suurempi kuin edellä esitetty suoraan arviointimallin tuotekohtaisista tuloksista saatu metallien yhteenlaskettu vaikutuspistemäärä. Metallien vaikutuspisteissä saattaa siis esiintyä huomattavia virheitä, mikä on otettava huomioon tuotekohtaisten arviointimallitulosten tulkinnaissa.

Metallien ohella kokonaisarviointimallissa on kuormitustekijöitä (esim. syanidit, öljyt, prosessijätteet, melu), jotka aiheuttavat muita kuin ilmastonmuutokseen, happamoitumiseen, alailmakehän otsonin muodostumiseen ja rehevöitymiseen liittyviä vaikutuksia. Näiden tekijöiden vaikutuspistemäärät ovat puhtaasti kolmen asiantuntijatahon (tehtaan, kunnan ja ympäristökeskuksen ympäristönsuojeluvastaavat) näkemykseen perustuvia arvottamistuloksia. Koska eri tuoteryhmien yhteydessä näitä kolmea tahoa edustivat eri ihmiset, eri tuoteryhmien kuormitustekijöiden kokonaisvaikutuspisteet eivät ole kunnolla vertailukelpoisia keskenään CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, NH<sub>3</sub>-, VOC-, CO-, CH<sub>4</sub>-, N(W)- ja P(W)-päästöjä lukuun ottamatta.

Eri metallijalosteryhmien kokonaisarviointimallien tulosten sitominen hiili-dioksidin vaikutuspisteiden kautta samaan asteikkoon mahdollistaa eri metallijalosteiden vaikutusten karkean vertailun. Yksityiskohtaiseen vertailuun tulokset eivät kuitenkaan sovellu. Eri metallijalosteita arvottaneiden ryhmien keskimääräiset käsityserot ilmastonmuutoksen tärkeydestä vääristävät omalta osaltaan muiden kuin CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, NH<sub>3</sub>-, VOC-, CO-, CH<sub>4</sub>-, N(W)- ja P(W)-päästöjen keskinäisen vertailun ryhmien yli. Näiden muiden keskeisten päästömuuttujien ominaiskertoimia eri metallijalosteiden kokonaisarviointimallien yhteydessä on esitetty liitteessä 6. Erot eri tuoteryhmien välillä ovat suuret. Ne johtuvat paitsi asiantuntijoiden erilaisista mielipiteistä niin myös erilaisista ympäristöolosuhteista, joissa päästöt tapahtuvat. Sama päästö voi aiheuttaa hyvinkin erilaisen vasteen ympäristössä olosuhteista riippuen, mikä on periaatteessa otettu huomioon asiantuntija-arvioissa.

# 6

## Suomen metallien jalostuksen ympäristöasioiden tarkastelua ekotehokkuuden näkökulmasta

### 6.1 Luonnonvarojen ja energian käyttö

#### Energian käyttö

Tässä työssä tarkasteltujen metallijalosteiden primäärienergian kulutus oli vuonna 1997 yhteensä 107 000 TJ kaikki elinkaarivaiheet huomioon ottaen. Suurusluokaltaan tämä kulutus vastaa noin 10 prosenttia koko Suomen primäärienergiakulutuksesta. Metallien jalostusteollisuuden tuotannon kasvu ja korkealle jalostettujen tuotteiden osuuden lisääntyminen nostavat teollisuusalan energiankulutusta, vaikka tuotteiden energian ominaiskulutukset ovat olleet alenevia. Metallien jalostus vaatii paljon sähköenergiaa, joka heijastuu primäärienergian kulutukseen. Määrätietoinen energian käytön tehostaminen on tulevaisuudessa edelleen teollisuudenalan avaintehtäviä, jolla pystytään vaikuttamaan merkittäväällä tavalla päästöihin ja luonnonvarojen käyttöön.

Suomen metallien jalostusteollisuuden primäärienergian kulutus tuotettua metallijalostemäärää kohti on kansainvälisesti hyvää tasoa (ks. luku 4.6). Energiatehokkuuden parantamisessa ei olekaan odotettavissa lähiaikoina mitään suuria askelia, sillä suurimmat energiansäästötoimenpiteet koksaamo- ja masuunikaasujen hyväksikäytössä on jo tehty. Näitä prosessikaasuja polttoaineena käyttävien voimalaitosten modernisointi avaa jatkossa jonkin verran mahdollisuuksia pienentää teräsjalosteiden ominaisenergiakulutusta. Suomen metallien jalostuksen valmistusvaiheen prosessikaasuista valmistettiin vuonna 1997 sähköä 212 GWh.

Metallien jalostuksen valmistusprosessit ovat riippuvaisia ulkoisesta sähköenergiasta. Vuonna 1997 metallijalosteiden valmistuksen vaatima sähkökulutus Suomessa oli 3 467 GWh, joka on lähes 5 % koko Suomen sähkökulutuksesta. Tuotteiden valmistus on selvästi eniten sähköenergiaa tarvitseva elinkaarivaihe. Metallijalosteiden elinkaariarvioinnissa ostetun sähköenergian välilliset päästöt muodostuvat pitkälle kansallisen sähköntuotantorakenteen perusteella. Näihin päästömääriin metallijalosteiden valmistajat pystyvät periaatteessa vaikuttamaan vain tehostamalla prosessikaasujensa hyväksikäyttöä sähkön valmistuksessa tai muuttamalla tuotteittensa ominaissähkökulutusta. Toisaalta elinkaariarviointiin pyritään tuomaan ajattelutapaa, mikä edellyttäisi sähkön alkuperän selvittämistä ja sen aiheuttamien "todellisten" päästöjen arviointia sekä niiden liittämistä tuotteiden ominaispäästökertoimiin. Tältä osin laskentamenettelyt hakevat vielä kansainvälistä hyväksyntää. Yleistäen voidaan kuitenkin sanoa, että erilaisilla laskennallisilla sähköntuotantomalleilla voidaan saada varsin erilaisia ominaispäästökertoimia tuotteille, joiden valmistuksessa ulkoinen sähköenergia näyttelee merkittävää roolia (ks. luku 4.6 ja liite 4).

Metallien jalostuksen valmistusvaiheen jätelämpöä hyödynnetään tuotantolaitosten ulkopuolella muun muassa Raahan, Harjavallan ja Kokkolan lähiympäristön asutuksen lämmityksessä. Vuonna 1997 metallien jalostusteollisuus toimitti kaukolämpöverkoston 272 GWh lämpöä, joka siis korvasi vastaavan lämpömäärän tekemiseen tarvittavan kaukolämpölaitoksien aiheuttamat ympäristövaikutukset. Jätelämmön talteenottoa on mahdollisuus tehostaa, jos matalalämpöiselle jätelämmölle löytyy hyötykäyttöä. Vireillä on metallien valmistuksen jätelämmön

hyödyntäminen muun muassa Tornion ja Kemin kaupunkien lämmittämiseen. Ensisijaisena tavoitteena on kuitenkin jätelämmön synnyn vähentäminen, missä prosessien energiahyötysuhteiden kehittäminen on avainasemassa.

Kuljetukset aiheuttavat noin 3,1 % Suomen metallien jalostuksen vaatimasta primäärienergiasta. Nikkelin, kuparin ja sinkin tuotannossa käytettävät laivakuljetukset aiheuttavat tästä määrästä kolme neljäsosaa. Laivakuljetusten tehokkuuden lisäämisellä, esimerkiksi reittiliikenteen paluukuljetusten täyttöasteen nostamisella tai raaka-aineiden hankintamatkojen muutoksilla, voidaan parantaa metallijalosteiden tuotannon ekotehostumista. Toisaalta maantiekuljetuksien minimointi ja kuljetussuoritteiden siirtäminen laiva- ja junaliikenteelle parantaa kuljetussuoritteiden ominaisenergiakulutusta.

Raaka-aineiden valinnalla voidaan myös vaikuttaa metallijalosteen energian ominaiskulutukseen. Muun muassa pellettien valmistuksessa pystytään parempaan energian käytön hyötysuhteeseen kuin sintterin valmistuksessa, minkä takia yksinomaan pellettiä käyttävät terästehtaat saavat energiatehokkuusedun sintteriä käyttäviin tehtaisiin nähden.

## Metallien kierrätys

Malmi ovat uusiutumattomia luonnonvaroja, joiden hyödyntämiseen metallien valmistus perustuu. Valmistetut metallit ovat osa tätä varantoa jalostetussa muodossa, sillä metallit ovat kierrätettäviä. Niiden käyttö ei ole siten rinnastettavissa esimerkiksi uusiutumattomien fossiilisten polttoaineiden käyttöön, koska polttoainevarannot poistuvat tulevien sukupolvien käytöstä toisin kuin metallivarat.

Metallien kulutus kasvaa edelleen, minkä takia metallien käyttö edellyttää malmiesiintymien hyödyntämistä. Toisaalta malmivarojen hyödyntämistä tarvitaan, vaikka metallien kulutus ei kasvaisikaan. Metallien kierrätyksessä tapahtuu aina häviöitä, jotka on korvattava malmipohjaisella tuotannolla.

Malmien riittävyys maailmalla ei ole ongelma, sillä malmivarannot ovat viime kädessä taloudellinen käsite. Ennestään taloudellisesti kannattamattomia mineraaliesiintymiä pystytään ottamaan käyttöön, jos metallien hinta on riittävän korkealla. Myös hyödyntämistekniikoiden kehittyminen avaa uusia mahdollisuuksia. Vaikka malmiesiintymien loppuminen ei ole uhkaamassa, tehokas metallien kierrättäminen on tavoiteltavaa, koska kierrätyksessä taloudellisuus ja ympäristövaikutusten väheneminen ovat samanaikaisia ja -suuntaisia ilmiöitä.

Metallien kierrätys tarkoittaa käytännössä romun käyttöä metallien valmistuksen raaka-aineena. Romun käytön taloudellinen ja ekologinen hyöty tulee pääasiassa energian ja luonnonvarojen säästöistä. Koska romu on valmista metallia, tarvitaan metallin valmistuksessa ainoastaan uudelleensulatuksen energia, joka on vain osa malmin pelkistämiseen ja sulattamiseen käytettävästä energiasta. Samalla vältetään malmin louhimisen ja rikastuksen sekä rikasteen kuljetuksen ympäristövaikutuksilta. Myös romun kierrätys itsessään aiheuttaa ympäristökuormitusta, mutta sen merkitys kierrätyksellä saavutettuihin säästöihin nähden on vähäinen (ks. Melanen ym. 2000).

Metalleja sisältävät lopputuotteet tulevat romuna kierrätykseen suhteellisen pitkän aikaviiveen jälkeen. Toisen maailmasodan jälkeen tapahtunut metallien tuotannon voimakas kasvu vaikuttaa siten, että tulevina vuosikymmeninä romun määrä tulee huomattavasti kasvamaan nykyisestä. Tämä mahdollistaa kierrätettävien metallimäärien kasvattamisen ja hyödyntämisen metallien valmistuksessa, mikä on ekotehokkuuden kannalta toivottava suuntaus. Romun "energiasisältö" tulisi hyödyntää siellä, missä se on metallijalosteiden tuotantoketjun energiatalouden kannalta edullisinta.

Ekotehokkuusnäkökulmasta metallien talteenoton lisääminen on tavoiteltavaa. Turhaa kierrätystä tulee kuitenkin välttää. Pitkällä tähtäyksellä ekotehostumista voidaan parantaa siten, että metallien käytön määrää vähennetään kehittämällä ja hyödyntämällä paremmin materiaalien ominaisuuksia sekä lisäämällä metallituotteiden käyttöikä. Materiaalihyötysuhteiden parantaminen metallien ja metallituotteiden valmistuksessa on myös tärkeä tavoite, jolla voidaan ehkäistä tarpeetonta kierrätystä. (ks. hankkeen kierrätysosion loppuraportti Melanen ym. 2000).

Yleisesti ottaen kaikki käyttökelpoinen saatavilla oleva romu käytetään Suomessa hyödyksi metallijalosteiden valmistuksessa. Ainoastaan tuotteiden käytöstä poistamisesta syntyvä romu, ns. lopputuoteromu, muodostaa romuryhmän, jonka talteenottoa on jossain määrin mahdollista tehostaa. Tehostamisen tulisi kohdistua erityisesti sähkö- ja elektroniikkaromun sekä kuntien kaatopaikoille joutuvan yhdyskuntajätteen metallijakeen talteenottoon ja kierrätykseen. Sähkö- ja elektroniikkaromulle ollaankin parhaillaan kehittämässä valtakunnallista tuottajan vastuuseen (tuottajayhteisömalli) perustuvaa kierrätysjärjestelmää, jonka lähtökohtana on tulevan sähkö- ja elektroniikkalaitteita koskevan EU-direktiivin (Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment; WEEE-direktiivi) täytäntöönpano Suomessa. Ympäristöministeriö on valmistellut ehdotuksen vuoden 2001 alusta voimaan tulevaksi valtioneuvoston asetukseksi sähkö- ja elektroniikkaromun jätehuollosta.

Sähkö- ja elektroniikkaromua syntyy Suomessa 70 000–100 000 tonnia vuodessa. Jos tästä romusta otetaan puolet talteen ja oletetaan sen keskimääräiseksi metallipitoisuudeksi noin 60 % (Valkonen 2000), saadaan keräytyä 20 000–30 000 tonnia metalleja vuodessa. Tämä merkitsee kuitenkin vain noin 5 prosentin lisäystä kotimaisen lopputuoteromun keräysmäärään. Yhdyskuntajätteeksi luokiteltavaa jätettä maassamme syntyy noin 2,5 milj. tonnia vuodessa. Jos oletetaan sen sisältävän pienmetallijätettä (muu kuin ”romu”) saman verran kuin YTV:n alueella syntyvä yhdyskuntajäte eli 3,5 paino-% (Tanskanen 1997), on jätteen metallisisältö noin 88 000 tonnia vuodessa. Osa tästä otetaan jo talteen, mutta jos oletetaan että talteenottoa lisättäisiin edelleen esimerkiksi 30 %-yksikköä, saataisiin keräytyä 25 000–30 000 tonnia lisää metalleja vuodessa eli saman verran kuin sähkö- ja elektroniikkaromun talteenotossa. Kaiken kaikkiaan lopputuoteromun potentiaaliset lisäysmäärät ovat siten niin vähäisiä, ettei niiden avulla voida merkittävästi lisätä romun käyttöä metallien jalostusteollisuutemme tuotantopanoksena. Romun käytön selvä lisääminen onnistuu Suomessa vain kasvattamalla romun tuontia.

Periaatteessa tuotantolaitosten ulkopuolelta tulevan romun suhteellisen määrän lisääminen metallijalosteiden valmistuksen tuotantopanoksena vähentäisi tuotteiden ominaispäästöjä eli lisäisi maamme metallijalosteiden ekotehokkuutta – ainakin nykyisen elinkaariarviointilaskennan valossa (vrt. luku 4.1). Nykytilanne merkitsee sitä, että ulkomaalaisten yritysten, jotka käyttävät malmipohjaisessa tuotannossaan selvästi suomalaisia yrityksiä enemmän tuotantolaitosten ulkopuolelta hankittua romua, tuotteet ovat ominaispäästöjen suhteen edullisemmassa asemassa vastaaviin suomalaisiin tuotteisiin verrattuna. Metallijalosteiden malmipohjaisen tuotantomme romun käytön lisäämistä kannattaa siis tutkia myös tuotteiden ekokilpailukyvyn näkökulmasta. Samalla voi avautua uusia ratkaisumalleja, jotka parantavat ekotehostumisen ohella myös toiminnan kustannustehokkuutta.

Romun määrän lisääntyessä maailmalla romun käyttöä voidaan lisätä ja maailmalla rakennetaankin tällä hetkellä malmipohjaisen tuotannon sijasta enemmän romupohjaisia tuotantolaitoksia. Malmipohjainen ja romupohjainen metallien tuotanto muodostavat kuitenkin jatkossakin toisiaan täydentävän kokonaisuuden, jota vasten metallien valmistuksen ekotehostumista tulee arvioida. Globaalisesti tapahtuu ekotehostumista silloin, kun metallien tuotantoon liittyviä kuljetuksia



pyritään optimoimaan eli kaivokselta louhittu malmi tai käytöstä poistettu romu hyödynnetään lähimmässä mahdollisessa tuotantolaitoksessa (romu- tai malmipohjaisessa tuotannossa) ja malmipohjainen metallien valmistus tapahtuu tuotantolaitoksilla, joiden teknologinen taso on ympäristönäkökulmasta parhaan mahdollisen tekniikan mukaista. Globaalista ekotehostumista romun käytössä on kuitenkin vaikea toteuttaa markkinataloudessa, minkä takia romuvirtojen optimointia ympäristönäkökohdista on helpointa kehittää yritysten ja konsernien sisällä.

Metallien kierrätyksen edut ympäristön kannalta ovat huomattavat, minkä takia metallituotteiden uudelleenkäyttö- ja kierrätyskelpoisuuden lisääminen on metallien jalostusteollisuuden ja lopputuotteiden valmistajien keskeisiä haasteita myös tulevaisuudessa. Tavoitteena on pitää romu mahdollisimman puhtaana ja erillään muista materiaaleista.

## Jätteiden hyödyntäminen ja sivutuotteet

Jätteiden määrän vähentämistä puoltavat monet syyt metallien jalostuksessa. Jätteet vaativat tilaa ja niiden varastointiin kaatopaikoilla ja välivarastoissa liittyy myös ei-toivottujen päästöjen mahdollisuus ympäristöön. Ympäristövaikutusten näkökulmasta jätteiden määrän vähenemistä puoltaa kuitenkin ennen kaikkea jätteisiin liittyvä luonnonvarojen käyttönäkökulma. Mitä vähemmän jätteitä syntyy, sitä paremmin ”tuotetaan vähemmästä enemmän”. Tämä puolestaan merkitsee vähemmän luonnonvarojen käytöstä syntyviä ympäristövaikutuksia (esimerkiksi elinympäristöjen pirstoutuminen ja häviäminen, eroosio, päästöt ilmaan, veteen ja maahan jne.).

Sivutuotteet säästävät ympäristöä samalla tavalla kuin hyötykäyttöön menevät jätteet; niiden avulla vältetään toiminnoilta, joita muutoin tehtäisiin ilman sivutuotteita ja hyödynnettäviä jätteitä. Metallijalosteiden elinkaariarvioinneissa kuonat, rikkihappo, jätelämpö, sähköenergia ja koksamon sivutuotteet (kivihiiliterva, bentseeni ja rikki) on käsitelty hyvitetävinä sivutuotteina. Niiden hyödyntäminen vähentää ympäristöön joutuvia kokonaispäästöjä. Vaikutusarvioinnin perusteella (luku 5) kunkin metallijalosteen sivutuotteiden kautta hyvitetävät päästöt vähentävät ko. metallijalosteiden aiheuttamien päästöjen kokonaisvaikutuksia seuraavasti:

– teräslevyt ja -kelat	6,7 %
– terästangot	0,0 %
– teräslangat	2,4 %
– ruostumattomat teräsnauhat	0,0 %
– muokatut kuparituotteet	3,9 %
– nikkelikatodit ja -briketit	3,6 %
– sinkkiharkot	5,1 %
– alumiiniharkot	0,0 %

Kun otetaan huomioon eri tuotteiden kokonaispäästöt, vaikutusvähennys on koko teollisuusalalla vajaan 3,5 prosentin luokkaa tarkasteltujen päästöjen aiheuttamien kokonaisvaikutusten osalta.

Metallien jalostuksen jätemäärät syntyvät käytännössä kaivostoiminnassa ja malmien rikastuksessa sekä metallijalosteiden valmistusvaiheessa. Suurimmat jätemäärät muodostuvat kaivostoiminnan sivukivestä ja rikastushiekasta. Suuresta määrästä huolimatta näiden jätteiden ympäristövaikutukset ovat suhteellisen vähäisiä valmistusvaiheiden jätteisiin verrattuna. Tässä työssä ei ole selvitetty kaivostoiminnan ja malmien rikastuksen jätejakeiden tarkkaa kohtaloa. Yleisesti voidaan todeta, että osa sivukivestä käytetään louhosten täytteeksi ja osa murskaataan sepeliksi ja voidaan hyödyntää tierakentamisessa.

Metallijalosteiden valmistusvaiheessa syntyvien jättejakeiden määrät ja hyötykäyttöasteet vuonna 1997 olivat seuraavat (Suomen ympäristökeskus 2000):

<i>Jätejake</i>	<i>Määrä</i>	<i>Hyödyntämisaste</i>
– masuuni- ja teräskuonat	1 360 000 t	84 %
– kupari- ja nikkelituotannon kuonat	488 000 t	10 %
– jarosiitti (rautasakka)	117 000 t	0 %
– muut sakat ja lietteet	144 000 t	< 5 % (arvio)
– pölyt (sis. osan lietteistä)	135 000 t	50 %
– hilseet	97 000 t	33 %
– teollisuus / yhdyskuntajätteet	41 000 t	16 %
– tulenkestävät materiaalit	11 000 t	5 %
– rakennus- ja purkujätteet	1 800 t	11 %

Todettakoon, että edellä esitetyissä sivutuotteiden ”vähennyslaskelmissa” ovat mukana jättejakeista ainoastaan masuuni- ja teräskuonan hyödyntämisen hyvitykset. Muiden jättejakeiden hyödyntämisestä aiheutuvat ympäristövaikutusten säästöt ovat nykyisin selvästi pienempiä kuin kuonien hyötykäytön säästöt, koska niiden hyötykäyttömäärät ovat toistaiseksi vähäisiä. Tästä huolimatta elinkaariarvioinnin laskentaa tulee kehittää siten, että myös muiden jättejakeiden kuin kuonien hyödyntämisen hyvityslaskelmat voidaan sisällyttää metallijalosteiden elinkaariarviointilaskentaan.

Ainoastaan ruostumattoman teräksen valmistuksen kuonat jäävät nykyisin kuonien hyötykäytön ulkopuolelle. Masuuni- ja teräskuonan hyötykäyttömäärä vaihtelee vuosittain sopivien tienrakennusurakoiden määrän ja sijainnin mukaan. Terässulatoilla syntyvää kalkkipitoista kuonaa käytetään maataloudessa kalkitusaineena ja tierakentamisessa asfaltin runkoaineena. Masuunikuonan suurin kierätyshyöty saavutettaisiin kuitenkin ohjaamalla se sementin valmistukseen, mikä säästäisi sementin alkuperäistä raaka-ainetta ja kalkkikiveä sekä vähentäisi sementtiklinkkerin valmistuksessa syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrää (ks. luku 6.1). Masuunikuonan lisäämiselle sementin valmistuksessa ei ole teknisiä esteitä. Tällä hetkellä masuunikuonasta käytetään 25 prosenttia sementin valmistukseen.

Ekotehokkuuden lähtökohtia on, että jätteiden syntyä pyritään estämään ja raaka-aineet käytetään mahdollisimman tehokkaasti hyväksi tuotantopaikalla. Muun muassa metallien sulatosta syntyneistä kuonista ja joistakin muista prosessijätteistä metalleja erotetaan uudelleen prosessiin. Esimerkiksi ruostumattoman teräksen tuotantolaitoksella noin 10 % kuonan määrästä saadaan hyödynnettyä, kun metalliroiskeet erotetaan ja palautetaan sulatukseen.

Metallien jalostusteollisuuden jätemäärien väheneminen prosessiteknisin keinoin ei ole näköpiirissä lähitulevaisuudessa pieniä muutoksia lukuun ottamatta. Jätteiden määrän synty on useilla tuotantolaitoksilla suorassa suhteessa tuotannon määrään. Ainoastaan pääraaka-aineiden laatu ja koostumus voi vaikuttaa jonkin tietyn jättejakeen määrään, esimerkiksi rikasteen koostumus kuparin ja nikkelin valmistuksessa ja käytetyn tulevan romun laatu alumiinin valmistuksessa. Tulenkestävien tiilijätteiden määrät ovat vähenemässä. Muun purkujätteen määrä on täysin riippuvainen rakennustöiden määrästä.

Jätteiden hyödyntämisasteen kohottamiseen ei ole nopeita ratkaisuja tiedossa. Tutkimus- ja kehittämistyötä tulee lisätä esimerkiksi pölyjen ja vielä uudelleen käyttämättömien kuonien osalta. Todettakoon, että pölyjä toimitetaan jatkokäsittelyyn arvometallien erottamiseksi. Esimerkiksi vuonna 1997 ruostumattoman teräksen sulatuksen pölyistä toimitettiin Ruotsiin jatkokäsittelyyn noin 15 000 tonnia, josta saatiin takaisin noin 7 500 tonnia metallia ruostumattoman teräksen valmistukseen.

Sakkojen ja lietteiden kierrätys on kaikkein ongelmallisinta ja niitä ei tällä hetkellä käytännössä kierrätetä lainkaan tai hyvin vähäisiä määriä. Sakat ovat useimmiten ongelmajätettä (metalleja tai metalliyhdisteitä) eikä niitä sen vuoksi voida sijoittaa tavallisille kaatopaikoille. Todettakoon, että öljyjä ja muita ongelmajätteitä, jotka toimitetaan ongelmajätteiden käsittelylaitoksille, syntyy metallien valmistusvaiheessa noin 3 000 tonnia vuodessa.

## 6.2 Päästöt

### Hiilidioksidi

Suomen metallien jalostusteollisuuden hiilidioksidin ominaispäästöt ovat kansainvälisiin tutkimuksiin verrattuna keskiarvotasoa (ks. luku 4.6). Hyvästä ominaispäästötilanteesta huolimatta hiilidioksidin vähentäminen on metallijalosteiden tuotannossamme ympäristönsuojelun avainalueita, koska metallien tuotanto aiheuttaa merkittäviä määriä hiilidioksidipäästöjä. Tässä työssä tarkasteltavien metallijalosteiden aiheuttama kokonaishiilidioksidipäästö kaikki tuotteiden elinkaarivaiheet huomioon ottaen oli vuonna 1997 8,9 milj. tonnia, josta noin 74 prosenttia tapahtui Suomessa. Metallin jalostusteollisuus aiheuttaa Suomessa noin 10 % koko Suomen fossiilisista hiilidioksidipäästöistä.

Malmipohjaisen teräksen tuotanto on suurin hiilidioksidipäästöjen lähde Suomen metallien jalostuksessa. Vuonna 1997 malmipohjainen teräksen tuotanto aiheutti 70 prosenttia koko metallien jalostusteollisuutemme elinkaariaikaisista hiilidioksidipäästöistä. Vaikutusarvioinnissa hiilidioksidi muodostuikin selvästi merkittävimmäksi päästökseen teräslevyjen, -kelojen ja -lankojen tuotannossa.

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen liittyy pitkälti energian käytön tehostamiseen, minkä takia mitään suuria ominaispäästöjen vähenemisiä ei ole odotettavissa (vrt. luku 6.1). Toisaalta koksamo- ja masuunikaasuja hyödyntävän voimalaitoksen hyötysuhteen parantaminen noin 25 prosentista 45 prosenttiin sekä konvertterikaasujen hyödyntäminen sähkön tuotannossa merkitsisi 112 000 tonnin hiilidioksidipäästöjen vähenemistä vuodessa, mikäli sähkö tehtäisiin keskimääräisellä Suomen sähköntuotantorakenteella (ts. tässä työssä käytetyllä ostosähkömallilla (ks. luku 3.2.5)). Jos kaikki terässulatoilla muodostunut kuona käytettäisiin sementin ja kalkitusaineiden raaka-aineina, Suomen hiilidioksidipäästöt vähentyisivät nykyisestä tasosta 390 000 tonnia vuodessa.

### Rikkidioksidi

Metallijalosteiden rikkidioksidin ominaispäästöjä ja kokonaispäästömääriä on pystytty vähentämään merkittäväällä tavalla kohonneesta tuotannosta huolimatta (ks. luku 2). Vuonna 1997 metallien jalostusteollisuuden rikkidioksidipäästöt olivat Suomessa kuitenkin edelleen 9 000 tonnia, joka oli 9 % Suomen rikkidioksidipäästöistä. Metallijalosteiden tuotannon ulkomaantoiminnot aiheuttavat noin 53 % koko elinkaariaikaisista rikkidioksidipäästöistä. Näistä noin 25 % aiheutui valtamerikuljetuksista, joiden rikkidioksidipäästöjen aiheuttamat vasteet ympäristössä ovat kuitenkin vähäisemmät kuin mantereella tapahtuvien päästöjen (ks. luku 5.6).

Vaikutusarvioinnissa rikkidioksidipäästöt priorisoitiin teräksen malmipohjaisessa tuotannossa kolmen tärkeimmän toimenpidekohteen joukkoon. Suurimmat rikkidioksidipäästöt syntyvät teräskeloiden ja -levyjen tuotannossa, jossa vuosittaisen vaikutuspisteetkin ovat selvästi suurimmat muiden teräsjalosteiden tuo-

tannon vaikutuspisteisiin nähden. Selvästi suurin yksittäinen rikkidioksidilähde on sintraamo. Toinen merkittävä rikkidioksidilähde teräksen tuotannossa on koksin valmistus.

Kuparin ja nikkelin tuotantolaitosten kokonaisrikkidioksidipäästöt ovat suuret, vaikka rikkidioksidin ominaispäästökertoimet ovat liekkisulatusmenetelmän ansiosta erittäin alhaiset (ks. luku 2 ja 4.4). Myös Suomen nikkelin tuotannon rikkidioksidin ominaispäästökertoimet ovat liekkisulatusmenetelmän ansiosta pienet. Kupari- ja nikkelijalosteiden erityispiirteenä on tuotteiden rikkidioksidipäästöjen jakautuminen suhteellisen tasan rikastus-, valmistus- ja kuljetusvaiheiden kesken. Kuljetusten huomattavat rikkidioksidipäästöt aiheutuvat valtamerikuljetuksista.

Ruostumattoman teräksen suhteellisen suureen rikkidioksidipäästöön vaikuttavat välillisesti nikkelin 10 prosentin osuus raaka-ainepanoksesta sekä ostosähkön määrä valmistuksessa. Ostosähkön kautta tulevaan rikkidioksidipäästöön vaikuttavat ostosähkön määrän ohella sähköntuotantotavan rikkidioksidin ominaispäästöt. Todettakoon, että suomalaiset tuotteet hyötyvät elinkaarilaskennassa siitä, että valtakunnan verkkoon sähköä tuottavat hiilivoimalat on Suomessa varustettu tehokkailla rikinpoistolaitteilla.

## Typen oksidit

Vaikutusarvioinnin perusteella typen oksidit ovat kolmanneksi haitallisin päästöryhmä hiilidioksidin ja rikkidioksidin jälkeen, jos metallien jalostusta katsotaan kokonaisuutena. Metallijalosteiden tuotannon typen oksidipäästöt olivat vuonna 1997 noin 19 882 tonnia, josta Suomessa tapahtuvien päästöjen osuus oli 25,7 prosenttia eli 5 117 tonnia. Koko Suomen typen oksidipäästöt olivat vastaavana ajankohtana 260 000 tonnia.

Typen oksidien päästöt ovat hiilidioksidi- ja rikkidioksidipäästöjen tapaan polttoainepohjaisia. Typen oksidien päästöihin voidaan vaikuttaa palamisolosuhteiden kautta, jolta osin vaikutusmahdollisuudet ovat kuitenkin olleet ja ovat vielä nykyisinkin rajoitetut. Tämän takia metallijalosteiden tuotannon kasvun seurauksena typen oksidipäästöt eivät ole vähentyneet toisin kuin rikkidioksidipäästöt, joita on pystytty vähentämään tuotannon kasvusta huolimatta.

Typen oksidipäästöjä esiintyy tasaisesti kaikissa metallijalosteiden elinkaari vaiheissa. Niissä tuotteissa, joissa ostosähkön merkitys energian käytössä on valitseva ja joissa maantiekuljetusten osuus on merkittävä, typen oksidipäästöjen suhteellinen merkitys päästöhaitoista korostuu. Kaiken kaikkiaan typen oksidien päästöjen vähentäminen edellyttää energiatehokkuuden lisäämistä kaikissa polttoaineita merkittäviä määriä käyttävissä tuotantoketjuvaiheissa sekä polttoolosuhteiden kehittämistä siihen suuntaan, että palotilassa oleva tyyppi ei hapetu typen oksideiksi.

## Metallit ilmaan

Metallien jalostusteollisuuden toimenpiteet ilmaan joutuvien metallipäästöjen vähentämiseksi ovat olleet merkittävät Suomen tuotantolaitoksissa 1990-luvulla. Vuosina 1990–1997 Suomessa arseenipäästöt ilmaan vähenivät 90 prosenttia, elohopeapäästöt 45 prosenttia, kadmiumpäästöt 80 prosenttia, kuparipäästöt 70 prosenttia, kromipäästöt 50 prosenttia, lyijypäästöt 95 prosenttia, nikkelpäästöt 60 prosenttia, sinkkipäästöt 85 prosenttia ja vanadiinipäästöt 40 prosenttia (Melanen ym. 1999). Metallien jalostusteollisuuden vähennystoimenpiteet kohdistuivat etenkin arseenin, kadmiumin, kromin, kuparin, nikkelin ja sinkin päästöihin. Suurista

vähentämistä huolimatta valmistusvaihe on edelleen selvästi merkittävin metallipäästölähde vanadiinia ja kadmiumia lukuun ottamatta (taulukko 29). Kadmiumin ja vanadiinin päästöistä valtaosa tulee nykyään energiantuotannosta.

Anodikuparin ja sinkin valmistuksen metallipäästöt näyttelevät vielä suhteellisen merkittävää osaa Suomen arseeni-, kadmium-, kupari- ja sinkkipäästöistä. Näiden metallijalosteiden ilmaan menevien metallipäästöjen ominaispäästökertoimet ovat Suomen teollisuudessa kuitenkin alhaisia verrattuna muiden tutkimusten tuloksiin (ks. luku 4.6). Hyvään lopputulokseen vaikuttavat valmistuksen prosessitekniset ratkaisut sekä niiden ja ostosähkön tuotannon tehokkaat hiukkaserottimet.

Suhteellisen suuresta päästöosuudesta huolimatta metallijalosteiden metallipäästöt eivät nousseet vaikutusarvioinnissa kovinkaan merkittävään asemaan muutamaa metallijalostetta lukuun ottamatta. Metallien merkitys suhteessa muihin päästöihin perustui vaikutusarvioinnissa puhtaasti subjektiivisiin arvioihin, jotka kuvaavat vain vastaajajoukon keskimääräistä käsitystä metallien ympäristövaarallisuudesta. Tämä käsitys perustuu hyvin pitkälle siihen, että metallien ympäristövaarallisuutta on hyvin vaikea todentaa. Metallien keskinäisen tärkeyden arviointia puolestaan vaikeutti "tieteellisten" muuntokertoimien puuttuminen.

Taulukko 29. Metallijalosteiden eri elinkaarivaiheiden päästöosuudet tuotteiden kokonaismetallipäästöistä ja koko Suomen metallipäästöt vuonna 1997.

Metalli	Osuus (%) metallijalosteiden kokonaispäästöistä				Päästöt (t/a)		
	Rikaste	Muut raaka- aineet	Valmistus	Ostosähkö	Metallijalosteet Suomessa <sup>1</sup>	Suomi <sup>2</sup>	
						Korjatut	Tilastoidut
<i>Päästöt ilmaan<sup>3</sup></i>							
Arseeni (As)	5,6	4,2	88,2	2,0	2,7	4,0	12,3
Elohopea (Hg)	5,9	11,4	60,4	22,3	0,04	0,6	0,62
Kadmium (Cd)	28,8	6,8	62,3	2,1	0,4	1,0	1,1
Kupari (Cu)	30,7	3,6	65,3	0,4	6,5	9,8	72,3
Kromi (Cr)	15,2	0,3	84,1	0,4	14,1	20,5	20,5
Lyijy (Pb)	23,2	8,0	67,1	1,7	7,4	15,4	18,5
Nikkeli (Ni)	18,7	16,3	62,0	3,0	4,4	24,7	27,8
Sinkki (Zn)	3,5	2,6	93,7	0,2	50,1	59,6	70,2
Vanadiini (V)	6,2	1,3	32,2	60,3	1,0	46,4	46,4
<i>Metallit veteen<sup>4</sup></i>							
Arseeni (As)	0,6	20,6	78,7		0,3		1,2
Elohopea (Hg)	3,6	34,3	62,2		0,009		0,029
Kadmium (Cd)	0,7	7,7	91,6		0,059		0,129
Kupari (Cu)	18,7	3,6	77,7		7,8		9,9
Kromi (Cr)	26,9	1,6	71,5		2,2		8,0
Lyijy (Pb)	74,5	20,2	5,3		0,1		0,6
Nikkeli (Ni)	14,9	29,9	55,2		6,7		15,6
Sinkki (Zn)	43,5	13,5	43,1		3,5		34,4

Huomautukset:

<sup>1</sup> Käsittää metallien valmistuksen lisäksi ostosähkön päästöt.

<sup>2</sup> Harjavallan tehtaiden pölynpoistotekniikan pettämisen vuoksi metallipäästöt ilmaan olivat poikkeuksellisen suuria vuonna 1997. Tästä syystä inventaariolaskelmissa tehtiin metallipäästöjen korjaus vuoden 1999 tasolle. Inventaariotietojen pohjalta tehtyjen metallien jalostuksen kokonaispäästöjä voidaan verrata Suomen kokonaispäästöihin ainoastaan korjaamalla virallisia päästöarvioita ottamalla huomioon Harjavallan tehtaiden vähentyneet päästöt ilmaan.

<sup>3</sup> Metallijalosteiden tiedot perustuvat tämän työn yhteydessä tehtyihin inventaariotietoihin. Koko Suomen päästötiedot perustuvat Melasen ym. (1999) tekemään metallipäästöselvitykseen.

<sup>4</sup> Metallijalosteiden tiedot perustuvat tämän työn yhteydessä tehtyihin elinkaari-inventaariotietoihin. Koko Suomen päästötiedot perustuvat Ympäristöhallinnon päästörekinisteriin.

Metallien vaikutusarvioinnin heikoista perusteista huolimatta voidaan sanoa, että kuparin, nikkelin, sinkin ja ruostumattoman teräksen tuotannossa ilmaan joutuvat metallit aiheuttavat merkittävän osan ko. metallijalosteiden kokonaisvaikutuksista ympäristöön. Kuparin tuotannossa sekä malmin rikastuksen että anodikuparin valmistuksen kadmiumpäästöt ilmaan nousivat metalleista merkittävimmiksi ilmaan joutuvien metallipäästöjen rajoittamisen näkökulmasta. Nikkelin valmistusvaiheessa nikkelpäästöt ilmaan ja ruostumattoman teräksen valmistuksen nikkelpäästöt ja kromipäästöt ilmaan osoittautuivat olevan merkitykseltään kuparin valmistuksen kadmiumpäästöjen suuruusluokkaa vaikutuspisteiden valossa.

Ilmaan kohdistuvat metallipäästöt muodostuvat nimenomaan hiukkasiin sitoutuneista metalleista, minkä takia hiukkaspäästöjen rajoittamisella saavutetaan myös vähenemiä metallipäästöissä. Hiukkasten erotinlaitteiden tehokkuuden parantamisen ohella metallipäästöjen rajoittamista voidaan parantaa kehittämällä mahdollisimman suljettuja prosesseja. Niiden avulla saavutetaan helposti myös muita ympäristöhyötyjä; minimoidaan jätteet ja veteen menevät päästöt sekä saadaan parempi saanto raaka-aineista varsinaiseen tuotteeseen ja sivutuotteisiin.

### **Metallit veteen**

Vastaavasti kuin ilmaan menevissä metallipäästöissä metallijalosteiden valmistusvaihe on pääsääntöisesti merkittävin veteen joutuvien metallipäästöjen lähde (taulukko 29). Näin siitäkin huolimatta, että metallien jalostusteollisuuden veteen joutuvat päästöt ovat vähentyneet selvästi Suomen tuotantolaitoksilla 1990-luvulla. Vuosina 1990–1997 niissä nikkeli-, koboltti-, elohopea- ja sinkkipäästöt veteen vähenivät 50 prosenttia, kadmiumpäästöt 10 prosenttia, kuparipäästöt 20 prosenttia ja arseeni- ja lyijypäästöt 90 prosenttia. Päämetalleista ainoastaan kromipäästöt ovat lisääntyneet 95 prosentilla vuosina 1990–1997 (Ympäristöhallinnon päästöreisteri). Tätä selittää ferrokromin ja ruostumattoman teräksen voimakkaasti kasvanut tuotanto.

Veteen menevien metallien ominaispäästöistä oli kansainvälistä vertailutietoa ainoastaan anodikuparin ja sinkin osalta, joiden ominaispäästökertoimet Suomen teollisuudessa ovat keskitasoa (ks. 4.6.3).

Vaikutusarvioinnissa veteen menevät metallipäästöt eivät nousseet yhtä merkittävään asemaan ympäristövaikutusten näkökulmasta kuin metallipäästöt ilmaan. Ruostumattoman teräksen tuotannon nikkelpäästöt olivat tässä suhteessa poikkeus. Sen vaikutuspisteet nousivat korkeiksi. Metallien vaikutuspisteisiin on kuitenkin suhtauduttava tietyllä varauksellisuuksella arvottamisteknisestä lähtökohdasta johtuen.

Veteen menevien metallipäästöjen rajoittaminen onnistuu usean metallin osalta tehostamalla puhdistamojen kiintoaineksen reduktiota. Pitkällä tähtäyksellä veteen menevien metallipäästöjen rajoittamista kannattaa kuitenkin lähestyä suljettujen prosessien kautta, jolloin saavutetaan myös muita ympäristöhyötyjä (ks. edellinen kohta).

### **Pöly**

Pöly liittyy moneen ympäristövaikutukseen. Lievimmillään pöly voi heikentää viihtyvyyttä, mutta pahimmillaan se aiheuttaa merkittäviä kasvillisuusvaikutuksia ja ihmisen terveyteen liittyviä vaikutuksia. Metallien jalostuksessa pölyämisen pienentäminen on usein myös tehokas tapa vähentää metallien leviämistä ympäristöön, sillä ilmaan kohdistuvat metallipäästöt muodostuvat nimenomaan hiukkasiin sitoutuneista metalleista.

Pölyä voi muodostua prosessitoiminnoista tai irtaantua kasoista ja muista kohteista liikenteen, tuulen tai materiaalien käsittelyn seurauksena. Merkittävät pistelähteet kuten savupiiput kuuluvat pääsääntöisesti veloitettarkkailun piiriin. Nämä raportoitavat hiukkaspäästöt kertovat vain osatotuuden toiminnan pölypäästöistä, sillä merkittävä osa pölyongelmista johtuu nykyään hajapölystä, jonka päästömäärän arviointi on lähes mahdoton tehtävä. Lisäksi vaikutusarviointia vaikeuttaa se, että terveydelle ja eliöille haitallisten alle 10 mikrometrin hiukkas-ten päästöosuudet pölypäästöistä puuttuvat.

Viime vuosikymmenen aikana pölyn hallintaa on pystytty parantamaan merkittävästi metallien valmistusvaiheessa. Tästä huolimatta ongelma on edelleen olemassa varsinkin terästeollisuuden tuotantolaitoksilla. Pölyhaittojen vähentämistä tulee jatkaa etenkin teräslevyjen ja -kelojen valmistuksessa, jossa muun muassa sintraamon pölypäästöjen eliminoimisella saataisiin merkittävä parannus pölyongelmaan. Pöly on koettu edelleen merkittäväksi haitaksi myös teräslankojen valmistuksessa.

Kaivostoiminnassa hienoksi jauhattu kivi, josta arvomineraalit on poistettu, aiheuttaa helposti ympäristön pölyyntymistä laajoilla alueilla. Tämän ns. rikastushiekkan pölyämisen estämiseen on varmasti syytä kiinnittää huomiota vielä monella kaivosalueella, vaikka tässä työssä kaivostoiminnan aiheuttamaa pölyämistä ei ole pystytty arvioimaan.

## **Muut päästöt**

Ilmaan joutuviin haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (VOC) sisältyvät myös pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP), joista ei ole kunnollisia päästöarvioita koko teollisuusalan osalta. Tämän ryhmän aineet, joihin kuuluvat muun muassa dioksiinit, furaanit ja polyaromaattiset hiilivedyt (PAH), aiheuttavat eliöille myrkyllisiä vaikutuksia pieninä pitoisuuksina pitkäaikaisaltistuksen seurauksena. POP-päästöjen vaikutusten arviointiin ei ole kuitenkaan kunnollisia menetelmiä. Näiden aineiden päästöjen vähentäminen on kuitenkin tärkeää, koska ne ovat pysyviä ja kaukokulkeutuvia sekä lisäksi kansainvälisen seurannan mielenkiinnon kohteena.

Vaikutusarvioinnissa VOC-päästöt arvioitiin vain alailmakehän otsonin muodostumisen näkökulmasta. Ainoastaan teräslevyjen ja -kelojen tuotannossa tarvittavan koksen, joka hankitaan ulkomailta, valmistuksen VOC-päästöt muodostuivat vaikutuspisteiden näkökulmasta merkittäviksi.

Malmipohjaisen teräksen valmistuksen öljypäästöt ja koksaaamon fenoli- ja syanidipäästöt veteen ovat ympäristönsuojelun kohdentamisalueita vaikutusarvioinnin tulosten perusteella. Teollisuus on sitoutunut ympäristöohjelmissaan vähentämään näitä päästöjä merkittävästi lähitulevaisuudessa.

## **6.3 Muut kohdentamisalueet**

### **Maankäyttö ja maisema**

Kaivostoiminta aiheuttaa merkittäviä vaikutuksia maankäyttöön ja maisemaan. Näitä vaikutuksia ei ole kuitenkaan arvioitu tuotteiden elinkaariarvioinneissa. Maankäyttöön ja maisemaan liittyvät vaikutukset muodostuvat pitkälle sen mukaan, kuinka laajan maa-alueen kaivostoiminta tarvitsee. Kaivosten maa-alueiden koko vaihtelee kymmenistä satoihin hehtaareihin riippuen siitä, rakennetaanko kaivos maan alle vai höydynnetäänkö malmi avoluohintana. Lisäksi kaivosalueelle täytyy rakentaa tieverkosto sekä sähkö- ja vesilinjat. Malmin rikastustoimin-

nan vesimäärien käsittely vaatii myös varastoaltaita, jotka varaavat suuria maa-alueita. Kaivos- ja rikastustoiminnan huolellisella suunnittelulla voidaan vaikuttaa käytönaikaisiin ja toiminnan päättymisen jälkeisiin ympäristövaikutuksiin.

### **Melu**

Tässä työssä on arvioitu vain metallien valmistusvaiheen aiheuttamat välittömät meluhaitat tuotantolaitosten ulkopuolella. Metallituotteiden ja valmistusten tarvitsemien raaka-aineiden kuljetusten aiheuttamat meluhaitat ovat suurimmillaan tuotantolaitoksille johtavien pääväylien läheisyydessä. Tämä melu ei ole ollut kuitenkaan mukana arvioinnissa.

Ympäristövaikutusanalyysin yhteydessä (luku 5) saatiin tulos, että tuotantolaitosten aiheuttamat meluhaitat ovat kokonaisuudessaan melko vähäisiä ja paikallisia. Ohjearvot ylittäviä melutasoja aiheuttavat erityisesti vanhat, osin asutuksen keskelle jääneet laitokset. Teräslevyjen ja -kelojen sekä anodikuparin ja nikkelin valmistuksissa meluhaitat koettiin merkittäviksi.

### **Pilaantuneet maa-alueet ja pohjavedet**

Metallien valmistus edellyttää rikasteiden, muiden raaka-aineiden ja jätteiden varastointia tuotantolaitoksilla. Ongelmallisimpien jätteiden osalta edellytetään nykyisin erityisiä teknisiä ratkaisuja teollisuuskaatopaikoilla ja välivarastoinnissa, jotta haitallisia aineita ei pääsisi ympäristöön. Vanhoilla tehdasalueilla ja teollisuuskaatopaikoilla on kuitenkin maa-alueita, joiden puhdistamiseksi tai eristämiseksi ympäristöstä on tarvetta tehdä tarkempia tilannearvioita. Erityisesti muokattujen kuparituotteiden sekä nikkelikatodien ja -brikettien tuotantolaitosten alueen maaperät muodostavat mahdollisia toimenpiteitä vaativan kohdentamisalueen. Rikkihappotehtaan toiminta on aikanaan aiheuttanut maa-alueen pilaantumista. Lisäksi kyseinen teollisuusalue on pilannut lähialueen vedenottamon. Myös ruostumattomien teräsnauhojen valmistuksen vanhojen teollisuuskaatopaikka-alueiden maaperät koettiin ympäristöanalyysin yhteydessä ongelmakohteiksi.

Ilmaan joutuvat metallipäästöt laskeutuvat karkeamman hiukkaspäästöjakeen mukana enimmäkseen metallien tuotantolaitosten lähialueille. Varsinkin kuparin, nikkelin ja sinkin valmistuksen aikaisemmat suuret metallipäästöt ilmaan ovat näkyvissä tuotantolaitosten lähialueen maaperän kohonneina metallipitoisuuksina siten, että paikka paikoin voidaan puhua pilaantuneista maa-alueista. Alueiden laajamittaiseen puhdistamiseen on tuskin taloudellisesti käyttökelpoisia teknisiä valmiuksia lähitulevaisuudessakaan. Tällaisten alueiden ja niissä esiintyvien aineiden uhkatekijöiden arviointiin tulisi panostaa tulevaisuudessa, jotta ymmärrettäisiin alueiden käyttörajoitukset ja mahdolliset toimenpidetarpeet nykyistä paremmin.

Edellä on käsitelty valmistusvaiheesta aiheutuvia maaperän ja pohjavesien saastumisnäkökohtia. Metallien kaivos- ja rikastustoiminnasta voi myös seurata ongelmia maaperän ja pohjavesien laadulle, mitä ei ole kuitenkaan arvioitu metallituotteiden elinkaariarviointien yhteydessä.

### **Haju**

Metallien jalostuksen hajuhaitat arvioitiin valmistusvaiheessa vähäisiksi. Ainoastaan teräslevyjen ja -kelojen valmistuksessa tervan ja rikkivedyn hajut koettiin merkittäviksi.



## 6.4 Tutkimus- ja kehittämistarpeita

Metallien jalostuksen ympäristöteknologian tutkimus- ja kehitystyön keskeisenä kohteena ovat suljetut prosessit, joissa raaka-aineet ja energia hyödynnetään tehokkaasti. Varsinaisten päätuotteiden paremman saannon lisäksi tulee raaka-aineista pyrkiä kaikin tavoin erottamaan sivutuotteita, jolloin ekotehokkuuden tavoite "tuotetaan vähemmästä enemmän" toteutuu mahdollisimman hyvin. Samalla taataan se, että päästöjä ja loppusijoitettavaa jätettä syntyy mahdollisimman vähän.

Metallituotteiden uudelleenkäyttö- ja kierrätyskelpoisuuden lisääminen on yksi metallien jalostuksen tulevaisuuden ympäristöhaasteita. Loppu- ja puolituotevalmistajien tulisi suunnitella tuotteensa siten, että niiden hylkäämisvaiheessa metalliosat voidaan helposti erottaa ja palauttaa romuna metallien valmistukseen. Tämä edellyttää metalleja sisältävien tuotteiden valmistajien, jakelun ja kaupan välisen yhteistoiminnan kehittämistä siten, että tuotteiden metalliosat palautuvat mahdollisimman kustannustehokkaasti metallikiertoon.

Metallien ja romun kierrätyksen jatkotutkimusta tulisi suunnata erityisesti seuraaviin kysymyksiin:

- kansantalouteen sitoutunut metallivaranto (kansantalouden romupotentiaali), erityisesti lopputuoteromun kertymän arviointi
- romun kierrätyksen kokonaistaloudellinen optimointi (selvitys siitä, mistä ja mitä kannattaa ekologisesti ja taloudellisesti kerätä ja kierrättää)
- pinnoitettujen (erityisesti sinkittyjen) terästuotteiden ja muiden pinnoitettujen romujen prosessointi ja kierrätys
- romun käytön laskentaperusteet elinkaariarvioinnissa

Metallien kierrätys- ja uudelleenkäyttönäkökohtien lisäksi tuotesuunnittelussa tulisi kehittää metallijalosteiden ominaisuuksia siten, että lopputuotteiden elinkaariaikaiset ympäristövaikutukset jäisivät mahdollisimman vähäisiksi. Pitkällä tähtäyksellä tavoitteena on vähentää metallien käytön määrää globaalisesti esimerkiksi kehittämällä pitkäikäisempiä sekä rakenteeltaan kevyempiä ja lujempia metallijalosteita lopputuotteiden ominaisuuksista tinkimättä. Samalla on kuitenkin kehitettävä suunnittelukäytäntöä siten, ettei tuotteen yhdessä ominaisuudessa saavutettu parannus vaaranna tuotteen valmistuksen ekotehostumista kokonaisuuden kannalta. Tällaisen suunnittelukäytännön kehittäminen vaatii tuekseen myös tutkimustietoa itse ekotehokkuuden käsitteestä.

Yleistä päästötietoutta tarvitaan lisää pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP) ja hienojakoisen pölyn (hiukkaskoko alle 10 mikrometriä) osalta. Metallien erilaiset esiintymismuodot päästöissä ja niiden päästömäärät tulisi myös selvittää, mikä antaisi paremman perustan metallien vaikutusten arvioinnille.

Jätteiden hyötykäytön lisäämiseksi ja suuntaamiseksi jätejakeiden vaihtoehtoisten hyödyntämistapojen ympäristöhaitat ja -hyödyt tulisi selvittää elinkaariarvioinnin periaatteiden mukaisesti. Ennen jätejakeiden hyötykäyttöä niihin liittyvät riskitekijät tulee arvioida ja menettelytapoja tulee kehittää.

Metallin jalostuksen aiheuttamien haitallisten aineiden vaikutuksista ympäristöön tarvitaan lisää tietoa. Ympäristön tilan seuranta tulee kehittää ympäristöriskien arvioinnin pohjalta. Tämä merkitsee muun muassa jatkuvien päästöjen osalta sitä, että haitallisten aineiden mitattuja pitoisuustasoja ympäristössä pyritään suhteuttamaan ekologiisiin vasteisiin sekä laskennallisesti että koejärjestelyjen avulla.

Elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnin merkittävät puutteet liittyvät myrkyllisten, pysyvien ja ravintoketjussa kertyvien aineiden arviointiin. Vaikutusarviointia tulee kehittää etenkin metallien osalta luotettavampaan suuntaan. Metallien vaikutusarvioinnin kannalta olisi tärkeää selvittää metallien taustapitoisuu-

det Suomen vesistöissä ja maaperässä. Samoin maankäyttöön ja maisemaan liittyvien ympäristöasioiden arviointiin tulee kehittää menetelmiä ja tällaiset tiedot tulisi sisällyttää myös metallijalosteiden elinkaariarviointiin. Elinkaariarviointien vaikutusarviointimetodologian haasteena on saattaa globaalit ja paikalliset ympäristövaikutukset samaan arviointikehikkoon kaikki tuotteen elinkaarivaiheet huomioonottaen. Nykyisellään vaikutusarviointi sivuuttaa paikalliset vaikutukset, joiden hallinta on kuitenkin yritysten ympäristönsuojelutyössä keskeisessä asemassa.

Metallijalosteiden elinkaari-inventaarioita tulisi kehittää siten, että tietyn tuotteen valmistuksessa käytettyjen raaka- ja apuaineiden elinkaariaikaiset syötteet ja tuotokset vastaisivat todellisten hankintaketjujen tietoja. Tällä hetkellä metallijalosteiden elinkaari-inventaarioissa lähinnä vain valmistuksen ja kuljetussuoritteiden tiedot ovat todellisia. Muiden elinkaarivaiheiden tiedot ovat pääsääntöisesti erilaisia keskiarvotietoja.

## Yhteenveto ja johtopäätökset

Työssä on esitetty Suomen metallien jalostusteollisuuden tuotteille, metallijalosteille, laadittujen elinkaari-inventaarioselvitysten perusteet ja keskeiset tulokset. Elinkaari-inventaariotietojen perusteella on luotu käsitys Suomessa tuotettujen metallijalosteiden materiaalien ja energian käytöstä sekä päästöistä ja jätteistä. Inventaariotietojen tulkintaan on käytetty vaikutusarviointimenetelmää, jolla on muodostettu kokonaiskuva Suomen metallien jalostusteollisuuden aiheuttamista keskeisimmistä ympäristöön vaikuttavista tekijöistä ja ympäristövaikutuksista. Elinkaariarviointeihin pohjautuvaa aineistoa on käytetty myös tunnistettaessa metallien jalostuksen ympäristönsuojelutoimenpiteiden kohdentamisalueita ekotehokkuuden näkökulmasta.

### Suomen metallien jalostuksen materiaalien ja energian käyttö sekä päästöt ja jätteet

Työssä tarkasteltavat metallijalosteet ovat (1) teräslevyt ja -kelat, (2) terästangot, (3) teräslangat, (4) ruostumattomat teräsnauhat, (5) muokatut kuparituotteet, (6) nikkelikatodit ja -briketit, (7) sinkkiharkot ja (8) alumiiniharkot. Kullekin tuotteelle on laadittu elinkaari-inventaarioselvitys, jossa metallijalosteen tuotantoon liittyvät materiaalisyötteet, primäärienergian käyttö, päästöt veteen ja ilmaan sekä jätteet on esitetty raaka-aineen hankinnasta tehtaan portille. Inventaarioselvityksen tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä sekä inventaarioanalyysissä on käytetty kansainvälisten metallijärjestöjen teettämien elinkaari-inventaarioselvitysten lähtötietoja, rajauksia ja menetelmällisiä valintoja. Lisäksi elinkaari-inventaarioanalyysien laadinnassa on pyritty noudattamaan kansainvälisen standardisointijärjestön elinkaariarviointeja koskevia standardeja ISO 14040 ja 14041.

Työssä esitettyjen eri metallijalosteiden inventaariotietoja ei voida vertailla keskenään, koska niiden käyttötarkoitukset ja valmistusprosessit eroavat toisistaan. Inventaariotietojen tulkinnan kannalta on tärkeää tiedostaa se, kuinka tarkasteltava metallijaloste sijoittuu romuvirtojen käytössä ts. onko metallijaloste valmistettu romupohjaisella tai malmipohjaisella prosessilla. Nykyisen elinkaariarviointilaskennan valossa metallijalosteiden inventaariotiedot ovat aivan erilaisia riippuen siitä, kuinka paljon tuotantolaitosten ulkopuolelta tuotua romua käytetään metallijalosteiden valmistuksessa. Mitä enemmän ulkopuolista romua käytetään, sen edullisemmaksi metallijalosteen inventaariotiedot muodostuvat ympäristökuormituksen kannalta. Esimerkiksi Suomessa valmistetaan vain romupohjaista sekundäärialumiinia, jonka valmistuksen ympäristöhaitat ovat murto-osa ulkomailla tehtävän primäärialumiinin valmistuksesta. Elinkaari-inventaarion laskentasäännöt eivät kuitenkaan ota huomioon sitä tosiasiaa, että myös alumiinromu on aikanaan valmistettu malmipohjaisesta raaka-aineesta. Sinkin, kuparin ja nikkelin tuotannossa Suomen metallien jalostusteollisuus on puolestaan toisenlaisessa tilanteessa, koska näiden metallien tuotanto perustuu Suomessa käytännössä malmipohjaiseen tuotantoon. Suomessa teräksen tuotanto perustuu noin 80-prosenttisesti malmipohjaiseen tuotantoon. Nykyisen laskentakäytännön valossa romupohjaisten ja malmipohjaisten metallijalosteiden inventaariotietojen

vertailua ei voida tehdä. Ainoastaan samanlaisia tuotteita, jotka on tehty romun käytön kannalta vastaavilla prosesseilla, voidaan vertailla elinkaariarviointimielessä keskenään.

Metallijalosteiden tuotannon suurimmat materiaalivirrat kytkeytyvät kuparin, nikkelin ja sinkin tuotantoon, sillä niiden kaivostoiminnassa ja malmin rikastuksessa syntyy runsaasti sivukiveä ja rikastushiekkaa malmien pienten metallipitoisuuksien takia. Nämä ns. piilovirrat eivät näy tuotantopanoksäärissä, mutta niillä on hallitseva rooli kyseisiin metallijalosteisiin liittyvässä luonnonvarojen kokonaiskäyttömäärässä. Myös ruostumattoman teräksen materiaalivirrat muodostuvat suureksi ferrokromin ja nikkelin kaivostoiminnan ja malmin rikastuksen materiaalien kautta. (Ruostumattoman teräksen tuotantopanoksena käytetään noin 10 prosenttia nikkeliä, johon kytkeytyy suuret piilovirrat). Sen sijaan seostamattomissa terästuotteissa piilovirtojen määrät ovat huomattavasti pienemmät rautamalmin suuren rautapitoisuuden takia. Sivukivet ja rikastushiekat luokitellaan jätteeksi, minkä takia metallijalosteiden suurimmat jätemäärät muodostuvat kaivostoiminnassa ja malmin rikastuksessa. Näiden jätteiden ympäristövaikutukset ovat kuitenkin vähäisemmät kuin valmistusvaiheen, jossa jätemäärät ovat myös huomattavat.

Työssä on vertailtu Suomen metallien jalostusteollisuuden tuotteiden primäärienergian ominaiskulutusta ja ominaispäästöjä vastaavien tuotteiden muualla tehtyjen tutkimusten tuloksiin. Suomen metallien jalostuksen primäärienergian kulutus tuotettua metallijalostemäärää kohti on näiden tutkimusten valossa kansainvälistä keskiarvotasoa. Myös hiilidioksidin, rikkidioksidin ja typen oksidien ominaispäästöt Suomen metallienjalostusteollisuudessa ovat tutkimusten osoittamaa keskiarvotasoa. Kuparin ja nikkelin tuotannon rikkidioksidin sekä ilmaan menevien metallien ominaispäästöt ovat liekkisulatusmenetelmän ja tehokkaiden hiukkaserottimien ansiosta erityisen alhaiset. Kuparin ja nikkelin tuotannon metallipäästöt veteen ovat tutkimusten keskiarvotasoa. Sama pätee sinkin tuotannon metallien ominaispäästöille sinkkiä lukuun ottamatta. Sinkin ominaispäästöt ovat kansainvälisiin tutkimustuloksiin verrattuna suuret. Ero saattaa johtua erilaisista laskentaperusteista.

Tässä selvityksessä esitettyjä materiaalien ja energian käyttö- ja päästötietoja voidaan rajoitetusti käyttää lopputuotteiden elinkaariarviointien lähtötietoina, kun edellä esitetyt näkökohdat otetaan huomioon tulosten tulkinnessa. Inventaariotietojen käyttöä ajatellen on myös hyvä tiedostaa, että varsinkin sellaisten metallijalosteiden, joiden valmistuksessa ulkoinen sähköenergia näyttelee merkittävää roolia, rikkidioksidin ja ilmaan menevien metallien ominaispäästökertoimet ovat herkkiä elinkaarilaskennan taustalla olevalle sähköntuotantomallille. Tässä työssä on sovellettu Suomesta ostetulle sähkölle sähköntuotantomallia, joka ottaa huomioon Suomen voimalaitosten ympäristöteknologian tason. Kansainvälisten selvitysten metallijalosteiden elinkaari-inventaarioselvityksien ostosähkön laskenta perustuu Suomen energiatuotantotapojen jakaumaan, mutta siinä käytetään muiden kuin Suomen voimalaitosten päästöjen ominaispäästökertoimia. Suomen hiilivoimaloiden tehokkaat rikinpoistolaitteet ja hiukkasten erotuslaitteet johtavat huomattavasti alhaisempiin rikkidioksidin ja ilmaan joutuvien metallien ominaispäästökertoimiin, minkä seurauksena kansainvälisissä töissä Suomen metallijalosteiden rikkidioksidin ja ilmaan menevien metallien ominaispäästökertoimet ovat merkittävästi liian suuret.

## Ympäristövaikutusten arviointi

Inventaariotiedot on analysoitu päätösanalyysiin ja elinkaariarvioinnissa käytäviin menetelmiin perustuvalla vaikutusarviointimallilla. Käytetty vaikutusarviointimalli poikkeaa elinkaariarvioinnissa tavallisesti sovellettavasta lähestymistavasta siinä, että mallissa otetaan huomioon karkealla tavalla päästölähteen sijainti vaikutusten suuruuden arvioinnissa. Lisäksi mallissa on pystytty päätösanalyysin tekniikoiden ja arvottamisen avulla yhdistämään globaalit ja paikalliset ympäristöasiat samaan arviointikehikkoon. Erilaisten vaikutuskokonaisuuksien, vaikutusluokkien, yhdistämisessä käytettiin arvottamista, jossa suomalaiset ympäristöalan asiantuntijat antoivat näkemyksensä erilaisten ympäristöhaittojen vähentämisen keskinäisestä tärkeydestä.

Ympäristövaikutusten arviointiin liittyvistä epävarmuuksista ja epätäydellisyyksistä huolimatta voidaan sanoa, että eri metallijalosteet aiheuttavat eri tavalla ympäristövaikutuksia eri elinkaarivaiheissa. Teollisuusala ei ole mitenkään yhtenäinen ympäristövaikutusten kannalta. Malmipohjaisen teräksen tuotannon päästöhaitat syntyvät suurimmaksi osaksi valmistusvaiheessa, jossa hiilidioksidipäästöt näyttelevät keskeistä osaa. Kuparin, nikkelin ja sinkin tuotannossa kaivostointi ja malmin rikastus aiheuttavat suurimmat päästöhaitat. Näiden metallien rikasteiden pitkät laivakuljetukset aiheuttavat myös merkittävän osuuden tuotantoketjujen hiilidioksidi-, rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiilivetypäästöistä. Kolmen viimeksi mainitun päästön ympäristövaikutukset eivät ole kuitenkaan niin suuria kuin jos ne tapahtuisivat maaympäristössä. Sinkin valmistuksen suuri ostoenergian osuus näkyy selvästi tuotteen ympäristövaikutusprofiilissa. Romupohjaisessa terästankojen valmistuksessa, joka perustuu sähköenergiaa käyttävään valokaariuuniprosessiin, ostoenergia näyttelee myös merkittävää roolia. Ruostumattoman teräksen valmistuksen suuresta sähköenergiatarpeesta huolimatta ostoenergia ei näyttele tuotteen ympäristövaikutusprofiilissa niin huomattavaa roolia kuin ferrokromin valmistus ja muiden raaka-aineiden käyttö. Erityisesti nikkelin käyttö lisää ruostumattoman teräksen kokonaiskuormitusta ympäristöön.

Ympäristövaikutusten arvioinnissa ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen vaikutusarviointi on tieteellisesti parhaiten perusteltavissa. Jos näille vaikutusluokille käyttää tässä työssä saatuja arvottamisen keskiarvotuloksia, saadaan vaikutusarviointimallilla tulos, jossa Suomen metallien jalostusteollisuus ulkomaantoiminnot mukaan lukien aiheuttaa ko. neljän vaikutusluokan osalta ympäristössä vasteen, joka on noin 8 % koko Suomen päästöjen aiheuttamasta vasteesta. Noin kolmasosa näistä metallijalosteiden tuotannon aiheuttamista kuormitustekijöistä tapahtuu ulkomailla. Metallien jalostuksen rehevöittävien päästöjen merkitys ympäristövaikutusten aiheuttajana on selvästi pienet.

Metallien jalostus aiheuttaa Suomessa merkittävän osan koko Suomen metallipäästöistä. Metallipäästöjen vaikutukset liittyvät ekotoksisuuteen ja terveysvaikutuksiin, joiden arviointiin ei ole kunnollisia menetelmiä. Työssä tehty metallipäästöjen vaikutusten arviointi jouduttiin perustamaan pitkälle asiantuntijoiden subjektiivisiin arviointeihin. Suhteellisen suuresta päästöosuudesta huolimatta metallijalosteiden metallipäästöt eivät nousseet vaikutusarvioinnissa merkittävään asemaan muutamaa metallijalostetta lukuun ottamatta. Todettakoon, että Suomen metallipäästöt ovat kokonaisuudessaan laskeneet merkittävästi 1990-luvun aikana.

Metallijalosteiden ympäristövaikutuksia arvioitiin kaikkien elinkaarivaiheiden osalta vain päästöjen aiheuttamien vaikutusten näkökulmasta. Valmistusvaiheen aiheuttamat ympäristövaikutukset arvioitiin kattavammin. Edellä mainittujen vaikutusluokkien lisäksi asiantuntijat arvioivat maankäyttöön ja muihin kuormitustekijöihin liittyvät paikalliset vaikutukset. Nämä normaalisti elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnin ulkopuolelle jäävät vaikutukset osoittautuivat valmis-

tusvaiheessa lähes yhtä merkittäviksi kuin ns. perinteiset elinkaariarvioinnissa mukana olevat päästöihin liittyvät vaikutusluokat. Metallijalosteiden valmistuksessa syntyvät monet jätteet koetaan ongelmaksi. Pölyongelma on edelleen olemassa varsinkin terästeollisuuden tuotantolaitoksilla. Ohjearvoja ylittäviä melutasoja aiheuttavat erityisesti vanhat, osin asutuksen keskelle jääneet laitokset. Pilaantuneet maa-alueet koettiin ongelmana etenkin kuparin ja nikkelin tuotantolaitosalueella.

Kaivostoiminta ja malmin rikastus aiheuttaa maankäyttöön ja maisemaan liittyviä vaikutuksia, joita ei ole pystytty tämän työn puitteissa arvioimaan. Valmistusvaiheen vaikutusten kattava arviointi antoi kuitenkin näyttöä siitä, että elinkaariarvioinneissa tavallisesti arvioidtavat päästöt eivät riitä yksin kuvaamaan kokonaisvaikutuksia. Elinkaariarvioinnissa maankäyttöön ja maisemaan liittyvien ympäristöasioiden arviointiin tulee kehittää menetelmiä ja tällaiset tiedot tulisi sisällyttää tulevaisuudessa myös metallijalosteiden elinkaariarviointiin.

### **Metallien jalostuksen ekotehostumiseen liittyviä näkökohtia**

Suomen metallien jalostus käyttää kaikki elinkaarivaiheet huomioon ottaen 147 000 TJ primäärienergiaa, joka vastaa noin 11 prosenttia koko Suomen primäärienergiasta. Metallien jalostusteollisuuden tuotannon kasvu ja korkealle jalostettujen tuotteiden osuuden lisääminen nostavat teollisuusalan energiankulutusta, vaikka tuotteiden energian ominaiskulutukset ovat olleet alenevia. Määrätietoinen energian käytön tehostaminen on tulevaisuudessa edelleen teollisuusalan avaintehtäviä, jolla pystytään vaikuttamaan merkittäväällä tavalla päästöihin ja luonnonvarojen käyttöön.

Metallien etuna moniin muihin materiaaleihin nähden on se, että metallituotteet voidaan lähes täysin kierrättää. Romun käyttö metallien valmistuksen raaka-aineena on toimintaa, jossa sekä taloudellisuus että ympäristövaikutusten väheneminen ovat samanaikaisia ja -suuntaisia ilmiöitä. Vaikka metallituotteiden uudelleenkäyttö- ja kierrätyskelpoisuuden lisääminen on ekotehokkuuden kannalta toivottava suuntaus, tarpeetonta kierrätystä tulee välttää. Pitkällä tähtäyksellä ekotehostumista on nimenomaan se, että metallien käytön määrää vähennetään kehittämällä ja hyödyntämällä paremmin materiaalien ominaisuuksia sekä lisäämällä metallituotteiden käyttöikä.

Yleisesti ottaen kaikki käyttökelpoinen saatavilla oleva romu käytetään Suomessa hyödyksi metallituotteiden valmistuksessa. Tuotteiden käytöstä poistamisessa syntyvän romun potentiaaliset lisäysmäärät ovat Suomessa kokonaisuuden kannalta vähäiset, vaikka globaalisesti romun määrä tulee lisääntymään tulevaisuudessa. Romun selvä lisääminen metallien jalostusteollisuutemme tuotantopanosena onnistuu vain kasvattamalla romun tuontia.

Malmipohjainen ja romupohjainen metallien tuotanto muodostavat toisiaan täydentävän kokonaisuuden metallivirroissa. Globaalisti tapahtuu ekotehostumista silloin, kun malmi- ja romupohjainen metallien valmistus tapahtuu tuotantolaitoksilla, joiden teknologinen taso on parhaan käyttökelpoisen tekniikan mukaista. Globaalia romun käytön optimointia ympäristönäkökulmasta on kuitenkin vaikea toteuttaa markkinataloudessa, minkä takia romuvirtojen käytön ekotehostamista on helpointa kehittää konsernien sisällä.

Ekotehokkuutta voidaan parantaa tuottamalla tietystä raaka-ainemäärästä enemmän metallijalosteita ja sivutuotteita sekä toimittamalla syntyneet jätteet hyötykäyttöön. Sivutuotteiden ja hyötykäyttöön menevien jätteiden avulla vältetään toimintoilta, joita muutoin tehtäisiin ilman niitä. Metallijalosteiden tuotannosta syntyvät hyödynnettävät kuonat, jätelämpö, sähköenergia, rikkihappo ja koksamon sivutuotteet (kivihiiliterva, bentseeni ja rikki) saavat aikaan vajaan 5 prosentin vaikutusvähennyksen siihen vaikutukseen nähden, jonka Suomen metallien jalostuksen aiheuttamat päästöt tuottavat.

Metallijalosteiden elinkaariaikaisista jätteistä valmistusvaiheen jätejakeet ovat ympäristönsuojelun kannalta ongelmallisimmat. Vuonna 1997 valmistusvaiheessa syntyi noin 2,5 miljoonaa tonnia jätettä, josta vähän yli puolet ohjattiin hyötykäyttöön. Metallien jalostusteollisuuden jätemäärien vähentämiseen ei ole näköpiirissä suuria muutoksia eikä hyödyntämistason kohottamiseen ole nopeita ratkaisuja tiedossa lähitulevaisuudessa. Tutkimus- ja kehitystyötä tulee tehdä etenkin sakkujen, lietteiden ja pölyjen hyötykäytön lisäämiseksi.

Metallien jalostusteollisuutemme hyvästä päästöjen hallintatilanteesta huolimatta hiilidioksidin, rikkidioksidin, typen oksidien, metallien ja pölyn päästöjen vähentämistä tulee jatkaa. Kullakin metallijalosteella päästöaineet nousevat eri tavalla ympäristövaikutusten näkökulmasta esiin, minkä takia metallijalosteilla eri aineita vähentämällä saavutetaan erilaisia hyötyjä ympäristössä. Ympäristön seuranta ja sitä kautta tapahtuvaa vaikutusten arviointia tulee kehittää varsinkin haitallisten aineiden osalta siten, että ympäristönsuojelutoimenpiteet tulevat kohdennetuiksi mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti. Ulkoisten puhdistustoimintojen tehostamisella on oma vaikutuksensa hyvän lopputuloksen kannalta etenkin hiukkasten ja sitä kautta metallipäästöjen rajoittamiseen. Pitemmällä tähtäyksellä parhaan ympäristönsuojelullisen lopputuloksen takaa materiaali- ja energiahyötysuhteiden parantaminen prosesseissa, koska sitä kautta vaikutetaan päästöjen lisäksi myös muihin luonnonvarojen käyttöön liittyviin ympäristöasioihin.

Työ on osoittanut, että elinkaariarviointiin pohjautuva tietoaineisto avaa uudenlaisia mahdollisuuksia yrityksen ympäristöasioiden suunnitteluun ja seurantaan sekä ympäristömyötäisten tulosten esittämiseen. Elinkaariarviointiin pohjautuva tietoaineisto mahdollistaa muun muassa erilaisten raaka-aineketjujen vaikutusten merkityksen arvioinnin, minkä takia tehdään ulkopuolisen inventaarioaineiston tulisi vastata mahdollisimman hyvin todellisten hankintaketjujen tietoja maailman keskiarvotietojen sijasta. Alihankkijoiden ympäristösaavutukset voidaan liittää sitä kautta oman tuotteen ekotehostumiseksi. Elinkaariarvioinnin hyödyntämisen ei kuitenkaan tulisi rajoittua vain oman toiminnan parempaan ymmärtämiseen raaka-aineen hankinnasta tehdään portille, vaan elinkaariarviointisovellukset tulisi laajentaa koskemaan metallijalosteiden koko elinkaaren. Sitä kautta saadaan uutta näkemystä tuotesuunnitteluun, jolla voidaan vaikuttaa metallituotteiden kierrätettävyyteen, kestoikään, keveyteen ja muihin ekotehokkuuden kannalta keskeisiin tuoteominaisuuksiin.

# Summary and conclusions

In the report, the point of departure and main results of the life cycle inventories made for the most import products of the Finnish metals industry are first presented. An overall picture of the use of materials and energy and the emissions and wastes caused by the metals industry is then given. The inventory data were interpreted by an impact assessment method. Its results identify the most harmful interventions (emissions, land use etc.) and environmental impacts caused by the various life cycle stages of the products of the Finnish metals industry. The data based on life cycle assessments (LCAs) have also been used to identify the major measures of environmental protection needed from the point of view of eco-efficiency.

## Use of materials and energy and formation of emissions and wastes

The metal products studied were (1) steel plates and hot rolled coils, (2) steel bars, (3) steel wires, (4) stainless steel coils, (5) copper products, (6) nickel cathodes and briquettes, (7) zinc ingots and (8) aluminium ingots. For each metal, a life cycle inventory study was carried out in which material inputs, primary energy use, emissions to water and air and wastes related to metal production were assessed, beginning from the extraction of raw materials and ending with the delivery of products from the factories. Data, restrictions and methods applied by the international metal associations were used in the goal and scope definitions and in the inventory analyses. In addition, the aim was to compile inventory analyses according to the recommendations of the International Organisation of Standardisation (ISO 14040 and 14041).

It is not possible to compare the inventory data of the metal products of the study with each other, because their end-uses and manufacturing processes are different. For the interpretation of the inventory data, it is important to recognise the use of metal scrap in the process, i.e. whether the metal is manufactured by an ore-based or a scrap-based process. In accordance with the calculation rules of LCAs at present, we may obtain different inventory results depending on the use of scrap purchased from outside the mills. Greater the use of purchased scrap, the less are the adverse effects on the environment caused by mills. In Finland, for example, only scrap-based secondary aluminium is manufactured, the adverse effects of which are small compared to those caused by the manufacture of primary aluminium abroad. The calculation rules of the life cycle inventory do not however take into account the fact that the aluminium scrap has also originally been manufactured from ore-based raw materials. The Finnish zinc, copper and nickel productions are in a different situation, because these metals are manufactured by ore-based processes. In Finland about 80% of steel production is based on ore. From the point of view of current calculation practices, scrap-based and ore-based metals cannot be compared with each other. Only the same kinds of products, manufactured by similar ore-based or scrap-based processes, can be compared within the LCA context.



The largest material flows are related to copper, nickel and zinc productions, because their mining operations and concentration processes cause considerable amounts of waste rocks and tailings due to the low metal concentrations of ores. These so-called hidden flows are not included in the statistics of the inputs of metal productions. However, they have a major role with regard to the total material requirement (TMR) of the production of these metals. The total material flows of stainless steel are also large mainly due to the concentration processes and mining operations of ferrochrome and nickel (nickel is related to high hidden flows and the inputs of stainless steel production contain about 10 % nickel). By contrast, the hidden flows of steel production are much smaller because of higher iron concentrations in the iron ore. The mining operations and concentration processes in general produce the bulk of wastes in the production of metals, because waste rocks and tailings are classified as waste. However, the environmental impacts of these wastes are smaller than those caused by the manufacturing plants, in which the amounts of waste are also significant.

In the study, primary energy consumption and emissions per tonne of metal produced in the Finnish metals industry were compared with the results of corresponding products studied in international investigations. On the basis of these results, the primary energy consumption of the Finnish metal production industry corresponds to the average level reported in the investigations. The emissions of carbon dioxide, sulphur dioxide and nitrogen oxides per tonne of metal produced are also close to the average levels. However, it is worthy of note that the atmospheric emissions of sulphur dioxide and metals caused by copper and nickel production are particularly low in Finland due to the flash smelting process and the use of efficient particle cleaning equipment. The metal emissions into watercourses, caused by copper and nickel productions, are at the average levels reported in other studies. The same applies to metal emissions per tonne of zinc produced. Only the zinc emissions per tonne of zinc produced in Finland are high compared with the figures reported in international studies. This difference may be explained by different rules of calculation used in the various studies.

The data of the use of materials and energy and the emissions, produced in this study, can be used as input data of life cycle assessments of metallic end-products, if the reservations expressed above are taken into account. It is also essential to understand that the emissions of sulphur dioxide and metals to the air per tonne of metal produced are highly sensitive to the electricity production model used in LCA, if electricity production outside the plant has an important role in the manufacture of a metal product. In this study, an electricity production model was applied which takes into account the technological level of the Finnish power plants. In the inventory analyses of international studies, the calculation of electricity production outside mills is based on the distribution of the Finnish energy production models, but the specific emissions, per MJ produced, are not those of the Finnish power plants. The efficient sulphur and particle cleaning equipment of the Finnish coal power plants yields in reality remarkably lower atmospheric emissions of sulphur dioxide and metals per tonne of produced metal. This leads to unrealistically high emissions reported for the Finnish metal production industry in international studies.

## **Environmental impact assessment**

The inventory data was analysed by an impact assessment model based on decision analysis and methods used in life cycle impact assessment. The impact assessment model differs from the normal approach applied in LCA in that the location of emission sources is taken into account in determining the magnitude of effects. In addition, in the model used, it is possible to combine the global and

local environmental issues in the same framework by using techniques and valuation based on decision analysis. An overall impact, aggregating the impacts of the various impact categories, was calculated using a valuation task in which Finnish experts working with environmental issues expressed their opinions about the relative importance of different impacts from the point of view of decreasing the adverse effects in an integrated manner.

Despite uncertainty and incompleteness involved in the environmental impact assessment, it can be stated that the various metals cause different environmental impacts along their life cycle stages. The metals industry sector is thus not at all homogenous from the point of view of its environmental impacts. The adverse effects caused by the emissions of ore-based steel production mainly originate from the manufacturing stage. In this life cycle stage, the carbon dioxide emissions are significant. In copper, nickel and zinc production, the most detrimental effects are caused by mining operations and concentration processes. The long sea transports of metal concentrates also cause significant emissions of carbon dioxide, sulphur dioxide, nitrogen oxides and volatile organic compounds compared to emissions caused by the other life cycle stages of the production of these metals. However, the environmental impacts of these compounds caused by sea transport are lower than if these emissions were released to a terrestrial environment.

The effects of the large proportion of energy purchased outside the mill are shown in the environmental profile of the zinc products. Purchased electricity also has an important role in the manufacture of scrap-based steel, in which the electric arc furnace process is used. The manufacture of stainless steel requires high amount of energy (about 4% of the total electricity consumption in Finland). However, the energy production outside the mill does not play as important a role in the environmental profile of stainless steel products as the manufacture of ferrochrome and the use of other raw materials. The use of nickel, in particular, increases the environmental impacts of stainless steel.

In the LCAs, the impact assessments of climate change, acidification, tropospheric ozone formation and aquatic eutrophication have the best scientific basis. A starting point for the impact calculations in this study were the results of impact category weights obtained from the valuation task performed during the study. According to the results based on the four impact categories above, the total environmental stress caused by the Finnish metal production industry, taking into account all the life cycle stages of the products, is equal to approximately 8% of the total environmental burden caused by Finland's overall domestic emissions. About one third of the environmental response of the Finnish metals industry takes place abroad. In the case of aquatic eutrophication, the emissions of the Finnish metal production industry have little impact.

The manufacture of metals produces a significant portion of the total emissions of metals released to the environment in Finland. The effects of these emissions are related to ecotoxicity and human health. For these impact categories, however, there are no good assessment methods. Therefore, in the study the environmental impact assessment of metal emissions was based on decision analysis using expert judgements. According to this assessment the metal emissions of metals production have no significant role within the LCA context, although the manufacture of metal products does produce the bulk of the Finnish metal emissions.

Only emissions were taken into account in the environmental impact assessment covering all life cycle stages. The manufacturing stage was also assessed from the point of view of other interventions causing local effects (e.g. land use). These local impacts are typically omitted in life cycle impact assessments. In this study they turned out to be almost as important as the effects included in the traditional impact categories. Several fractions of waste caused by the manufac-

ture of metals are considered to be problems. The dust problem still exists especially in the manufacture of steel. Furthermore, some old plants situated within urban municipalities cause noise which is above the recommended maximum limits. Soil contamination is also considered as a problem in the manufacturing areas of copper and nickel.

The mining operations and concentration processes have impacts on land use and landscape, but these effects were not assessed in this study because of the lack of suitable methodology. A more detailed assessment of the manufacturing stage, carried out in this study, provided evidence that the impacts assessed in the traditional LCA applications do not cover all important environmental impacts. Methodology for the land use and landscape issues should be developed and corresponding impacts should be included in LCAs in the future.

### **The eco-efficiency of metals production**

The Finnish metal production industry, taking into account all life cycle stages, consumes 147 000 TJ of primary energy. This corresponds to approximately 11% of the total primary energy consumed in Finland. The energy use of the metal production industry tends to increase due to the growth of production and the increased proportion of highly refined products, although the energy consumption per tonne of metals produced is decreasing. Energy efficiency improvement continues to be one of the key environmental issues in this industry. Reduction of energy consumption is also an effective way to reduce emissions and the use of natural resources.

One of the assets of metals compared with many other materials is that metal products can be almost entirely recycled. Simultaneously, the use of scrap for the manufacture of metals has positive effects on both environmental impacts and economy. Although increasing the recyclability and reusability of metals is a desirable trend from the point of view of eco-efficiency, unnecessary recycling should be avoided. In the long term, eco-efficiency can be improved by decreasing the use of metals by developing and utilising properties of materials and by increasing the life times of metallic end-products.

In general, all useable and available scrap is utilised for the manufacture of metals in Finland. Additional potential amounts of scrap due to wasted end-products are small compared to the total demand for scrap in Finland, although in the future the amounts of scrap will grow globally. The only possible way to notably increase the use of metal scrap in the Finnish metals industry is to increase the import of scrap.

Ore-based and scrap-based metal productions form a framework of metal flows in which different process types reinforce each other. From the global point of view, eco-efficiency will be improved if ore-based and scrap-based metals are manufactured in plants in which the technological level corresponds to the best available technology (BAT). In the market economy it is nevertheless difficult to optimise the global use of scrap from the point of view of environmental issues. For this reason the only option to develop the optimisation of scrap flows is within corporations.

It is possible to improve eco-efficiency by producing more metal products and by-products from smaller amounts of raw materials and by recovering wastes. By-products and recovered materials substitute production activities elsewhere. Slags, waste heat, electrical energy, sulphuric acid and by-products (tar, benzene and sulphur) of a coking plant, caused by metal production, cause an approximate decrease of 5% in the impacts which the Finnish metal productions would otherwise cause, taking into account the entire life cycles of the products.

The wastes of the manufacturing stage are the most harmful wastes within the life cycle stages of the products from the point of view of environmental protection. In 1997, the manufacturing stage produced about 2.5 millions tonnes of wastes. Half of this amount was recovered. In the short term it is not possible to make major changes to prevent wastes and increase recovery rates. There is a need for R&D work in the field of recovery of deposits, sludges and dusts in particular.

Notwithstanding the good situation of emission control in the Finnish metal production industry, reduction of the emissions of carbon dioxide, sulphur dioxide, nitrogen oxides, metals and dust should be continued. For each individual metal, different compounds have particular relevance from the point of view of environmental impacts. For this reason decreasing different substances causes different benefits to the environment. Especially in the case of hazardous substances, monitoring of the state of the environment and the impact assessment methods must be developed simultaneously in order to focus environmental protection measures on the right issues. Increasing the efficiency of purification systems has positive effects, especially in the case of particles connected with reduction of metal emissions. In the long term, improvements in the material and energy efficiency of processes lead to the best results in environmental protection, because they also affect the environmental issues related to the use of natural resources.

The study has demonstrated that data and information based on LCA open new possibilities for planning, monitoring and representing environmental issues in companies. For example, this kind of data offers possibilities for assessing the significance of impacts caused by different chains of raw materials. For this reason the inventory data outside the mill should correspond to the data of real purchase chains rather than to data representing average international values. This kind data also gives a company an opportunity to add the positive environmental performances of sub-contractors to the final eco-efficiency results of its own product. The utilisation of LCA should not be restricted to understanding a firm's own activities during the whole life cycle of its products. The LCA applications should be extended to cover the entire life cycles of metal products. This extension will provide new insight for product design and will affect the important properties (e.g. recyclability, life time and lightness) of metal products from the point of view of eco-efficiency.

# Kirjallisuus

- Autere, E. & Liede, J., 1989. Petsamon nikkeli. Taistelu metallista. Autere, E. & Liede, J., 1989. Petsamon nikkeli. Taistelu metallista. Vuorimiesyhdistys – Bergsmannaföreningen r.y., Helsinki.
- Barret, K., Seland, Ø., Foss, A., Mylona, S., Sandnes, H., Styve, H. & Tarrasón, L. 1995. European transboundary acidifying air pollution: Ten years calculated fields and budgets to the end of first Sulphur Protocol. Falch Hurtigtrykk, Oslo. The Norwegian Meteorological Institute, Research Report no. 17, EMEP/MSC-W Report 1/95. 71 p. + app. 214 p.
- Boustead, I. & Panvalkar, S.G. 1998a. Ecoprofile of Primary Copper Production. A Report for the International Copper Association. Boustead Consulting Ltd, January 1998.
- Boustead, I. & Dove, W.T. 1998b. Ecoprofile of Primary Zinc Production. A Report for the International Zinc Association. Boustead Consulting Ltd, February 1998.
- Deutsches Kupfer-Institut. 1995. Bruch, K. H., Gohlke, D., Kögler, C., Krüger, J., Reuter, M., v.Röpenack, I., Rombach, E., Rombach, G., Winkler, P. Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung, DKI Sonderdruck 8/95.
- Forstén, B.-E. 2000. Outokumpu panostaa ruostumattomaan. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 58, No. 1, s. 6–8.
- Fugleberg, S. 1999. Finnish expert report on best available techniques in zinc production. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 315. 45 s.
- Grennfelt, P., Øysten, H. & Derwent, D. 1994. Second generation abatement strategies for NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> and VOCs. *Ambio*, Vol. 23, No. 7, s. 425-433.
- Grönroos, J. & Seppälä, J. (toim.) 2000. Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 431. 243 s.
- GTK (Geologinen tutkimuskeskus) 2000. GTK löysi uuden nikkelimineraalisaation Suomussalmelta. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 58, No 1, s. 22–26.
- Hämäläinen, R. P., Lauri, H. 1992. HIPRE 3+ User's Guide. Helsinki University of Technology. System Analysis Laboratory, Espoo. 88 s.
- Idman, Uolevi. 2000. Henkilökohtainen tiedonanto.
- IISI 1999. International Iron and Steel Institute, Steel Statistical Yearbook 1999.
- IISI (International Iron and Steel Institute) 1999. Worldsteel on line. URL: <http://www.worldsteel.org>.
- IISI / Ecobilan 1998: TEAM Program, Database (ei julkinen).
- IISI (International Iron and Steel Institute) 1998: Worlwide LCI Database for Steel Industry Products (ei julkinen).
- Imatra 1998. Imatran terästehdas ja ympäristönsuojelu, Imatra Steel Oy Ab, Imatra
- Imatra 1999. Vuosikertomus 1998, Imatra Steel Oy Ab, Imatra
- Imatra 2000. (Imatra Steel) Teräsviesti 1 / 2000. 25 s.
- ISO (International Organization for Standardization) 1997. Ympäristöasioiden hallinta. Elin-kaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. SFS-EN ISO 14040, 1997.
- ISO (International Organization for Standardization) 1998. Ympäristöasioiden hallinta. Elin-kaariarviointi. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely sekä inventaarioanalyysi. SFS-EN ISO 14041, 1998.
- Juhola, M. & Ylönen, H. 1999. Rautaruukki Steelin terässulaton modernisointi. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 57, No 4, s. 22–26.
- Juusela, J. 1999. Prosessiteollisuuden tulevaisuus riippuvainen tulevista energiaratkaisuista. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 57, No. 2, s. 22–25.
- Karvonen, P., Idman, U. & Terho, K. 1999. Optimisation of the EAF-steelmaking at Imatra Steelworks, Scanmet I, Luleå, 7.–8.6.1999.
- Keskuslaboratorio 1996: KCL-ECO version 2.1 for Windows 95, User's manual
- Keskuslaboratorio 1997: Eco-Data structure & DataMaster, User's manual
- Kivimäki, M. 1999. Terästeollisuus on Suomen kasvualoja. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 57, No 1, s. 5.
- Koponen, M. 2000. Henkilökohtainen tiedonanto.

- Koskela, S., Palperi, M. & Seppälä, J. 2000. Tehdaskohtaiset elinkaari-inventaarioanalyysit (ei julkisia).
- Koskela, S. (toim.) 2000. Sähköenergian ja kuljetusten päästölaskelmien perusteet elinkaari-inventaarioissa. Suomen ympäristökeskuksen moniste, käsikirjoitus
- Kuusakoski 2000. Vuosikertomus 1999, Kuusakoski Oy, Espoo
- Kytö, M. 1999. 50 vuotta energian ja ympäristön säästöä: Outokummun liekkisulatusmenetelmän voittokulku jatkuu. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 57, No. 4, s. 36–38.
- Lankford, W.T. Jr. (ed.) 1983. The making, shaping and treating of steel, Third edition, US-Steel, Pittsburgh, Pa, USA.
- Lindfors, L-G., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Juntilla, V., Hanssen, O-J., Ronning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995. Nordic guidelines on life-cycle assessment. Århus, Nordic Council of Ministers, Nord 1995:20. 222 s.
- Luukkonen, K., Mäki, T., Perä, P. & Niiranen, S. 2000. Pyhäsalmen uusi kaivos. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 58, No 1, s. 16–20.
- Melanen, M., Ekqvist, M., Mukherjee, A.B., Aunela-Tapola, L., Verta, M. & Salmikangas, T. 1999. Raskasmetallien päästöt ilmaan Suomessa 1990-luvulla. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 329. 86 s.
- Melanen, M., Palperi, M., Viitanen, M., Dahlbo, H., Uusitalo, S., Juutinen, A., Lohi, T-K., Koskela, S. & Seppälä, J. 2000. Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 401. 138 s.
- Metallinjalostajat. 2000. Sirpa Smolskyn henkilökohtainen tiedonanto.
- Metalliteollisuuden keskusliitto (MET). 2000. Vuosikirja 2000, Metall- ja elektroniikkateollisuus.
- Mustikkamäki, U.-P. 2000. Metallipitoisten vesien biologisesta käsittelystä Outokummun kaivoksilla. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 58, No. 1, s. 44–47.
- Mäenpää, I., Juutinen, A., Puustinen, K., Rintala, J., Risku-Norja, H., Veijalainen, S., Viitanen, M., 2000. Ekotehokas Suomi-projekti. Luonnonvarojen käyttö Suomessa, luonnon 4.2.2000, .
- Mäenpää, I., Juutinen, A., Puustinen, K., Rintala, J., Risku-Norja, H., Veijalainen, S., Viitanen, M., 2000. Ekotehokas Suomi-projekti. TMRFIN, Suomen luonnonvarojen käytön tilastointijärjestelmä, .
- Mäkinen, J. 2000. Katsaus Suomen vuoriteollisuuden kehitykseen vuonna 1999. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 58, No. 2.
- OECD 1998. Eco-Efficiency. Paris, OECD. 86 s.
- Outokumpu 1999. Outokumpu Environmental Report 1999. Outokumpu OYJ, Espoo. s. 26–27.
- Outokumpu 2000. Vuosikertomus 1999. Outokumpu OYJ, Espoo.
- Petäjä, J., 1999. Suomen sähköhankintamalli. Monisteessa Koskela, S. (toim.) 2000. Sähköenergian ja kuljetusten päästölaskelmien perusteet elinkaari-inventaarioissa. Suomen ympäristökeskuksen moniste, käsikirjoitus.
- Rautaruukki 2000. Vuosikertomus 1999. Rautaruukki Oyj, Helsinki.
- Riekkola-Vanhanen, Marja 1999a. Finnish expert report on best available techniques in ferrochromium production. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 314. 49 s.
- Riekkola-Vanhanen, Marja 1999b. Finnish expert report on best available techniques in copper production and by-production of precious metals. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 316. 72 s.
- Riekkola-Vanhanen, Marja 1999c. Finnish expert report on best available techniques in nickel production, The Finnish Environment 317. 63 s.
- Salo, U. 1971. Tilastotietoja vuoriteollisuudesta v. 1970. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 29, No. 1, s. 41.
- Salo, U. 1981. Tilastoja vuoriteollisuudesta v.1980. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 39, No. 1, s. 68.
- Salo, U. 1991. Tilastoja vuoriteollisuudesta v.1990. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 49, No. 1, s. 69.
- Salokorpi, A. 1999. Suomen rautaruukit. Keuruu, Otava.
- Seppälä, J. 1997. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 123. 137 s.
- Seppälä, J. & Jouttijärvi, T. (toim.) 1997. Metsäteollisuus ja ympäristö. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 89. 128 s.

- Seppälä, J. 1999a. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Julk.: Klöpffer, W. & Hutzinger (toim.), LCA Documents, Vol 4. Eco-Infoma Press, Landsberg. 174 s.
- Seppälä, J. 1999b. Vaikutusten laskenta elinkaariarvioinnissa – vertailtavana DAIA- ja Ekoin-dikaattori 95 –menetelmät. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen moniste 172. 38 s.
- Seppälä, J. 2000. Ympäristöasioiden arviointi päätösanalyysiin perustuvalla lähestymistavalla. Suomen ympäristökeskuksen moniste, käsikirjoitus.
- Suomen ympäristökeskus 2000. Ympäristökuormitusyksikkö.
- Särkikoski, T. 1999. Tiedon liekki. Kuinka Outokumpu loi keksinnön ja teki siitä kulttuurin – A flash of knowledge. How an Outokumpu innovation became a culture, Outokumpu Oyj / STH, Helsinki.
- Taavitsainen, K. 1997. Hot charging of blooms, Iron and Steel – Today, Yesterday and Tomorrow, Stockholm 11–14.6.1997.
- Tanskanen, J.-H. 1997. YTV:n alueen jätehuollon mallintaminen. Helsinki, YTV. Pääkaupunki-seudun julkaisusarja C 1997:2.
- Technical Guidance IPC S2 2.01.1999. Process Subject to Integrated Pollution Control, IPC Guidance Note, Series 2 (S2) Metal Industry Sector, S2.01: Iron and Steel Making Processes, Environment Agency, London.
- Tenhunen, J. & Seppälä, J. (toim.). 2000. Alueellinen ympäristöanalyysi. Esimerkkinä Etelä-Savo. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 383. 110 s.
- Teräskirja 2000. Helsinki, Metallien jalostajat ry.
- Valkonen, T. 2000. Suullinen tiedonanto (alustava arvio). Suomen ympäristökeskus.
- Vartiainen, H. 1999. Tilastoja vuoriteollisuudesta v.1999. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, Vol. 58, No 2 / 2000, s. 50.

# Käsiteluettelo

**Arvottaminen** (*valuation*). Eri vaikutusluokkien merkitykset painotetaan niiden keskinäisen vertailun mahdollistamiseksi.

**Ei-rautametalli** (*non-ferrous metal*). Muut käyttömetallit paitsi rauta ja teräs.

**Elinkaariarviointi** (*life cycle assessment*). Tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden (inputs) ja (outputs) tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten koostaminen ja arviointi.

**Inventaario** (*inventory*). Tarkasteltavan tuotejärjestelmän tiedot syötteistä ja tuotoksista.

**Inventaarioanalyysi** (*inventory analysis*). Elinkaariarvioinnin vaihe, jossa tarkasteltavan tuotejärjestelmän elinkaaren aikaiset syötteet ja tuotokset yhdistetään ja kuvataan määrällisenä.

**Inventaarioselvitys** (*inventory study*). Selvitys, joka kattaa tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn sekä inventaarioanalyysin.

**Integroitu terästehdas, oik. integroitu rauta- ja terästehdas** (*integrated iron and steel works*). Tehdas, jossa valmistetaan (masuunissa) malmista rautaa ja siitä (ja romusta) terästä, joka edelleen muokataan erilaisiksi levy-, tanko- ja muiksi jalosteiksi. Tehdaskokonaisuus käsittää myös masuunikaasuun perustuvan voimalaitoksen ja yleensä mm. malmin sintraamon, kivihiilen koksauslaitoksen kivihiilitervaa hyödyntävine sivutuotetehtaineen, happitehtaan sekä usein muitakin laitoksia, kuten kuoniin tarvittavan kalkin polttolaitoksen.

**Jäte** (*waste*). Jätelain mukaan aine tai esine, jonka sen haltija poistaa, aikoo poistaa tai on velvollinen poistamaan käytöstä.

**Karakterisointi** (*characterisation*). Päästötietojen ja muiden kuormitustekijöiden arvojen mallintaminen vaikutusluokkiin, ts. kuormitustekijöiden arvot muutetaan yhteismitalliseksi kussakin vaikutusluokassa.

**Karakterisointikerroin** (*characterisation factor*). Vaikutusarvioinnissa käytettyyn malliin sisältyvä kerroin, jota käytetään muuttamaan ympäristökuormitustekijän arvot ympäristövaikutusluokan yksiköksi.

**Kierrätys** (*recycling*). Jättemateriaalin käyttö tuotantoprosessissa alkuperäiseen tarkoitukseensa tai muuhun tarkoitukseen lukuun ottamatta energiasisällön hyödyntämistä. Kierrätyskäsitteeseen laajassa merkityksessä sisältyvät myös romun keräys, käsittely ja kuljetukset.

**Kokonaisprimäärienergia** (*total primary energy*). Kaikkien maasta otettujen energialähteiden (maakaasu, öljy, kivihiili, biomass, vesivoima) energiasisältöjen summa.

**Kokonaisvaikutuspiste** (*total impact value*). Vaikutusarviointimallin tulos, joka indikoi kokonaisvaikutuksia ympäristöön.

**Konvertteri** (*converter*). Metallien valmistuksessa käytettyjä erikoisuuneja, joissa ilmalla, hapella tai erityisillä kaasuseoksilla puhaltamalla hapettaen sula raakauraa muutetaan, konvertoidaan, ja osittain raffinoidaan teräkseksi, kuparikivi raakakupariksi jne., poistettavien alkuaineiden erottuessa kaasumaisina yhdisteinä tai siirtyessä prosessissa syntyvään, erottuvaan kuonafaasiin.



**Kuormitustekijä** (*intervention, burden, stressor*). Ympäristöä muuttava tai kuormittava tekijä (päästö, resurssien käyttöön tai maankäyttöön liittyvä tekijä).

**Lopputuote** (*end product*). Tuote, joka ei vaadi lisäprosessointia ennen käyttöä.

**Lopputuoteromu** (*end product scrap, obsolete scrap*). Lopputuotteen käytöstä poistossa tai romuttamisessa syntyvä romu.

**Malmi** (*ore*). Luonnossa, lähinnä kallioperässä oleva mineraaliesiintymä, jossa on arvometalleja niin paljon ja sellaisessa muodossa, että sitä voidaan *taloudellisesti kannattavasti* louhia, rikastaa ja kuljettaa käytettäväksi metallien valmistukseen. Kaivosteollisuudessa käsitteeseen malmi sisällytetään mitkä tahansa mineraalit, joita kannattaa louhia kivistä (so. ei pelkästään metallit). (Vrt. rikaste).

**Metallien jalostus** (*making, shaping and treating of metals*). Metallituoteteollisuuden ja muiden tuotannonalojen raaka-aineina käytettävien metallijalosteiden valmistus malmeista ja romusta (aikaisempi nimitys: perusmetalliteollisuus tai metallien perusteollisuus).

**Metallijaloste**. Yleisnimitys tässä työssä käsitellyille metallien jalostusteollisuuden tuotteille.

**Metallituote** (*metal product*). Metallia sisältävä lopputuote.

**Oma romu** (*prompt scrap*). Metallien valmistuksen yksiköiden sellainen romu, joka ei ole päätyneet valmiiksi tuotteeksi saakka (tehtaan sisäistä romua, joka palautuu valmistusprosessin alkuun).

**Painotus** (*weighting*). Muutetaan vaikutusluokkaindikaattorin tuloksia arvovallintojen numerokertoimien avulla vaikutuspisteiksi.

**Pelletti** (*pellet*). Raudan valmistuksen yhteydessä ks. sintraus.

**Raffinointi** (*refining*). Metallien puhdistusprosessi(t), esim. sularaffinointi, elektrolyyttinen raffinointi; epäpuhtaan metallin puhdistus haitallisista (metallisista, epämetallisista ja kaasumaisista alkuaineista).

**Rauta** (*iron*). 1) alkuaine, Fe; 2) rauta-hiiliseokset, joissa hiilipitoisuus on noin 4,5–2,1 % (vrt. teräs): a) raakarauta (hot metal) tai b) harkkorauta (pig iron), tai c) valurauta (cast iron); 3) malmista suorapelkistetty, pääosin metallista rautaa oleva tuote; 4) kemiallisesti puhdas metallinen rauta.

**Rikaste** (*concentrate*) [malmirikaste, ore concentrate]. Malmin arvoaineet sisältävä tuote, joka on aikaansaatu rikastamalla eli erottamalla malmin arvomineraalit arvottomasta osasta, jätteestä; rikaste on yleensä jauhemaista, koska mineraalirakoiden erottamiseksi toisistaan malmi on murskattava ja jauhettava hienojakoiseksi.

**Romu** (*scrap*). Metalleja sisältävä käytöstä poistettu/poistettava kappale, laite tai rakennelma, jonka sisältämät metallit soveltuvat teollisuuden raaka-aineeksi.

**Romun käsittely** (*scrap processing*). Toiminta, jossa romu käsitellään/esikäsitellään laadultaan ja kooltaan tuotantoprosesseihin sopivaan muotoon. Tyypillisiä yksikköoperaatioita: lajittelu, purku, polttoleikkaus, hydraulinen palottelu, murskaus, paalaus, briketointi.

**Ruostumaton teräs** (*stainless steel*). Ruostumattomat teräkset, käsitteenä epämääräinen, mutta yleisesti käytetty runsasseosteisten rautapohjaisten kromi- ja kromi-nikkeliseosteisten metalliseosten yhteisnimitys; viittaa korkeasta kromipitoisuudesta johtuvaan hyvään korroosionkestävyyteen, joka on näille seoksille yhteinen tyypillinen ominaisuus.

**Sekundääri (metalli)** (*secondary (metal)*). Käytetty tarkoittamaan romusta valmistettua metallia erotukseksi malmista valmistetulle (primääri). Huom! sekundääri ja primääri *eivät viittaa laatuun*, eivät peräkkäisiin prosessivaiheisiin eivätkä eroihin jalostusasteissa.

**Sintraus** (*sintering*). 1. Yleisesti: jauhemaisen aineen osasten liittäminen yhteen sulamispisteen alapuolella olevissa lämpötiloissa (esimerkiksi keramiikan "poltto"). 2. Erityisesti raudan valmistuksen yhteydessä: hienojakoisen malmirikasteen saattaminen masuuniprosessin edellyttämään kappalemuotoon joko a) sintraamalla rikaste sellaisenaan ohuena kerroksena ja murskaamalla palloiksi, "sintteriksi" tai b) muodostamalla rikasteesta ensin pallomaisia pellettejä, jotka sintrataan tarpeellisen lujuuden saavuttamiseksi.

**Syöte** (*input*). Yksikköprosessiin tuleva materiaali tai energia.

**Teräs** (*steel*). Rauta-hiiliseoksia, joissa hiilipitoisuus yleensä on välillä 0,1–1,7 % (max. 2,1 %; vrt. rauta). Ns. hiiliteräksissä on yleensä aina muitakin seosaineita, kuten piitä (Si) ja mangaania (Mn) sekä niukkaseosteisissa seosteräksissä lisäksi erilaisina kombinaatioina esim. kromia (Cr), nikkeliä (Ni), vanadiinia (V) jne.

**Toiminnallinen yksikkö** (*functional unit*). Tarkasteltavan tuotejärjestelmän toiminnallisten tuotosten suorituskyvyn mittayksikkö.

**Tuotejärjestelmä** (*product system*). Tuotteen elinkaariarviointiterminä: sarja materiaali- ja energiavirtojen yhdistämiä yksikköprosesseja, jotka toteuttavat yhden tai useampia määriteltyjä toimintoja; termi "tuote" yksinään käytettynä voi tarkoittaa paitsi tuotejärjestelmiä myös palveluita.

**Tuotos** (*output*). Yksikköprosessista poistuva materiaali (raaka-aine, välivalmiste, tuote, päästö, jäte) tai energia.

**Tuotteen toiminto** (*function*). Tuotteen suorituskyvyn kuvaus.

**Tuotteen valmistusromu** (*production scrap*). Tuotteen valmistuksessa metallituoteteollisuudessa (konepajateollisuudessa) syntyvä romu, joka ei vielä ole ollut osana varsinaista lopputuotetta, mutta ei toisaalta ole metallien jalostustehtaan sisäistä omaromua.

**Uudelleenkäyttö** (*re-use*). Käytöstä poistettujen tuotteiden tai niiden komponenttien käyttö uudelleen (lähinnä) siihen tarkoitukseen, johon ne on alunperin valmistettu.

**Vaikutusarviointi** (*life cycle impact assessment*). Inventaarioanalyysin pohjalta tehty potentiaalisten

ympäristövaikutusten merkittävyysarviointi.

**Vaikutusluokka** (*impact category*). Luokka, joka edustaa tarkasteltavia ympäristöaiheita ja johon inventaarioanalyysin tulokset (= kuormitustekijöiden arvot) yhdistetään.

**Vaikutusluokkaindikaattori** (*impact category indicator*). Vaikutusluokan vaikutuksia kuvaava määrällinen mittari.

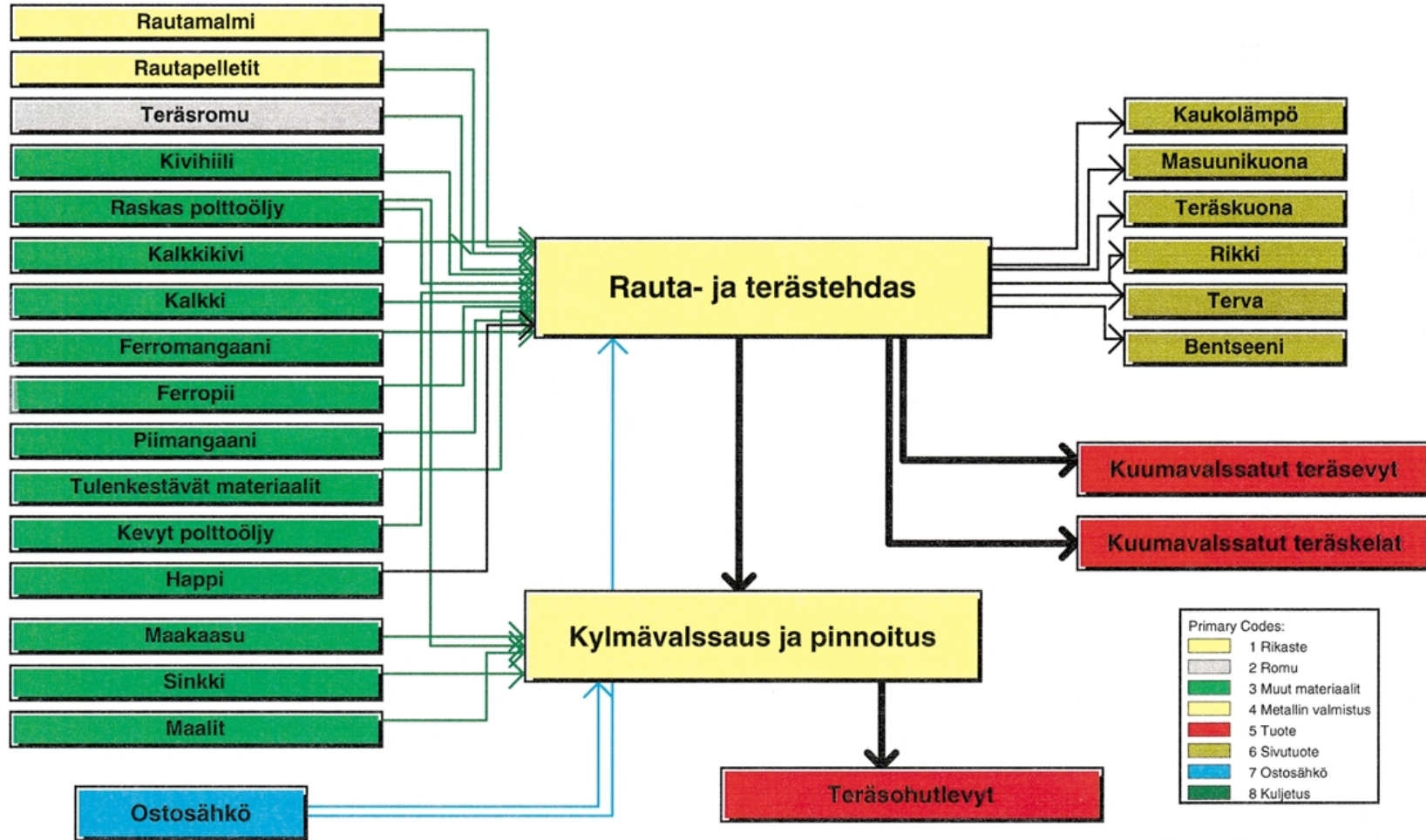
**Vaikutuspiste** (*impact value*). Vaikutusarviointimallin tulos, joka indikoi vaikutuksia ympäristöön.

**Valokaariuuni** (*electric arc furnace, EAF*). Varsinkin romun sulatukseen teräksen valmistuksessa, mutta myös muihin tarkoituksiin käytetty sähköuunityyppi, jossa lämpö kehitetään sähkövalokaarien avulla.

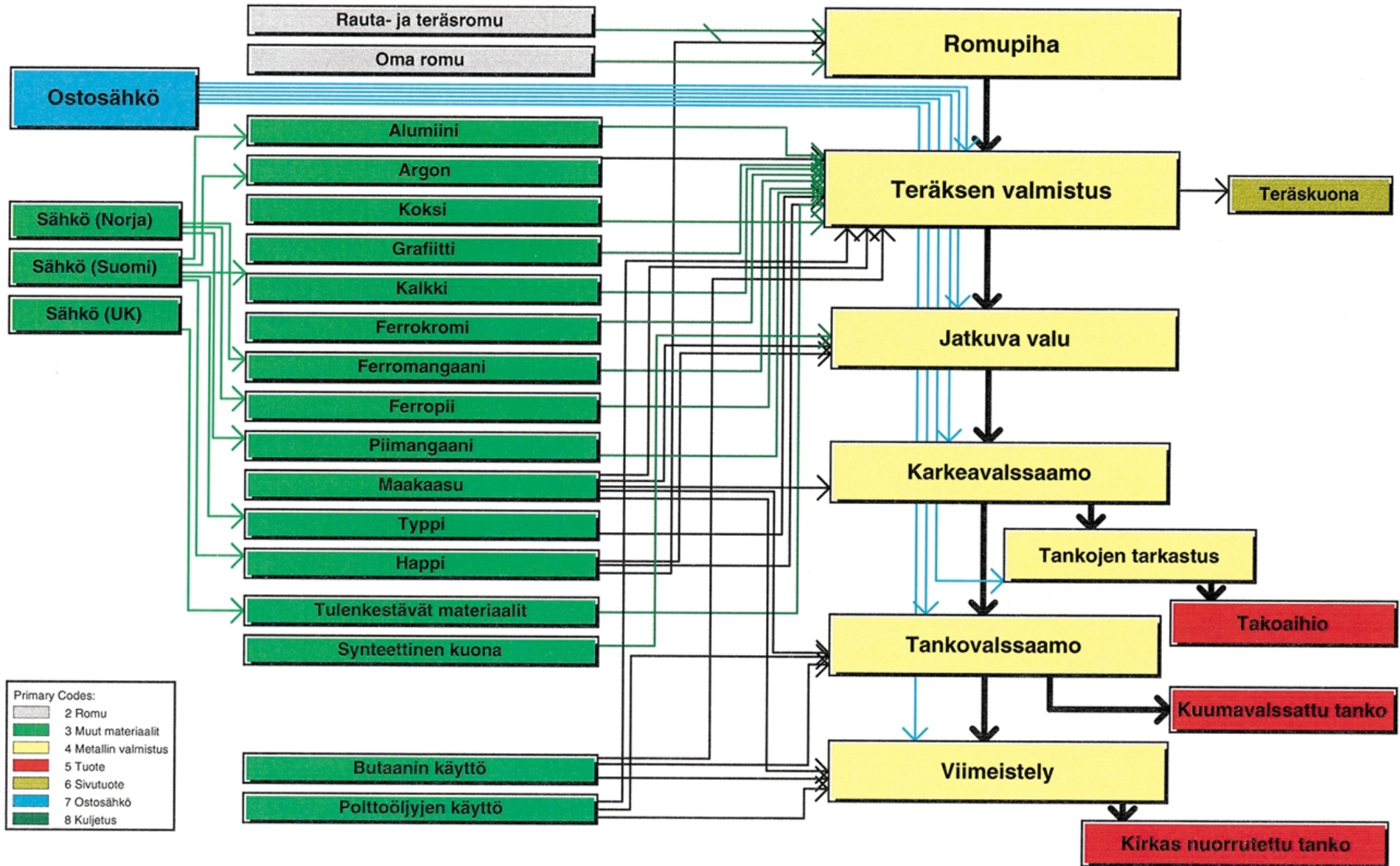
**Virtauskaavio** (*flow chart*). Prosessikulkukaavio, jossa kuvataan yksikköprosessit ja niiden väliset suhteet.

**Yksikköprosessi** (*unit process*). Tuotejärjestelmän pienin osa, josta kerätään tietoa inventaariota varten ja jolle on määritelty yksi tai useampi toiminto.

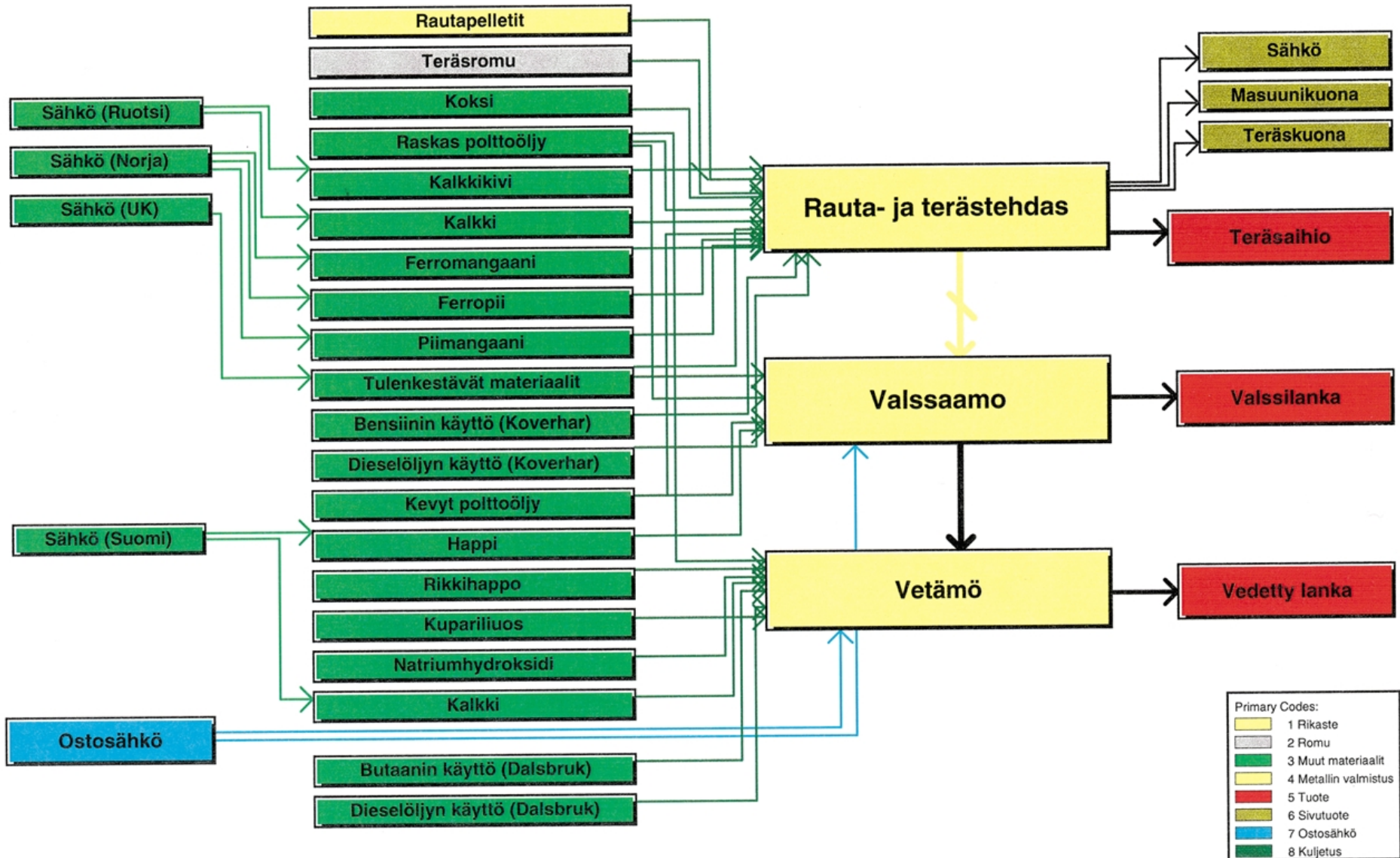
# Teräslevyjen ja -kelojen tuotejärjestelmä Rautaruukki Steel



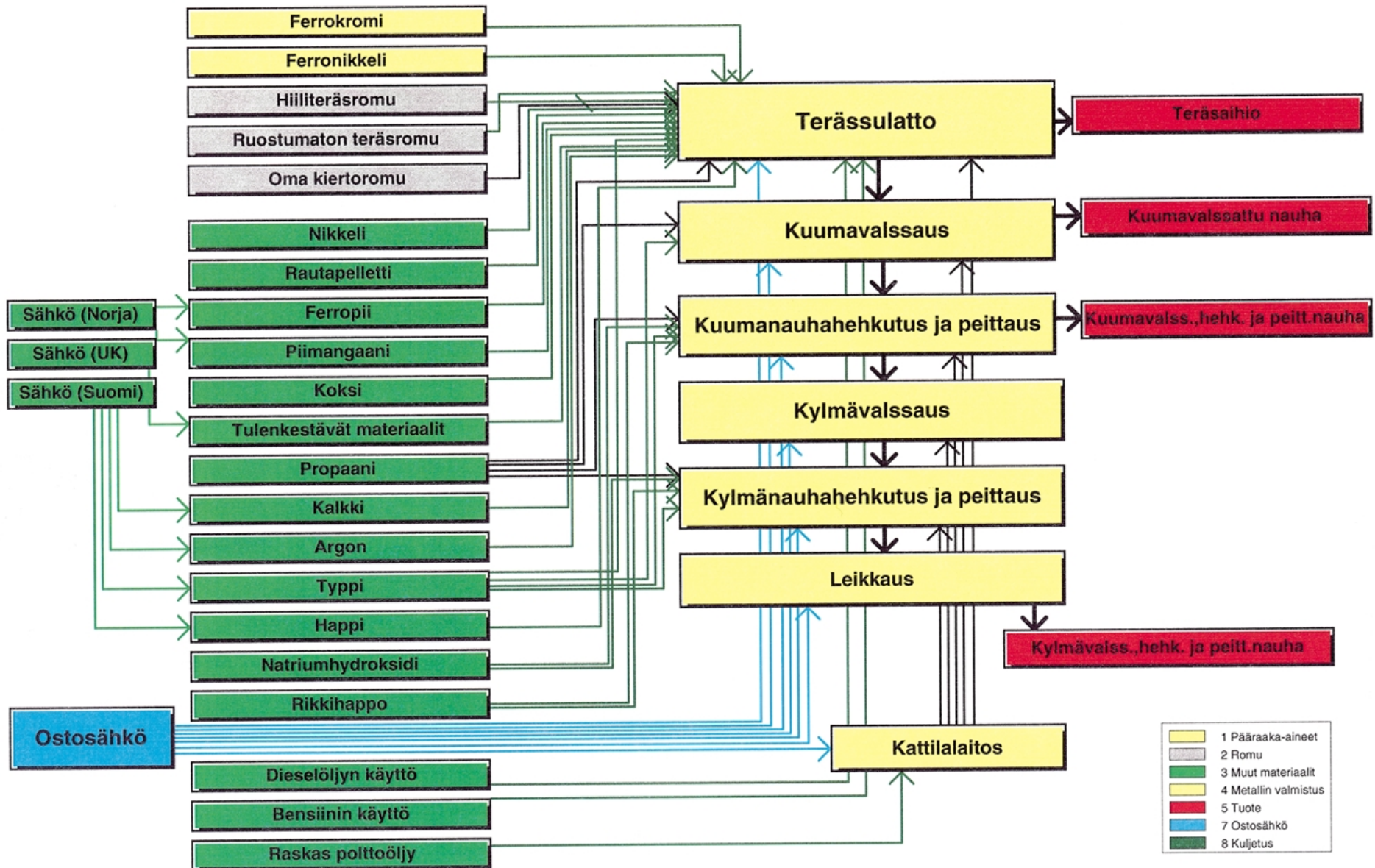
## Terästankojen tuotejärjestelmä Imatra Steel Oy Ab



# Teräslangan tuotejärjestelmä Fundia Wire Oy, Fundia Dalwire Oy

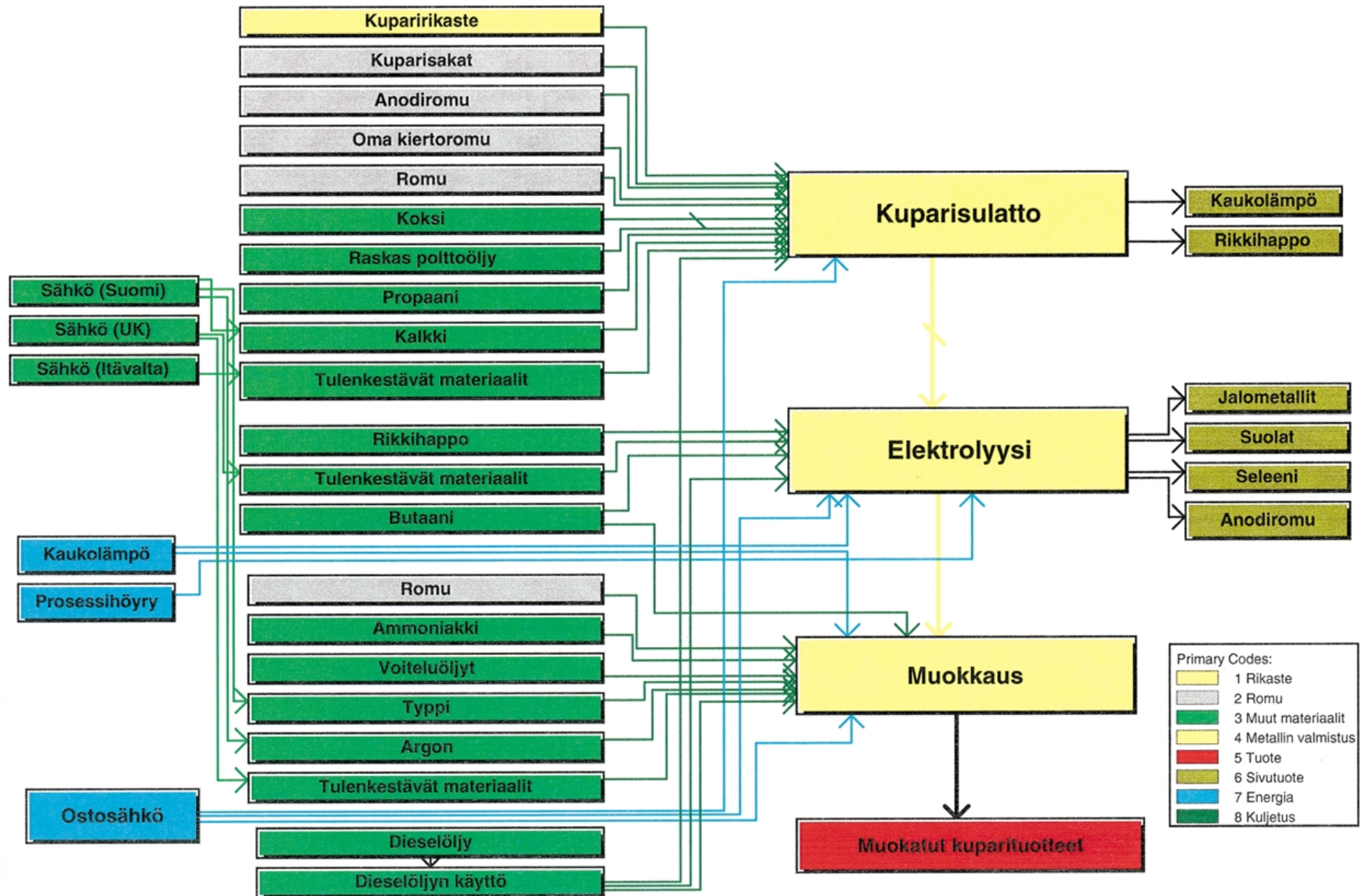


## Ruostumattoman teräksen tuotejärjestelmä Outokumpu Polarit Oy

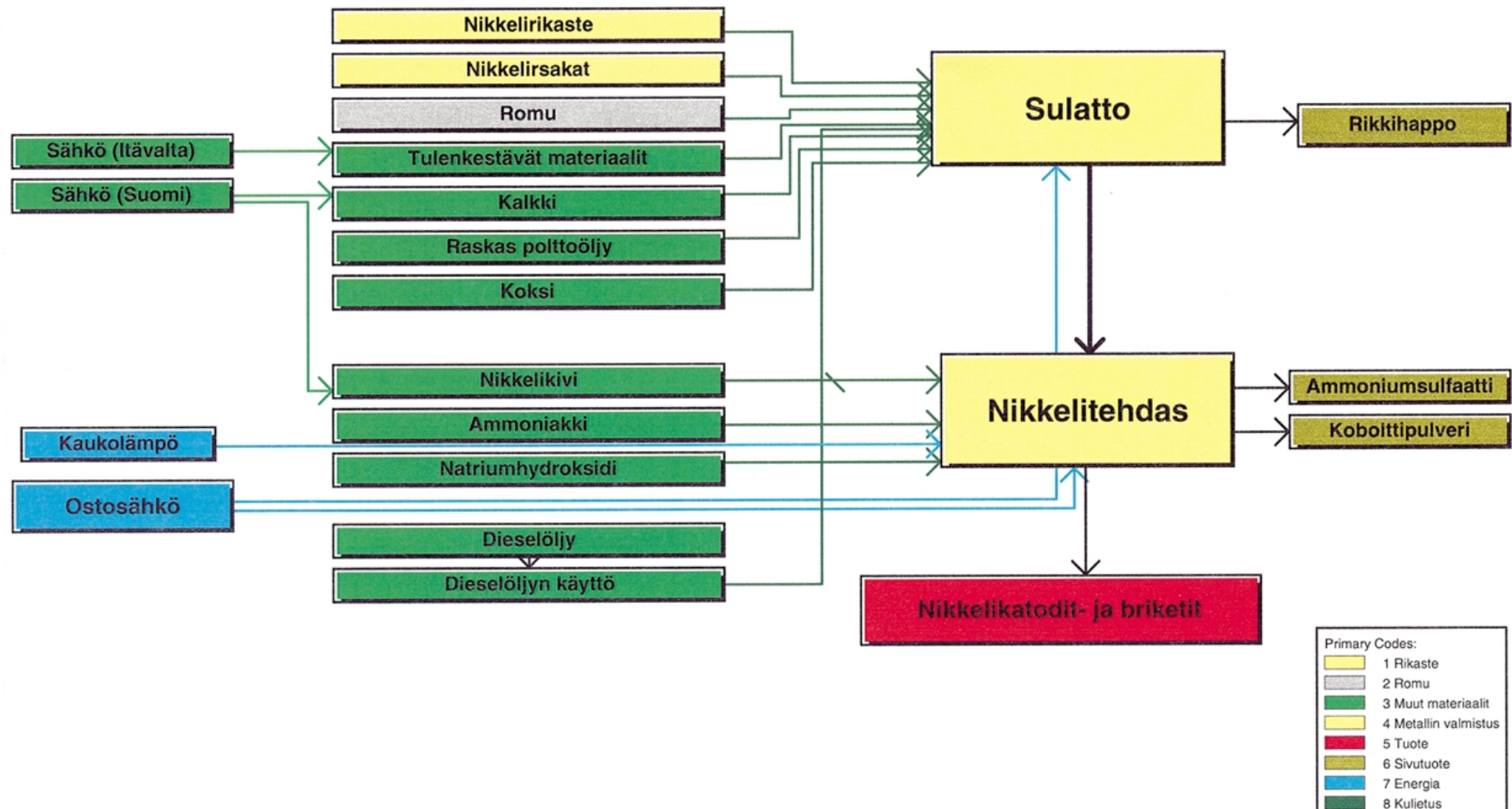


# Kuparituotteiden tuotejärjestelmä

## Outokumpu Harjavalta Metals Oy, Poricopper Oy, Superconductors Oy

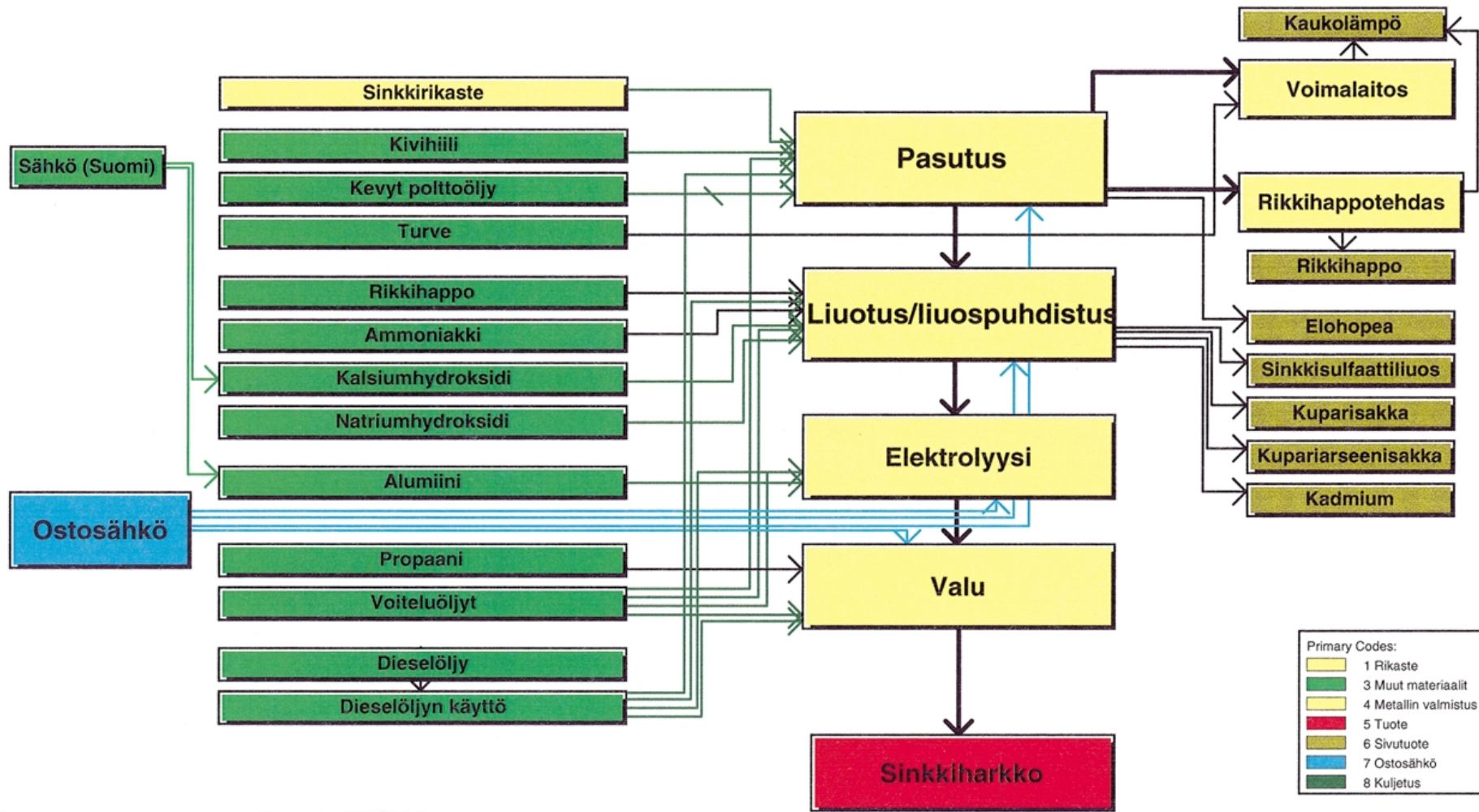


## Nikkelin tuotejärjestelmä Outokumpu Harjavalta Metals Oy

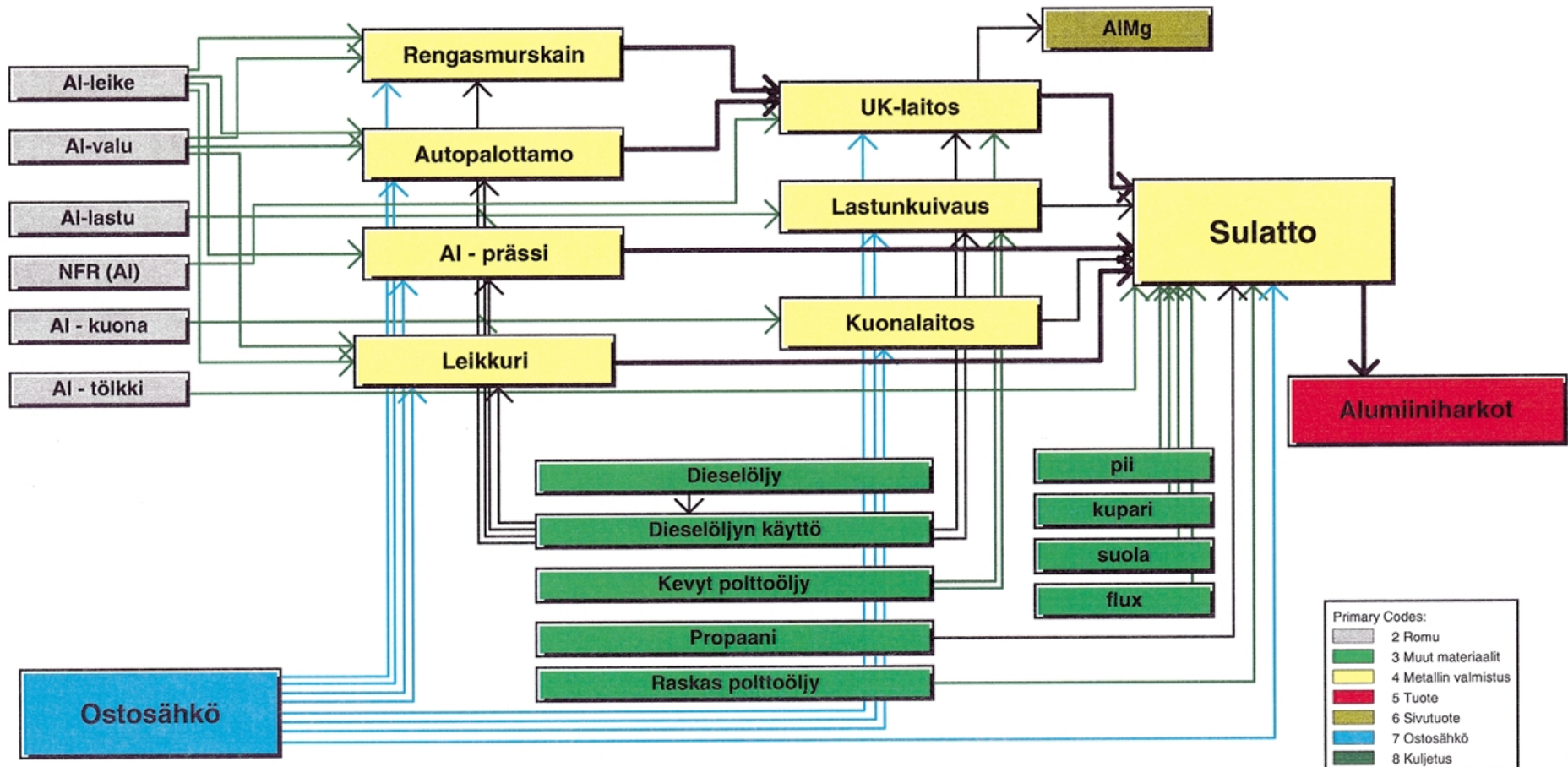




# Sinkin tuotejärjestelmä Outokumpu Zinc Oy



## Alumiinin tuotejärjestelmä Kuusakoski Oy



## Liite 2. Valtakunnallisen mallin vaikutusluokkien arvottamiskysely

### Tehtävä 1. Ympäristöongelmien painojen määrittäminen

Arvioi ympäristöongelmien tärkeyserot eli painot sen mukaan, mihin ongelmaan **Suomessa tulisi kohdistaa haittojen vähentämistoimenpiteet**. Lähtökohtana on seuraavanlainen kysymyksen asettelu esimerkiksi happamoitumis- ja rehevöitymisiongelman välillä: Kuinka paljon tärkeämpänä pidät **Suomen** happamoittavien päästöjen rajoittamista kuin rehevöittävien päästöjen (tai päinvastoin)?

Arvotettavat ympäristöongelmat ovat:

- ilmastonmuutos
- otsonikato
- happamoituminen
- alailmakehän otsonin muodostuminen
- ekotoksisuus
- rehevöityminen
- luonnon monimuotoisuuden l. biodiversiteetin väheneminen

Malli edellyttää, että arvotettavat ympäristöongelmat ovat mahdollisimman vähän päällekkäisiä. Tätä varten ohessa on liiteosa, jossa eri ympäristöongelmien rajaukset on esitetty. **Lue ne ennen tehtävien tekemistä. Lisäksi älä ota huomioon tämän päivän ympäristötekniikan mahdollisuuksia.** Arvioi ympäristöongelmat kokemiesi haittanäkökohtien perusteella.

*TOTEUTA ARVOTTAMINEN SEURAAVALLA TEKNIIKALLA:*

#### Vaihe 1. Aseta ympäristöongelmat tärkeysjärjestykseen.

Esimerkiksi: Ongelma E < ongelma F < ongelma B... jne.

#### Vaihe 2. Painojen arviointi

- A) Vähiten tärkeä ympäristöongelma (7.) on standardi, jolle annetaan painoksi 10. Arvioi tämän jälkeen, kuinka monta kertaa tärkeämpi seuraavaksi (6.) tärkein ongelma on suhteessa "standardiongelmaan". Esimerkiksi jos katsot, että 6. ongelma on standardiin nähden puolitoista kertaa tärkeämpi, ko ongelman painoksi tulee 15.
- B) Arvioi, kuinka monta kertaa tärkeämpi seuraavaksi (5.) tärkein ongelma on suhteessa "standardiongelmaan".
- C) Tarkista viimeksi annetun painon johdonmukaisuus. Arvioi vastaako ongelmien (5. ja 6.) välinen tärkeyssuhde käsitystäsi. Muuta tarvittaessa painoa.
- D) Painojen antamista jatketaan loppuun edellä kuvatun mukaisesti. Seuraavaksi arvioitavan ongelman tärkeyttä verrataan standardiongelmaan, mikä jälkeen tarkistetaan annetun painon johdonmukaisuus suhteessa edellisiin painoihin.

**Vaihe 3. Tulosta tehtävä seuraavassa muodossa (ks. liitteenä oleva vastauslomake):**

Järjestys	Ympäristöongelma	Paino
1.	C	.
2.	D	.
3.	G	.
4.	A	.
5.	B	.
6.	F	.
7.	E	10

Huom! Painojen lukuarvoa ei ole esitetty, jotta esimerkki ei "ankkuroisi" vastaajan mielikuvia tärkeyserojen suuruusluokasta. Pisteiden ylärajaa ei ole kiinnitetty.

**Tehtävä 2. Uusiutumattomien polttoaineiden väheneminen**

Ajattele, että myös *Suomen energian tuotannossa käytettävien uusiutumattomien polttoaineiden käyttö* on yhtenä arvoitettavana ongelmana. Tarkasteltavana ovat Suomessa käytettävät uusiutumattomat polttoaineet (öljy, kaasu, hiili, turve, uraani) tuonti mukaan lukien. Arvota ne luonnonvarojen vähenemisen näkökulmasta. **(Älä siis ajattele materiaalien käyttöön liittyviä muita välillisiä ympäristöä kuormittavia tai muuttavia tekijöitä!).**

Tässä yhteydessä uusiutumattomien polttoaineiden käyttöä lähestytään vain kestävä kehityksen mukaisena varantoasiana, jonka mukaan maapallon luonnonvaroja tulee käyttää niin, että tämän sukupolven tarpeet luonnonvarojen saatavuuden suhteen tyydytetään vähentämättä tulevien sukupolvien mahdollisuuksia tarpeidensa tyydyttämiseen.

*TOTEUTA ARVOTTAMINEN SEURAAVALLA TEKNIIKALLA:*

Sijoita tämä ongelmaluokka tehtävässä 1 esitettyyn ryhmään ja määritä sille myös oma painokerroimensa. Painokerroin voi tässä tapauksessa olla siis pienempi tai suurempi kuin 10 riippuen siitä miten koet tämän ongelman suhteessa tehtävän 1 vähiten tärkeään ongelmaan (=standardiongelma). Esimerkiksi jos katsot, että uusiutumattomien polttoaineiden vähenemisen ongelma on standardiin nähden kaksi kertaa tärkeämpi, ko. ongelman painoksi tulee 20. Vastaavasti jos katsot, että standardiongelma on uusiutumattomien polttoaineiden vähenemisen ongelmaan nähden kaksi kertaa tärkeämpi, polttoaineiden vähenemisongelma saa painoarvon 5 (= 10/2).

## VASTAUSLOMAKE

Palautus: Jyri Seppälä  
 Suomen ympäristökeskus  
 Kesäkatu 6  
 PL 140  
 002510 Helsinki  
 E-mail: jyri.seppala@vyh.fi

Nimi: \_\_\_\_\_  
 Osoite: \_\_\_\_\_  
 E-mail: \_\_\_\_\_

**Tehtävä 1**

<i>Järjestys</i>	<i>Ympäristöongelma</i>	<i>Paino</i>
1.	_____	_____
2.	_____	_____
3.	_____	_____
4.	_____	_____
5.	_____	_____
6.	_____	_____
7.	_____	<u>10</u>

**Tehtävä 2**

Uusiutumattomien polttoaineiden vähenemisen painokerroin: \_\_\_\_\_

Aikaa tehtävän tekemiseen meni \_\_\_\_\_ tuntia

Mahdollisia kommentteja:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Liite: Ympäristöongelmat

Seuraavassa on esitetty ympäristöongelmia koskevat rajaukset. Lisäksi kutakin ympäristöongelmaa on lyhyesti luonnehdittu.

### Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos tarkoittaa ns. kasvihuonekaasujen aiheuttamaa ilmakehän lämpenemistä. Ilmaston lämpeneminen on keskeisimpiä globaaleja ympäristöongelmia. Ilmaston lämpenemisen vaikutuksia on mahdoton ennustaa tarkasti. Uhkana on, että ilmaston lämpeneminen saa aikaan merkittäviä muutoksia eri ekosysteemeissä ja uhkaa myös ihmisen toiminta- ja elinmahdollisuuksia (aavikoituminen, tulvat jne.).

### Otsonikato

Ihmistoiminnasta vapautuu stratosfääriin otsonia tuhoavia aineita (esimerkiksi kloorifluorihilivetyä (CFC) tai haloneja), minkä seurauksena UV-B-säteily lisääntyy maanpinnalla. Liiallinen UV-B-säteily aiheuttaa terveyshaittoja, vahingoittaa materiaaleja (esim. muoveja) sekä aiheuttaa muutoksia ekosysteemeissä. Otsonikato on globaali ympäristöongelma.

### Happamoituminen

Happamoitumisella tarkoitetaan luonnon vastustuskyvyn heikkenemistä happamoittavaa laskeumaa vastaan. Kullakin alueella on alueelle ominainen kyky vastustaa happamoittavaa laskeumaa (ts. neutraloida vetyioneja). Tätä ominaisuutta kutsutaan puskurikyvyksi. Puskurikyky vaihtelee muun muassa alueen geologisten olojen mukaan. Suomi ja muut Pohjoismaat ovat erityisen herkkiä happamalle laskeumalle.

Happamoituminen vaikuttaa muun muassa metsäkasvuun ja pienten vesiekosysteemien pH-tasoon. Erityisen uhanalaisia ovat latvapurojen eliölajit, metsäjärvet ja karujen metsien kasvillisuus. Lisäksi happamoituminen aiheuttaa rakennetussa ympäristössä materiaalivauriota.

Kriittiset kuormitukset ylittyvät vielä usealla paikalla Suomessa. Kriittisellä kuormituksella tarkoitetaan suurinta mahdollista laskeumaa, joka ei pitkälläkään aikavälillä aiheuta haitallisia muutoksia ekosysteemin oleellisissa ominaisuuksissa.

Vaikutusten laajuus: mantereellinen/alueellinen.

### Otsonin muodostuminen alailmakehässä

Foto-oksidantteina käsitellään tässä yhteydessä vain alailmakehän otsonia, mikä vastaa yleistä käytäntöä. Muiden oksidanttien osalta tiedot ovat liian puutteellisia.

Suomessa havaittavat otsonipitoisuudet ovat keskimäärin korkeita (30–50 µg/m<sup>3</sup>) Keski-Eurooppaan verrattuna. Sen sijaan meillä ei ole esiintynyt eteläisempien maiden suurkaupungeille tyypillisiä lyhytaikaisia, erittäin korkeita otsonipitoisuuksia (300–500 µg/m<sup>3</sup>). Myös Suomen tiheään asuttujen alueiden päästöistä voi suotuisissa olosuhteissa kesällä muodostua otsonia, mutta eniten maassamme havaittuihin korkeisiin otsonipitoisuuksiin vaikuttaa kaukokulkeutuminen.

Otsoni heikentää metsän kasvua ja aiheuttaa viljelyksillä satotappioita. Samoin hengitysilmassa esiintyy usein otsonipitoisuuksia, joilla terveyshaitat ovat mahdollisia. Vaikutusten kvantifiointi ja ylipäättänsä foto-oksidantteihin liittyvä tutkimuskenttä on kuitenkin vielä voimakkaassa kehitysvaiheessa.

Otsonin muodostumista voidaan tarkastella alueellisena ongelmana.

### Ekotoksisuus

Ekotoksisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä myrkyllisyysvaikutuksia, joita ympäristölle vaarallisten kemikaalit aiheuttavat ekosysteemeissä. Eliöille myrkyllisyysvaikutukset voivat olla joko akuutteja tai kroonisia. Akuutilla myrkyllisyydellä tarkoitetaan huomattavia haittavaikutuksia, jotka aiheutuvat eliöille lyhytaikaisessa altistuksessa. Kroonisella tarkoitetaan myrkyvaikutusta, joka on a) seurausta altistuksesta, joka kestää eliön keskimääräisestä elinajasta suuren osan tai sen kokonaan, b) ilmenee vasta pitkän ajan kuluttua altistuksen jälkeen. Tässä yhteydessä kroonisiin vaikutuksiin luetaan ns. myrkyvaikutusten lisäksi **syöpään sairastuminen, geneettiset muutokset ja lisääntymishäiriöt**.

Ekotoksisuus on jaettu kolmeen ryhmään:

- a) terrestrinen, krooninen
- b) akvaattinen, krooninen
- c) akvaattinen, akuutti

Koska ns. **onnettomuustilanteet on rajattu tarkastelun ulkopuolelle**, ei akuuttia terrestristä vaikutusluokkaa ole mukana. Lähtökohtana on siis oletus, että ns. jatkuvat päästöt ilmaan eivät sisällä myrkyllisiä aineita sellaisissa pitoisuuksissa, että ne aiheuttaisivat akuutteja myrkyllisyysvaikutuksia. Tässä yhteydessä myös **torjunta-aineiden käytön haitat on rajattu pois**.

Akuutti myrkyllisyys vesiekosysteemeissä on luonteeltaan paikallista. Akvaattisesta kroonista myrkyllisyyttä voi esiintyä paikallisella tai alueellisella tasolla. Krooninen terrestrinen myrkyllisyys voi olla paikallinen, alueellinen ja jopa mantereellinen ympäristöongelma tarkasteltavasta aineesta riippuen.

### Rehevöityminen

Rehevöitymistä tarkastellaan vain vesiekosysteemin kannalta. Terrestrisessä ympäristössä tapahtuvaa rehevöitymistä ei oteta huomioon, koska sen oletetaan olevan Suomessa ongelmana vähäinen.

Veden rehevöitymisellä tarkoitetaan vesiekosysteemin häiriintymisestä johtuvaa veden eliöstön lisääntynyttä kasvunopeutta. Peruskriteerinä pidetään kasviplanktonin ja korkeampien vesikasvien lisääntynyttä tuotantoa (mitattuna tavallisimmin veden a-klorofyllipitoisuutena).

Vesiekosysteemin lisääntyvän tuotannon seurauksena kuolleitten eliöiden hajoamiseen kuluu yhä enemmän happea. Rehevöitymisen ekosysteemivaikutukset (kasviplanktonien, kalojen ja muiden vesieliöiden laji- ja määrämuutokset, sini-leväkukinnot, makrofyyttien (kaislojen yms.) lisääntyminen ranta-alueilla) aiheuttavat haittaa vesien virkistyskäytölle (verkkojen limoittuminen, uimavesien heikkeneminen) ja pintavesien talousvesikäytölle.

Rehevöitymistä voidaan pitää paikallisena ja alueellisena ongelmana.

### Monimuotoisuuden väheneminen

Luonnon monimuotoisuus eli biodiversiteetti tarkoittaa kaikkea elollisen luonnon eri tasoilla esiintyvää vaihtelua. Käsite jaetaan kolmeen osaan: lajin sisäiseen geneettiseen vaihteluun, lajirunsauteen ja ekosysteemien moninaisuuteen. Ekologiset toiminnot ovat myös olennainen osa monimuotoisuutta.

Monimuotoisuuden muutoksia aiheuttavat tekijät ovat vaikeasti kvantifioitavissa. Ihmistoiminnan vaikutukset monimuotoisuuteen johtuvat etenkin maankäyttöön liittyvistä tekijöistä. Päästöjen suorat ja välilliset vaikutukset monimuotoisuuteen ovat olleet huomattavasti vähäisemmät kuin maankäyttöön liittyvien tekijöiden. Esimerkiksi Suomen uhanalaisten lajien osalta päästöjen merkitys la-

jien vähenemiseen on arvioitu olevan kymmenen prosentin suuruusluokkaa. Toisin kasvihuoneilmiö, joka on seurausta kasvihuonekaasupäästöistä, aiheuttaa myös Suomen luonnon monimuotoisuudelle yhä suuremman uhkakuvan.

*Tässä yhteydessä luonnon monimuotoisuuden vähenemisiongelmaan sisällytetään vain maankäytöstä aiheutuvat muutokset.* Päästöistä aiheutuvat monimuotoisuusmuutokset ovat siten mukana edellä esitetyissä ongelmaluokissa.

Biodiversiteettiin liittyvää ongelmaa voidaan pitää alueellisena ja paikallisena.



### Liite 3. Ekotoksisuuden ja terveysvaikutusten arviointi

#### 1. Lähtökohdat

Elinkaariarvioinnissa sovellettavan vaikutusarviointikäytännön mukaisesti kemikaalipäästöjen mahdolliset seuraukset kussakin vaikutusluokassa pyritään luonnehtimaan määrällisesti. Käytännössä tämä tehdään kertomalla päästömäärä ko. kemikaalia vastaavalla ns. karakterisointikertoimella. Tuloksena saadaan lukuarvo, jolla kemikaalipäästöt voidaan pisteyttää toisiinsa nähden sen mukaan, kuinka niiden arvioidaan aiheuttavan haittavaikutuksia ko. vaikutusluokassa. Mitä suurempi pistemäärä, sen suurempi haitta ko. vaikutusluokassa.

Tuotantolaitoksen kokonaisarviointimallissa (ks. raportin kohta 3.3.3) ekotoksisuuden ja terveysvaikutusten arvioinnin lähtökohtana ovat olleet oletuskarakterisointikertoimilla lasketut karakterisoinnin tulokset. Kunkin tuotantolaitoksen asiantuntijaryhmällä oli kuitenkin mahdollisuus muuttaa näitä merkitysarvioita siten, että ne vastasivat asiantuntijoiden omia näkemyksiä.

Eri vaikutusluokkien karakterisoinnin eli luonnehdinnan tulokset muutetaan toistensa suhteen yhteismitalliseksi arvottamisen avulla. Tässä yhteydessä keskitytään kuitenkin kuvaamaan vain ekotoksisuuden ja terveysvaikutusten karakterisointikertoimien määrittämistä, koska karakterisointikertoimet muodostavat vaikutusarvioinnin perustan.

#### 2. Ekotoksisuus

Ekotoksisuudella on tarkoitettu tässä työssä myrkyllisyysvaikutuksia, joita ympäristölle vaaralliset kemikaalit aiheuttavat eliöille. Kemikaalien on ajateltu aiheuttavan akuutteja tai kroonisia myrkyllisyysvaikutuksia terrestrisessä ja akvaattisessa ympäristössä.

Käytetyt karakterisointikertoimet perustuvat hollantilaisen tutkimuslaitoksen RIVM:n (1997) käyttämään riskien arviointikäytäntöön, jossa on määritelty eri kemikaalien haitattomat pitoisuustasot Hollannin taustapitoisuusympäristössä. Pitoisuustasojen määrittämisen lähtökohtana ovat olleet Yhdysvaltojen ympäristöviraston EPA:n testausmenetelmät, joilla arvioidaan kemikaalien eliöille aiheuttamia myrkyllisyysvaikutuksia. Testitulosten puuttuessa on käytetty lisäksi tilastollisia ekstrapolointimenetelmiä. Työssä on määritelty kullekin mukana olevalle kemikaalille suurin sallittu pitoisuus ympäristössä seuraavasti:

$$MPC = MPA + C_b \quad (1)$$

missä

MPC = suurin sallittu pitoisuus (jonka jälkeen aiheutuu haittaa eliöille)

MPA = suurin sallittu lisäys

C<sub>b</sub> = taustapitoisuus

Yhtälön (1) mukaiset tunnusluvut on määritetty erikseen makealle vedelle, merivedelle, maaperälle ja sedimentille.

Tässä työssä kemikaalien ekotoksisuusvaikutusten oletuskarakterisointikertoimet vastaavat suoraan määritettyjä MPA-arvojen käänteislukuja. Ekotoksisuuden alavaikutusluokassa "krooninen, terrestrinen ekotoksisuus" käytettiin maaperälle määritettyjä MPA-arvojen käänteislukuja. Kroonisessa, akvaattisessa ekotoksisuudessa kemikaalien karakterisointikertoimet perustuivat sedimentin MPA-arvoihin. Akuutissa, akvaattisessa ekotoksisuudessa kertoimet perustuivat puo-

lestaan makean veden MPA-arvoihin. Todettakoon, että ekotoksisuuden alavai-  
kutusluokkaa ”akuutti, terrestrinen ekotoksisuus” ei esiintynyt missään arviointi-  
tehtävän vaiheessa.

Käytännössä metallien jalostuksen aiheuttamat haitalliset aineet, joille löytyi  
MPA-arvot, olivat metalleja. Taulukossa 1 on esitetty käytetyt MPA-arvot.

Taulukko 1. Suurimmat sallitut metallipitoisuuslisäykset (MPA) Hollannin vesi-, sedimentti- ja maaympäristössä (RIVM  
1997).

Metalli		Suurin sallittu pitoisuuslisä		
		Makea vesi ( $\mu\text{g/l}$ ) <sup>1</sup>	Sedimentti ( $\text{mg/kg}$ ) <sup>2</sup>	Maaperä ( $\text{mg/kg}$ ) <sup>2</sup>
Arseeni	As	24	160	4,5
Elohopea	Hg	0,23	26	1,9
Kadmium	Cd	0,34	29	0,76
Kromi	Cr	8,5	1620	3,8
Kupari	Cu	1,1	37	3,5
Nikkeli	Ni	1,8	9,4	2,6
Lyijy	Pb	11	4700	55
Vanadiini	V	3,5	14	1,1
Sinkki	Zn	6,6	480	16

Huomautukset:

<sup>1</sup> Arvot on esitetty liuenneina pitoisuuksina.

<sup>2</sup> Arvot on esitetty standardi maa/sedimenttituloksina (sedimentissä/maassa 10 % orgaanista ainetta ja 25 % savea).

### 3. Terveysvaikutukset

Pilaantuneesta ympäristöstä saattaa joutua ihmisiin esimerkiksi juomaveden tai ravinnon kautta haitta-ainemääriä, jotka aiheuttavat ihmisessä ei-toivottuja vaikutuksia. Tällaiset ihmiseen kohdistuvat terveysvaikutukset otettiin huomioon yhtenä ekotoksisuuden mahdollisena seurausvaikutuksena. Ekotoksisuuden osalta haitallisten aineiden keskinäinen merkitys arvioitiin kuitenkin yksinomaan edellisen kohdan karakterisointikertoimien perusteella. Mahdollinen ”terveysvaikutuslisä” otettiin huomioon tuotantolaitosten kokonaisarviointimallissa ainoastaan vaikutusluokkien arvottamisen yhteydessä eli määritettäessä ekotoksisuuden painoarvoa.

Varsinainen terveysvaikutusluokka tuotantolaitosten kokonaisarviointimallissa määriteltiin siten, että se piti sisällään ainoastaan ilmapäästöjen aiheuttamat pitoisuusvaikutukset ihmiseen. Mikäli tuotantolaitoksen arseeni-, bentseeni-, nikkeli-, 6-arvoisen kromi- tai polyaromaattisten yhdistepäästöjen (PAH) katsottiin ylittävän tuotantolaitoksen ympäristössä terveysvaikutuksia aiheuttavia pitoisuustasoja, ko. aineiden keskinäinen merkitys terveysvaikutusten aiheuttajana arvioitiin käyttämällä Ekoindikaattori 95-mallin (Goedkoop 1995) karakterisointikertoimia. Karakterisointikertoimet perustuvat ilman laatuksiteereihin, joiden lähtökoh-  
tana ovat todennäköisyysarvot, joilla ihmiset sairastuvat syöpään ilman pitoisuustason ollessa tasolla  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Karakterisointikertoimena käytettiin ko. todennäköisyyslukujen käänteisarvoja (taulukko 2).

Taulukko 2. Terveysvaikutusluokan aineiden karakterisointikertoimet ja niiden perusteet (Goedkoop 1995).

Aine	Todennäköisyys sairastua syöpään pitoisuustasolla 1 µg/m <sup>3</sup>	Karakterisointikerroin PAH-ekvivalentina	Syöpätyyppi
Arseeni	0,004	0,044	Yleinen, myös mutageenisuutta
Bentseeni	0,000001	0,0000011	Leukemia
Nikkeli	0,04	0,44	Keuhko- ja kurkkus.
Kromi (VI)	0,04	0,44	Erilaisia
PAH	0,09	1	Keuhko, mutta myös muita

#### 4. Vaikutusarviointiin ja tulosten tulkintaan liittyviä näkökohtia

Esitetty karakterisointimenettely ei ota huomioon sitä ovatko, pitoisuustasot ylittäneet haitallisuustason ympäristössä. "Oikeiden arvioiden" määrittely vaatisi luotettavaa ja eriteltyä tietoa haitta-aineiden pitoisuuksista ja vaikutuksista tuotantolaitosten lähiympäristöstä. Vaikeutena on kuitenkin se, että eri aineiden vaikutusosuutta on miltei mahdoton erotella kokonaisvaikutuksista. Lisäksi itse kokonaisvaikutusten arviointikin on hankalaa. Käytännössä tuotantolaitosten lähi-alueiden pitoisuustasoista ei ole tehty riskin arvioita, ts. arvioitu sitä aiheuttavatko havaitut pitoisuudet haittaa eliölle ja miten haitta ilmenee.

Suomalaisten ekotoksisuuden karakterisointikertoimien määrittely vaatisi keskimääräisten taustapitoisuuksien (tekijä Cb yhtälössä 1) määrittämistä samoilla menetelmillä kuin RIVM:n (1997) tutkimuksessa on tehty. Tämän jälkeen olisi mahdollisuus määrittellä Suomen olosuhteita vastaavat suurimmat pitoisuuslisät (MPA). Tällaista selvitystä ei ole kuitenkaan ryhdytty tekemään tämän työn yhteydessä.

E erityisen vaikeaksi vaikutusarvioinnin metallien osalta tekee se, että tuotantolaitosten metallipäästöt ovat vähentyneet voimakkaasti kymmenen viime vuoden aikana. Tiettyjen metallien, joiden päästötasot ovat nykyisin alhaiset, kynnyсарvot ympäristössä ovat saattaneet ylittyä aikaisemman kuormituksen seurauksena. Toisaalta metallien, joiden päästöt ovat nykyisin suurimmat, kynnyсарvot ympäristössä eivät ole ylittyneet aikaisemman kuormituksenkaan seurauksena. Puhtaasti nykyiseen päästötasoon perustuva arviointimenettely ei anna välttämättä ollenkaan oikeata kuvaa päästöjen keskinäisestä haitallisuudesta.

Käytännössä ekotoksisuuden arviointi muodostuu kahden tai kolmen alavaikutusluokan karakterisointituloksista (vrt. kohta 2). Ekotoksisuuden kokonaisarviointi on tehtävissä vain yhdistämällä eri alavaikutusluokkien karakterisointitulokset vaikutusluokkien painokerrointen avulla. Näiden määrittäminen perustuu aina tavalla tai toisella subjektiiviseen arvottamiseen. Käytännössä eri aineiden päästöt aiheuttavat erilaisia terveysvaikutuksia, joiden yhdistäminen kokonaisterveysvaikutukseksi edellyttää myös jonkinlaista arvottamista.

Edellä esitetyt puutteet ekotoksisuuden ja terveysvaikutusten arvioinnissa eivät ole yksin tämän työn ongelma. Ongelma on yleismaailmallinen elinkaariarvioinnissa, eikä tällä hetkellä ole luotettavia menetelmiä ekotoksisuuden ja terveysvaikutusten arvioimiseksi. Olemassa olevasta tilanteesta johtuen työssä on hyväksytty lähestymistapa, jossa tuotantolaitoksen ympäristöasioita hoitavien henkilöiden mielipiteet viime kädessä ratkaisevat haitallisten aineiden priorisoinnin. Yhteenvedona voidaan sanoa, että ekotoksisuutta ja terveysvaikutuksia aiheuttavien aineiden priorisointituloksia on tulkittava siten, että ne kuvaavat paremmin tuotantolaitosten ympäristöasioita hoitavien näkemyksiä toimenpiteiden kohdentamisesta kuin luonnontieteellisiä syy-seuraussuhteita.

### **Kirjallisuus**

RIVM (Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu) 1999. Environmental Risk Limits in the Netherlands. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account. Report No. 601640 001. S. 260.  
Goedkoop 1995. Eco-indicator 95. Amersfoort, The Netherlands.

## **Liite 4. Inventaarioanalyysin tuloksiin vaikuttavia tekijöitä**

Inventaarioanalyysien laskenta koostuu monista pienistä osatekijöistä, tässä työssä mm. raaka-aineiden lähtötiedoista, tuotantolaitoksen syötteistä ja tuotoksista, sähköntuotantomallista ja kuljetusten päästökertoimista. Kaikkien näiden osatekijöiden suhteen joudutaan laskennan yhteydessä tekemään valintoja, jotka heijastuvat inventaarion lopullisiin tuloksiin. Muita tuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat työn alussa määritellyt perusrajaukset ja ns. allokointimenettelyt, joita joudutaan tekemään monituotteisissa järjestelmissä. Tässä liitteessä tarkastellaan eri yhteyksissä tehtyjen metallijalosteiden inventaariotulosten erilaisuuteen vaikuttavia tekijöitä ainoastaan yleisellä tasolla. Liitteen loppuosassa on kuitenkin tarkasteltu jonkin verran perusteellisemmin eri maiden sähköntuotantojakauman ja eri teknologioihin perustuvien päästökertoimien vaikutuksia inventaariotuloksiin.

### **Tuotejärjestelmän rajaukset ja yksikköprosessit**

Jokaisen inventaarioanalyysin tärkein ja vertailun kannalta ratkaisevin peruslähtökohta on rajausten määrittely. Eri tutkimuksissa saadut tulokset eroavat toisistaan merkittäväällä tavalla, jos jokin tietty osa-alue puuttuu tai on käsitelty inventaariossa puutteellisesti. Käytännössä rajat inventaariolaskennalle asettavat tuotejärjestelmään mukaan otetut yksikköprosessit. Vertailu eri tuotantoprosesseilla valmistettujen samanlaisten tuotteiden välillä edellyttää aina rajausten samankaltaisuutta.

Tässä työssä tuotejärjestelmän osakokonaisuuksia ovat raaka-aineiden tuotanto, energiantuotanto, metallijalosteiden tuotantolaitoksilla tapahtuva toiminta, raaka-aineiden kuljetukset ja sivutuotteista saadut hyvitykset. Perusrajausten ollessa samat jokaisen osa-alueen yhteydessä käytetyt erilaiset yksikköprosessit tai niiden ympäristökuormitusta kuvaavat päästömallit aiheuttavat vaihteluja tuotteiden tuloksissa. Eroja syntyy myös, jos todellisten päästöjen sijasta käytetään kansainvälisiä keskiarvolukuja.

Tuotteen laatuvaatimukset heijastuvat myös tuloksiin, koska yleensä laadullisesti korkeamman tasoisen tuote vaatii erilaisia tai ylimääräisiä prosesseja kuin heikompi laatuinen tuote ja tuotantojen hyötysuhteissakin voi esiintyä vaihteluja liittyen nimenomaan tuotteen laatuun.

### **Allokointi ja hyvitykset**

Allokoinnissa tehdyillä ratkaisuilla ts. sillä, kuinka tuotejärjestelmän ainevirrat ja ympäristökuormitus kohdennetaan eri tuotteille, on oma vaikutuksensa lopputuloksiin. Yleensä kohdentamismenetelmät ovat sopimusluonteisia, milloin ne eivät ole tarkasti laskettavissa prosessista käsin. Inventaariolaskennassa on käytössä useita allokointitapoja. Tämän työn inventaarioissa tulokset on allokoitu tuotteille ns. massaperiaatteen mukaisesti ja teräslevyjen ja -kelojen inventaariossa laajennetun menettelyn mukaisesti. Määrällisesti pienet sivutuotteet talteenottoprosesseineen sisältyvät tuotejärjestelmiin, niille ei ole allokoitu inventaariotuloksia.

Sivutuotteiden hyvitystapa on periaatteessa sama useissa inventaarioissa ts. sivutuotteena syntyvä tuote hyvitetään säästetyillä ulkopuolisilla prosesseilla. Eroja syntyy silloin erilaisista hyvityksessä käytetyistä yksikköprosesseista. Tässä työssä sivutuotteiden hyvitys on pyritty tekemään todellisella vaihtoehtoisella tuotteella ja sellaisilla yksikköprosesseilla, jotka toteutuisivat, jos sivutuotteena syntyvää tuotetta ei hyödynnettäisi, vaan vastaava määrä tuotetta jouduttaisiin valmistamaan päätuotteena jossakin muualla. Samaa periaatetta on noudatettu myös ei-materiaalisten sivutuotteiden suhteen. Ylimääräinen sähköenergia on hyvitetty Suomen sähköntuotantomallilla ja kaukolämpönä käytetty jätelämpö paikallisen lämpökeskuksen vastaavilla tiedoilla.

## Romu

Prosesseissa käytetyn tuotantolaitoksen ulkopuolelta hankitun lopputuotteista peräisin olevan romun määrällä on joissakin tapauksissa suurikin vaikutus inventaariolaskelmiin, koska tällaisen metallipanoksen malmipohjaista valmistusta eikä romun keruusta ja käsittelystä syntyviä kuormitustekijöitä ole otettu huomioon laskennassa toisin kuin muiden raaka-aineiden, joiden kuormitustekijät on laskettu luonnonvarojen käytöstä lähtien. Suurimman näennäisen edun tästä menettelystä saavat pelkästään romupohjaiset tuotantoprosessit (terästankojen ja alumiinin inventaariot). Tuotantolaitosten omassa prosessissa syntyvä kiertoromu puolestaan lisää ympäristökuormitusta, koska se on ”hukkaa”, joka ei päädy tuotteeksi. Sitä voidaan kuitenkin käyttää uudelleen prosessissa. Prosessien hyötysuhteita parantamalla kiertoromun määrää ja prosessista aiheutuvaa kuormitusta voidaan jossakin määrin pienentää.

## Sähköntuotantomallit

Inventaarioiden sähköntuotannon välilliset päästöt on laskettu teräslevyjen ja -kelojen inventaarioita lukuun ottamatta SYKE:n sähköntuotantomallilla (Petäjä, 1999). Mallin lähtökohtana on Suomen sähköntuotantotapojen jakauma vuonna 1997 ja Suomen energiantuotantoteknologia eri sähköntuotantotavoille. Päästöt perustuvat valtaosin todellisiin, mitattuihin arvoihin (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, hiukkaset, pieni osa metalleista) ja osin laskennallisiin ominaispäästökertoimiin (CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, suuri osa metalleista). Malliin on yhdistetty tuontisähkö ja öljyn, turpeen, maakaasun, kivihiilen ja ydinvoiman osalta polttoaineiden valmistuksen ja kuljetusten aiheuttamat materiaali- ja energiavirrat.

SYKE:n sähköntuotanto- ja päästömalli kattaa Suomessa toimivat vesivoimalaitokset, tuulivoimalaitokset, ydinvoimalaitokset, tavalliset lauhdutusvoimalaitokset (ei ns. prosessilauhde), kaikki sähkön erillistuotantoa (lauhde- tai apujäähdytys-sähköä) tuottavat kaukolämpövoimalaitokset, Uimaharjun prosessivoimalaitos sekä Kotkan, Kajaanin ja Kokkolan prosessihöyryä ja kaukolämpöä sekä lauhdutus-sähköä tuottavat voimalaitokset. Mallista puuttuvat lähes kaikki teollisuuden prosessivoimalaitokset, pelkkää yhteistuotantoa tuottavat kaukolämpövoimalaitokset sekä huippukaasuturbiinit ja moottorit.

IISI:n käyttämä sähköntuotantomalli perustuu Suomen sähköntuotantotapojen jakaumaan (1994) ja ominaispäästökertoimiin, jotka edustavat Ranskan keskimääräistä sähköntuotantoteknologiaa.

## Sähköntuotantomallin vaikutukset

Sähköntuotantomallilla on merkittävä vaikutus tuotekohtaisen primäärienergian ominaiskulutuksen suuruuteen, joka tulee aina ottaa huomioon verrattaessa eri maissa valmistettuja samankaltaisia tuotteita keskenään. Sähköntuotantomallit perustuvat maakohtaisiin sähköntuotantoprofiileihin, jotka muodostuvat eri sähköntuotantotapojen osuuksista ja niistä aiheutuvista päästöistä. Sen vuoksi sähköntuotannon välilliset vaikutukset primäärienergiointeen ovat eri maissa erilaiset. Esimerkiksi kansainvälinen laskentakäytäntö on, että vesi- ja tuulivoimalle muuntokerroin sähköenergiasta primäärienergiaksi on 1,0 (IISI:n työssä 1,11) ja ydinenergialle 3,03 (Tilastokeskus 1997, energiatilastot). Jos maan sähköntuotanto suurelta osin perustuu uusiutuviin energialähteisiin, esimerkiksi vesivoimaan, primäärienergiankulutus pysyy alhaisella tasolla. Tästä on hyvänä esimerkkinä Norja, jossa sähkö tuotetaan lähes kokonaan (99,6-prosenttisesti) vesivoimalla.

Taulukossa 1 on esitetty Englannin, Ruotsin, Itävallan ja Norjan primäärienergian kulutukset ko. maan sähköntuotantojakauman mukaan laskettuna yhtä tuotettua MWh:a kohti. Laskelmat perustuvat IISI:n aineistoon (1998). Taulukossa on myös esitetty Suomen sähköntuotannon vastaavat luvut sekä IISI:n mallilla että Suomen sähkönhankintamallilla laskettuna.

Taulukko 1. Maakohtaisia sähköntuotannon primäärienergian kulutuksia eri sähköntuotantomallilla laskettuna.

Sähköntuotantomalli	Maa	Primäärienergiankulutus MJ / tuotettu 1 MWh sähköä
IISI <sup>1</sup>	Englanti	11 165
	Ruotsi	7 191
	Itävalta	6 118
	Norja	4 007
	Suomi	9 270
SYKE <sup>2</sup>	Suomi	8 093

Lähteet: <sup>1</sup> IISI/Ecobilan 1998, <sup>2</sup> Petäjä 1999

Englannissa sähkö tuotetaan pääosin kivihieillä (52,0 %) ja ydinenergialla (27,7 %) ja sen vuoksi primäärienergian kulutus on tämän taulukon maista korkein. Ruotsissa käytetään kivihiilen asemesta vesivoimaa (51,6 %) ja ydinenergiaa (42,1 %). Itävallassa vesivoiman osuus on 72,2 % ja muu sähkö tuotetaan fossiililla polttoaineilla. Suomen sähköntuotannon jakauma IISI:n mallissa on 30 % ydinvoimaa, 21,4 % kivihiieillä tuotettua sähköenergiaa ja 18 % vesivoimaa. Edellä mainitut sähköntuotantojakaumat kuvaavat vuoden 1993 tilannetta (International Energy Agency 1995). Suomen sähkönhankintamallin (vuodelta 1997) sähköenergian muuttaminen primäärienergiaksi voidaan tehdä muuntokertoimella 2,258 (Petäjä 1999, Tilastokeskus 1997).

Ominaispäästökertoimet ovat IISI:n sähköntuotantomallissa keskimäärin suurempia kuin SYKE:n mallissa. IISI:n mallissa hiilidioksidipäästö on tuotettua yhtä sähköyksikköä kohti 1,72 kertaa suurempi kuin SYKE:n mallissa ja typenoksidit ja rikkidioksidi vastaavasti 1,96 ja 5,18 kertaa korkeampia (taulukko 2). Erot johtuvat hiilidioksidin osalta sähköntuotantojakauman erilaisuudesta ja rikkidioksidin osalta Suomen voimalaitosten tehokkaista rikinpoistolaitteista.

Taulukko 2. Eri sähköntuotantomallien hiilidioksidin, typenoksidien ja rikkidioksidin ominaispäästökertoimet.

	IISI	SYKE kg / 1 MWh
CO <sub>2</sub>	369,7	214,7
NO <sub>x</sub>	0,725	0,370
SO <sub>2</sub>	1,648	0,318

## Kirjallisuus

IISI / Ecobilan 1998: TEAM Program, Database (ei julkinen).

Koskela, S. (toim.) 2000. Sähköenergian ja kuljetusten päästölaskelmien perusteet elinkaari-inventaarioissa, Suomen ympäristökeskuksen moniste, käsikirjoitus.

Petäjä, J., 1999. Suomen sähkönhankintamalli. Monisteessa Koskela, S. (toim.) 2000. Sähköenergian ja kuljetusten päästölaskelmien perusteet elinkaari-inventaarioissa. Suomen ympäristökeskuksen moniste, käsikirjoitus.

Tilastokeskus. 1998. Energiatilastot 1997. Tilastokeskus Energia 1998:1. Vantaa. 141 s.

**Liite 5. Päästöt ilmaan ja veteen elinkaarivaiheittain**

<b>Teräsläyvyt ja -kelat 1997</b>		<b>Rikaste</b>	<b>Muut raaka-aineet</b>	<b>Tuotanto</b>	<b>Ostosähkö</b>	<b>Kuljetus</b>	<b>Sivutuotteet</b>
<i>Päästöt ilmaan</i>							
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	t	88271,23	616427,80	4139826,16	64530,73	31380,41	-136196,16
N <sub>2</sub> O, typpidioksidi	t	16,18	139,56		0,79	10,55	-33,52
CH <sub>4</sub> , metaani	t	10,14	682,84	7,47E-17	212,37	3,75	-126,90
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	t	428,02	2056,68	4299,23	287,57	197,22	-642,79
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	t	351,47	1189,70	2343,76	126,53	566,11	-760,24
CO, hiilimonoksidi	t	70,78	2532,62	1,24E-13	63,18	89,39	2617,30
NM VOC, haihtuvat org.yhd.ei metaani	t	437,76	31347,05		21,52	100,91	-628,12
HC, hiilivedyt	t	0,11	28,79	1,23E-14	0,28		-87,44
partikkelit	t	1561,36	1230,94	2102,29	343,12	23,13	-260,23
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	kg	248,25	6055,16		97,93	177,65	-1773,26
HCl, kloorivety	kg	21864,41	49242,27	2,05E-12	21830,70		-1643,07
HF, fluorivety	kg	9461,10	2516,16		792,89		-154,41
F <sup>-</sup> , fluoridit	kg	1,26	730,57		0,03		-9,49E-19
bentseeni, toluenei, ksyleeni	kg		2342,60		52,99		
PAH, polyaromaattiset hiilivedyt	kg		4,72		2,13		
DIO/FUR	kg		1,95E-05		8,81E-06		
As, arseeni	kg	0,13	21,06		9,50		-1,33E-16
Cd, kadmium	kg	0,04	4,66	49,22	2,10		-3,42E-17
Cr, kromi	kg	4,58	25,53	164,04	11,52		
Cu, kupari	kg	9,51	20,26	273,34	9,14		-1,01E-15
Hg, elohopea	kg	0,47	3,04		1,37		-1,79E-17
Mn, mangaani	kg	12,21	24,05		10,85		
Mo, molybdeeni	kg	0,23	5,66		2,55		
Ni, nikkeli	kg	6,34	89,81	130,99	40,51		
Pb, lyijy	kg	6,93	86,13	4693,11	38,85		-2,65E-15
V, vanadiini	kg	21,48	317,93	294,92	143,42		
Zn, sinkki	kg	1,17	66,01	408,49	29,78		-4,66E-15
PCCP/F (I_TEQ)	mg						
<i>Päästöt veteen</i>							
P, fosfori	kg	45,18	97,80		0,56		
N, typpi	kg	2046,07	23431,39	40828,22	487,17		-158,03
BOD, biologinen hapenkulutus	kg	74,49	2775,44		12,66	53,26	-721,78
COD, kemiallinen hapenkulutus	kg	634,00	16881,21	181645,37	160,13	159,88	-3910,62
As, arseeni	kg	1,93	1,56		0,66		-2,68E-16
Cd, kadmium	kg	0,30	0,32		0,14		-1,50E-17
Cr, kromi	kg	1,23	2,01	8,04E-16	1,36		-9,61E-17
Cu, kupari	kg	4,56	5,57		0,67		-2,24E-16
Hg, elohopea	kg	0,38	0,01		7,30E-04		-1,78E-17
Mg, magnesium	kg	38022,60	631,39		284,67		
Mn, mangaani	kg	87,70	198,63		88,81		
Ni, nikkeli	kg	9,28	6,26		2,80		-2,01E-17
Pb, lyijy	kg	0,35	47,44		22,80		-1,09E-15
Zn, sinkki	kg	4,88	15,68	2870,50	6,07		-5,20E-15
F <sup>-</sup> , fluoridit	kg	3900,40	992,85	8,13E-15	71,71		-48,64
CN <sup>-</sup> , syanidit	kg		171,74		34,75		
CNS <sup>-</sup> , tiosyanaatit	kg		67,15				
kiintoaine	kg	158503,83	2947431,09		17841,83		-1098127,60
öljy	kg	2047,89	38548,88	29822,14	350,56	1446,13	-17658,31



Terästagot 1997		Romu	Muut raaka-aineet	Tuotanto	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet
<i>Päästöt ilmaan</i>							
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	t	18966,20	28544,90	57226,10	46970,50	3136,18	-27,72
N <sub>2</sub> O, typpidioksidi	t	0,82	1,53		4,73	0,10	-0,01
CH <sub>4</sub> , metaani	t	2,38	161,66		9,47	0,28	-0,01
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	t	3,86	52,87	36,44	72,31	5,48	-0,06
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	t	187,85	45,44	123,32	82,56	44,69	-0,39
CO, hiilimonoksidi	t	90,76	170,49	350,95	7,53	9,96	-0,15
NMVOOC, haihtuvat org.yhdisteet ei metaani	t	39,59	402,45		305,01		-0,12
HC, hiilivedyt	t	10,51	8,04		0,21	5,43	
partikkelit	t	16,58	22,27	71,43	7,56	3,00	-0,03
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	kg		5,00				-0,15
HCl, kloorivety	kg		365,43				
HF, fluorivety	kg		70,06				
F, fluoridit	kg	0,07	175,86		1,79		
bentseeni, tolueneeni, ksyleeni	kg		44,14				
PAH, polyaromaattiset hiilivedyt	kg			246,44			
As, arseeni	kg	0,06	0,18	5,94	2,02		
Cd, kadmium	kg	0,01	0,03	0,41	0,34		
Cr, kromi	kg	0,09	41,14	424,78	2,84		
Cu, kupari	kg		0,00	102,81			
Hg, elohopea	kg	0,02	0,07	14,38	0,77		
Mn, mangaani	kg		2,59E-04	1064,81			
Mo, molybdeeni	kg		4,98E-06				
Ni, nikkeli	kg	0,09	0,87	109,17	2,92		
Pb, lyijy	kg	0,07	0,20	54,84	2,21		
V, vanadiini	kg	0,15	0,56	22,22	4,85		
Zn, sinkki	kg	0,03	9,79	210,13	1,11		
PCCP/F (I_TEQ)	mg			0,10			
<i>Päästöt veteen</i>							
P, fosfori	kg	0,35	11,75		11,36		
N, typpi	kg	26,47	1137,42		768,87	1,61	
BOD, biologinen hapenkulutus	kg		83,05				-0,04
COD, kemiallinen hapenkulutus	kg	201,23	983,41		4189,34	55,96	-0,13
As, arseeni	kg		0,003				
Cd, kadmium	kg		2,92E-06				
Cr, kromi	kg		11,94				
Cu, kupari	kg		0,14				
Hg, elohopea	kg		4,00E-04				
Mg, magnesium	kg		0,37				
Mn, mangaani	kg		0,06				
Ni, nikkeli	kg		1,70				
Pb, lyijy	kg		-0,10				
Zn, sinkki	kg		20,46				
F, fluoridit	kg	12,64	131,24		341,06		
CN <sup>-</sup> , syanidit	kg		7,03				
CNS <sup>-</sup> , tiosyanaatit	kg		2,28				
kiintoaine	kg	13,88	2233,32		353,82		-0,04
öljy	kg	12,84	786,65	576,34	27,51	9,57	-1,21

<b>Teräslangat 1997</b>		Rikaste	Muut	Tuotanto	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet	Romu
		raaka-aineet						
<i>Päästöt ilmaan</i>								
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	t	80623,00	117175,00	935697,00	16815,40	11723,70	-19203,50	1579,06
N <sub>2</sub> O, typpidioksidi	t	14,46	24,35	0,10	1,69	0,04	-0,35	0,07
CH <sub>4</sub> , metaani	t	8,76	41,34	0,27	3,39	0,12	-18,81	0,20
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	t	389,01	362,71	147,96	25,89	114,92	-27,22	0,32
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	t	285,92	308,42	248,23	29,56	261,38	-50,91	15,64
CO, hiilimonoksidi	t	54,35	4821,95	8,06	2,70	20,62	-5,08	7,56
NMVOC, haihtuvat org.yhd. ei metaani	t	413,21	6218,08		109,19		-19,92	3,30
HC, hiilivedyt	t	0,07	4,73	3,41	0,08	18,90	-0,01	0,88
partikkelit	t	1206,23	2750,39	302,61	2,71	89,96	-35,45	1,38
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	kg	209,02	45,15				-13,43	
HCl, kloorivety	kg	21854,00	856,61				-275,75	
HF, fluorivety	kg	9593,92	58,82				-28,67	
F <sup>-</sup> , fluoridit	kg	0,73	81,49		0,64		-0,09	0,01
bentseeni, toluenei, ksyleeni	kg		4192,63					
PAH, polyaromaattiset hiilivedyt	kg							
DIO/FUR	kg							
As, arseeni	kg	0,13	1,42	0,70	0,72		-0,10	0,01
Cd, kadmium	kg	0,04	0,07	0,90	0,12		-0,02	0,001
Cr, kromi	kg	4,64	0,00		1,02		-0,14	0,01
Cu, kupari	kg	9,64	11,01					
Hg, elohopea	kg	0,48	0,00		0,28		-0,04	0,002
Mn, mangaani	kg	12,38						
Mo, molybdeeni	kg	0,24						
Ni, nikkeli	kg	6,43	0,03		1,05		-0,14	0,01
Pb, lyijy	kg	7,02	1,48	24,42	0,79		-0,11	0,01
V, vanadium, air	kg	21,78	0,00		1,73		-0,23	0,01
Zn, sinkki	kg	1,19	2,49	325,30	0,40		-0,05	0,003
<i>Päästöt veteen</i>								
P, fosfori	kg	20,69	689,90	274,25	4,07		-261,44	0,03
N, typi	kg	3247,18	82053,29	738,54	275,25	5,60	-87,26	2,20
BOD, biologinen hapenkulutus	kg	62,72	4292,98	513,47			-0,15	
COD, kemiallinen hapenkulutus	kg	427,19	40778,60	832,24	1499,78	196,18	-252,48	16,75
As, arseeni	kg	0,88	0,28					
Cd, kadmium	kg	0,14	0,01					
Cr, kromi	kg	0,56	-3,25					
Cu, kupari	kg	2,09	14,13	53,63				
Hg, elohopea	kg	0,17	0,03					
Mg, magnesium	kg	17411,80	3,82					
Mn, mangaani	kg	40,16	6,45					
Ni, nikkeli	kg	4,25	0,38					
Pb, lyijy	kg	0,16	-9,46	0,06				
Zn, sinkki	kg	2,23	8,75	1,00				
F <sup>-</sup> , fluoridit	kg	1815,87	2687,41		122,10		-25,38	1,05
CN <sup>-</sup> , syanidit	kg		306,01					
CNS <sup>-</sup> , tiosyanaatit	kg		216,84					
kiintoaine	kg	115,11	390,45		126,67		-198,92	1,16
öljy	kg	1725,92	-424,37	1829,59	9,85	33,62	-501,95	1,07

<b>Ruostumattomat teräsnauhat 1997</b>		Romu	Ferrokromi ja -nikkeli	Muut raaka-aineet	Tuotanto	Ostosähkö	Kuljetus
<i>Päästöt ilmaan</i>							
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	t	21045,70	285843,00	267540,00	256534,00	105112,00	19370,20
N <sub>2</sub> O, typpidioksidi	t	0,91	21,67	4,27		10,58	0,26
CH <sub>4</sub> , metaani	t	2,64	34,88	-131,02		21,19	0,76
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	t	4,28	483,52	1318,67	67,29	161,83	113,96
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	t	208,45	626,29	1511,73	444,26	184,77	379,49
CO, hiilimonoksidi	t	100,71	1550,99	1250,22		16,86	46,07
NMVOOC, haihtuvat org.yhdisteet ei metaani	t	43,93	2890,09	244,78		682,55	29,10
HC, hiilivedyt	t	11,66	22,44	128,49		0,48	6,80
partikkelit	t	18,40	377,61	540,29	182,03	16,91	15,79
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	kg		15,18	18,85			
HCl, kloorivety	kg		264,09	9353,11			
HF, fluorivety	kg		25,67	662,83		474,06	
F, fluoridit	kg	0,07	133,49	329,00		4,01	
bentseeni, tolueneeni, ksyleeni	kg		1415,53	66,97			
PAH, polyaromaattiset hiilivedyt	kg						
DIO/FUR	kg						
As, arseeni	kg	0,07	5,68	72,03		4,53	
Cd, kadmium	kg	0,01	0,96	23,49		0,76	
Cr, kromi	kg	0,10	2143,26	2,32	11315,20	6,46	
Cu, kupari	kg		0,01	54,74			
Hg, elohopea	kg	0,03	2,16	0,61		1,72	
Mn, mangaani	kg		0,02	0,27			
Mo, molybdeeni	kg		0,0003	0,01			
Ni, nikkeli	kg	0,10	288,79	868,09	3134,91	6,53	
Pb, lyijy	kg	0,08	6,26	87,10	3023,52	4,96	
V, vanadiini	kg	0,17	20,84	4,26		10,84	
Zn, sinkki	kg	0,04	567,62	20,66	12078,60	2,49	
<i>Päästöt veteen</i>							
P, fosfori	kg	0,39	461,46	20,34		25,43	
N, typpi	kg	29,37	43409,71	3087,73	119319,00	1720,58	9,35
BOD, biologinen hapenkulutus	kg		1447,21	4662,67			
COD, kemiallinen hapenkulutus	kg	223,30	24647,40	30748,40		9374,98	322,89
As, arseeni	kg		0,09	11,55			
Cd, kadmium	kg		0,00	0,55			
Cr, kromi	kg		606,71	-0,04	1615,27		
Cu, kupari	kg		4,36	225,93			
Hg, elohopea	kg		0,01	0,00			
Mg, magnesium	kg		21,55	384,01			
Mn, mangaani	kg		1,91	0,98			
Ni, nikkeli	kg		162,14	2923,31	1032,20		
Pb, lyijy	kg		-3,26	164,24			
Zn, sinkki	kg		1189,31	107,84	31,46		
öljy	kg	14,24	-35,13	608,80	84,40	61,57	55,08
F, fluoridit	kg	14,02	5709,28	570,74	9015,89	763,24	
CN-, syanidit	kg		323,01	4,88	6,72		
CNS-, tiosyanaatit	kg		71,66	3,46			
kiintoaine	kg	15,41	41536,41	389819,00	19097,00	791,79	

<b>Muokatut kupari- tuotteet 1997</b>		Rikaste	Muut raaka-aineet	Tuotanto	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet	Romu
<i>Päästöt ilmaan</i>								
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	t	303956,00	6990,12	37711,40	126644,00	69767,60	14134,90	963,13
N <sub>2</sub> O, typpidioksidi	t		0,25		10,99	0,09	-4,27	0,04
CH <sub>4</sub> , metaani	t	100,05	1,07		21,50	0,27	-1178,33	0,12
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	t			1954,31	221,83	1062,93	-378,09	0,20
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	t	2912,91	51,39	99,34	225,50	1803,07	-120,95	9,54
CO, hiilimonoksidi	t	531,92	33,47	373,21	18,49	52,46	2559,24	4,61
NMVOC, haihtuvat org.yhdisteet ei metaani	t		40,74		692,70		-2174,95	2,01
HC, hiilivedyt	t	316,62	7,65	5,97	1,20	84,32	-1,29	0,55
partikkelit	t	2532,96	4,09	52,82	22,80	86,73	-6,04	0,84
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	kg		4,51					
HCl, kloorivety	kg	44327,00	14,75					
HF, fluorivety	kg	2153,02	7654,48					
F <sup>-</sup> , fluoridit	kg		12,55		4,06			0,00
bentseeni, toluenei, ksyleeni	kg		21,45					
PAH, polyaromaattiset hiilivedyt	kg							
DIO/FUR	kg							
As, arseeni	kg	126,65	0,04	1273,75	5,11			0,00
Cd, kadmium	kg	126,65	0,01	202,15	0,83			0,00
Cr, kromi	kg		0,06		8,04			0,00
Cu, kupari	kg	2786,26		6001,87				
Mn, mangaani	kg							
Mo, molybdeeni	kg							
Hg, elohopea	kg		0,02	0,80	1,80			0,00
Ni, nikkeli	kg	126,65	0,06	2,60	15,86			0,00
Pb, lyijy	kg	506,59	0,04	785,70	6,22			0,00
V, vanadiini	kg				0,32			0,01
Zn, sinkki	kg		0,02	3256,72	2,52			0,00
PCCP/F (I_TEQ)	kg							0,55
<i>Päästöt veteen</i>								
P, total	kg		3,76		34,03			0,02
N, typpi	kg	6104,43	443,38	0,02	2181,62	60,84	-12,88	1,34
BOD, biologinen hapenkulutus	kg	27862,60	26,17					
COD, kemiallinen hapenkulutus	kg	139313,00	1380,18	0,81	12284,10	1439,74	-300,63	10,22
As, arseeni	kg		0,001	291,19				
Cd, kadmium	kg			38,50				
Cr, kromi	kg		-0,02					
Cu, kupari	kg	1139,83	0,07	7651,64				
Hg, elohopea	kg		0,0002	6,42				
Mg, magnesium	kg		0,01					
Mn, mangaani	kg		0,03					
Ni, nikkeli	kg	1266,48	0,001	506,02				
Pb, lyijy	kg	1013,18	-0,05	129,95				
Zn, sinkki	kg	633,24	0,04	1578,28				
F <sup>-</sup> , fluoridit	kg	1266,48	20,84		774,37			0,64
CN <sup>-</sup> , syanidit	kg		1,56					
CNS <sup>-</sup> , tiosyanaatit	kg		1,11					
kiintoaine	kg	2406320,00	33,83		1019,35		-9433,05	0,71
öljy	kg		203,78	0,14	86,57	207,39	-4405,76	0,65

<b>Nikkelikatodit ja -brikitit 1997</b>		Rikaste	Muut raaka-aineet	Tuotanto	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet	Romu
<i>Päästöt ilmaan</i>								
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	t	89520,00	57809,20	57912,00	64111,00	57021,40	-13238,10	19,17
N <sub>2</sub> O, typpidioksidi	t		0,95		5,83	0,14	-1,70	8,26E-04
CH <sub>4</sub> , metaani	t	29,47	5,15		11,68	0,41	-469,83	2,41E-03
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	t	895,20	229,90	596,00	122,29	848,26	-119,01	3,90E-03
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	t	857,90	201,47	149,00	118,37	1453,00	-43,94	0,19
CO, hiilimonoksidi	t	156,66	138,83		9,83	47,16	1020,94	0,09
NMVOOC, haihtuvat org.yhdisteet ei metaani	t		169,25		376,25		-867,20	0,04
HC, hiilivedyt	t	93,25	20,88		0,80	69,22		0,01
partikkelit	t	746,00	108,61	6,77	11,56	70,81	-0,26	0,02
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	kg		1,07					
HCl, kloorivety	kg	13055,00	1859,06					
HF, fluorivety	kg	634,10						
F, fluoridit	kg		5,63		2,21			0,00
bentseeni, tolueneeni, ksyleeni	kg		99,77					
PAH, polyaromaattiset hiilivedyt	kg							
DIO/FUR	kg							
As, arseeni	kg	37,30	17,73	91,00	2,50			0,00
Cd, kadmium	kg	37,30	5,82	5,00	0,42			0,00
Cr, kromi	kg		0,22		3,51			0,00
Cu, kupari	kg	37,30	13,61	62,00				
Hg, elohopea	kg		0,06		0,95			0,00
Mn, mangaani	kg							
Mo, molybdeeni	kg							
Ni, nikkeli	kg	820,60	216,23	756,00	3,60			0,00
Pb, lyijy	kg	149,20	21,43	6,00	2,73			0,00
V, vanadiini	kg		0,37		5,98			0,00
Zn, sinkki	kg		5,02	36,00	1,37			0,00
<i>Päästöt veteen</i>								
P, fosfori	kg		17,29		14,02			0,00
N, typpi	kg	596,80	4091,24		953,80	49,37	-1846,61	0,03
BOD, biologinen hapenkulutus	kg	8206,00	1228,24					
COD, kemiallinen hapenkulutus	kg	41030,00	7802,11		5292,75	1178,20		0,20
As, arseeni	kg		2,88	21,00				
Cd, kadmium	kg		0,14	1,00				
Cr, kromi	kg		-0,08					
Cu, kupari	kg	373,00	56,62	37,00				
Hg, elohopea	kg		0,00					
Mg, magnesium	kg		0,02					
Mn, mangaani	kg		0,13					
Ni, nikkeli	kg	335,70	647,61	5070,00				
Pb, lyijy	kg	298,40	40,79	1,00				
Zn, sinkki	kg	186,50	27,64	9,00				
F, fluoridit	kg	373,00	141,09		420,72			0,01
CN <sup>-</sup> , syanidit	kg		7,28					
CNS <sup>-</sup> , tiosyanaatit	kg		5,16					
kiintoaine	kg	708700,00	97539,10		436,46		-3761,15	0,01
öljy	kg		120,13		51,78	170,57	-1739,53	0,01

<b>Sinkkiharkot 1997</b>		Rikaste	Muut raaka-aineet	Tuotanto	Ostosähkö	Kuljetus	Sivutuotteet
<i>Päästöt ilmaan</i>							
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	t	102440,00	13646,60	62028,70	148500,00	14116,60	-5446,45
N <sub>2</sub> O, typpidioksidi	t		0,51		14,95	0,01	-1,46
CH <sub>4</sub> , metaani	t	66,50	5,49		29,94	0,03	-403,75
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	t	1132,23	15,44	207,20	228,62	219,50	-174,34
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	t	754,82	31,43	65,69	261,03	332,22	-46,40
CO, hiilimonoksidi	t	159,95	10,48		23,82	16,56	876,98
NMVOC, haihtuvat org.yhdisteet ei metaani	t		26,94		964,29		-745,24
HC, hiilivedyt	t	11,08	3,68		0,67	11,80	-0,39
partikkelit	t	952,51	16,89	18,99	23,90	12,85	-4,14
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	kg	179,72	4,96				
HCl, kloorivety	kg	6110,44	41,41				
HF, fluorivety	kg	359,44	102,16				
F <sup>-</sup> , fluoridit	kg	179,72	97,95		5,66		
DIO/FUR	kg						
As, arseeni	kg		0,07	1301,66	6,40		
Cd, kadmium	kg		0,01	102,25	1,08		
Cr, kromi	kg		0,09	1,33	8,98		
Cu, kupari	kg	179,72					
Hg, elohopea	kg		0,02	10,93	2,43		
Mn, mangaani	kg						
Mo, molybdeeni	kg						
Ni, nikkeli	kg		0,09	8,58	9,23		
Pb, lyijy	kg	1797,19	0,07	320,95	7,00		
V, vanadiini	kg		0,16	27,27	15,32		
Zn, sinkki	kg	1258,03	0,04	33093,30	3,51		
<i>Päästöt veteen</i>							
P, fosfori	kg		6,49		35,92		
N, typpi	kg	400,77	615,90	96000,00	2430,81	8,06	-3,83
BOD, biologinen hapenkulutus	kg	1258,03	6,82				
COD, kemiallinen hapenkulutus	kg	1078,31	2139,80		13244,80	282,01	-90,14
As, arseeni	kg			35,00			
Cd, kadmium	kg			19,99			
Cr, kromi	kg						
Cu, kupari	kg	359,44		84,97			
Hg, elohopea	kg			3,00			
Mg, magnesium	kg	7907,62					
Mn, mangaani	kg	1976,90					
Ni, nikkeli	kg						
Pb, lyijy	kg	539,16					
Zn, sinkki	kg	3234,93		779,91			
F <sup>-</sup> , fluoridit	kg	179,72	11,59		1078,29		
CN <sup>-</sup> , syanidit	kg	179,72					
CNS <sup>-</sup> , tiosyanaatit	kg						
kiintoaine	kg	2516060,00	387,53		1118,63		-3232,21
öljy	kg		90,47		86,98	48,34	-1507,82

<b>Alumiiniharkot 1997</b>		<b>Muut raaka-aineet</b>	<b>Tuotanto</b>	<b>Ostosähkö</b>	<b>Kuljetus</b>
<i>Päästöt ilmaan</i>					
CO <sub>2</sub> , hiilidioksidi	t	1205,14	9854,25	3088,57	1640,71
N <sub>2</sub> O, typpidioksidi	t			0,31	0,05
CH <sub>4</sub> , metaani	t			0,62	0,14
SO <sub>2</sub> , rikkidioksidi	t	1,92	71,19	4,76	8,59
NO <sub>x</sub> , typen oksidit	t	10,96		5,43	25,51
CO, hiilimonoksidi	t	2,35		0,50	4,79
NM VOC, haihtuvat org.yhdisteet ei metaani	t			20,06	
HC, hiilivedyt	t	1,67		0,01	2,19
partikkelit	t	0,55	2,44	0,50	1,75
NH <sub>3</sub> , ammoniakki	kg				
HCl, kloorivety	kg		8293,48		
HF, fluorivety	kg		177,86		
F, fluoridit	kg			0,12	
bentseeni, tolueni, ksyleeni	kg				
PAH, polyaromaattiset hiilivedyt	kg				
DIO/FUR	kg				
As, arseeni	kg		3,91	0,13	
Cd, kadmium	kg		0,38	0,02	
Cr, kromi	kg			0,19	
Cu, kupari	kg				
Hg, elohopea	kg			0,05	
Mn, mangaani	kg				
Mo, molybdeeni	kg				
Ni, nikkeli	kg			0,19	
Pb, lyijy	kg		13,55	0,15	
V, vanadiini	kg			0,32	
Zn, sinkki	kg		59,58	0,07	
<i>Päästöt veteen</i>					
P, fosfori	kg			0,75	
N, typpi	kg	9,39		50,56	0,96
BOD, biologinen hapenkulutus	kg				
COD, kemiallinen hapenkulutus	kg	227,90		275,47	33,75
As, arseeni	kg				
Cd, kadmium	kg				
Cr, kromi	kg				
Cu, kupari	kg				
Hg, elohopea	kg				
Mg, magnesium	kg				
Mn, mangaani	kg				
Ni, nikkeli	kg				
Pb, lyijy	kg				
Zn, sinkki	kg				
F, fluoridit	kg			22,43	
CN-, syanidit	kg				
CNS-, tiosyanaatit	kg				
kiintoaine	kg			23,27	
öljy	kg	33,12		1,81	5,79

## Liite 6. Vaikutusarviointimallien tulosten herkkyydestä

Kuormitustekijöiden määräarvioiden luotettavuudella on oma vaikutuksensa valtakunnallisen arviointimallin ja kokonaisarviointimallin tuloksiin, mutta käytännössä malleissa käytetyt vaikutusluokkien karakterisointikertoimet, normalisointitekijät ja painot muovaavat mallien kokonaisvaikutuspisteet. Normalisointitekijät perustuvat pitkälti Suomen kokonaispäästöarvoihin, minkä takia normalisointitekijöiden epävarmuudet eivät ole tulosten herkkyystarkastelujen kannalta keskeinen kohde. Sen sijaan vaikutusluokkapainot ovat, sillä ne ovat jo luonteeltaan subjektiivisia. Toisaalta myös tiedetään, että arviointimallien puumaisen rakenteen perusteella yläpäässä olevat tekijät, vaikutusluokkapainot, vaikuttavat mallin kokonaisvaikutuspisteisiin eniten (ks. Seppälä 1997, 1999).

Ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen painokertoimina on työssä käytetty valtakunnallisen mallin arvottamiskyselyn tulosta, jonka perusteella ilmastonmuutoksen ”keskimääräinen” paino on 0,242, happamoitumisen 0,141, alailmakehän otsonin muodostumisen 0,061 ja rehevöitymisen 0,172. Mallin kokonaisvaikutustulosten kannalta on olennaista vaikutusluokkien painojen välinen suhde, eivät absoluuttiset lukuarvot.

Valtakunnallisen arviointimallin herkkyyttä erilaisille vaikutusluokkien painotuksille voidaan lähestyä seuraavan esimerkin mukaisesti. Päätetään, että ilmastonmuutoksen painoa vähennetään alkuperäisestä arvosta 20 prosentilla muiden vaikutusluokkien painojen pysyessä ennallaan. Ilmastonmuutoksen painoarvon muutoksen merkitys saadaan näkyville kertomalla ilmastonmuutosta aiheuttavien päästömuuttujien ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ja  $\text{CH}_4$ ) vaikutuspisteet 0,8:lla (mikä siis vastaa tilannetta, jossa ilmastonmuutoksen vaikutusluokkapaino olisi 0,194 arvon 0,242 sijasta).

Esimerkiksi teräslevyjen ja -kelojen yhteydessä esitetyt koko elinkaaren kattavat päästömuuttujien vaikutuspisteet (vaikutuspiste / 1000 tonnia teräslevyä ja -kelaa) (raportin luku 5.2 ja taulukko 12) muuttuvat seuraaviksi:  $\text{CO}_2$ : 53,398,  $\text{N}_2\text{O}$ : 0,412 ja  $\text{CH}_4$ : 0,182. Muiden vaikutusluokkien yhteydessä olevat päästömuuttujien pisteet säilyvät aikaisemmissa arvoissa. Vastaava herkkyystarkastelu voidaan tehdä happamoitumiselle, alailmakehän otsonin muodostumiselle ja rehevöitymiselle. Tällöin on kuitenkin muistettava, että ainoastaan tarkasteltavassa vaikutusluokassa mukana olevien päästömuuttujien arvot muuttuvat. Esimerkiksi happamoitumisen painon herkkyyksianalyysissä ei muuteta typen oksidien vaikutuspisteitä rehevöitymisessä ja alailmakehän otsonin muodostumisessa, joihin myös typen oksidit vaikuttavat (ks. esimerkiksi taulukko 12 raportin luvussa 5.2).

Tietyn vaikutusluokan kuormitustekijöiden karakterisointikertoimien muutosten vaikutusten arviointi ei ole yhtä suoraviivaista kuin vaikutusluokkien painoarvojen muutosten arviointi, koska karakterisointikertoimen muutoksen vaikutus näkyy normalisointitekijässä ja tutkittavan kohteen karakterisoidussa päästöarvossa. Esimerkiksi jos alailmakehän otsonin muodostumisessa lähtee siitä, että typen oksidien merkitys otsonien muodostumiseen on puolet pienempi kuin mallissa käytetty oletuskarakterisointikerroin, niin typen oksidien tuotekohtaiset vaikutuspisteet pienenevät puolella alailmakehän otsonin muodostumisen yhteydessä, mutta NMVOC:n, CO:n ja  $\text{CH}_4$ :n vaikutuspisteet säilyvät ennallaan. Tällöin lähdetään oletuksesta, että normalisointitekijässä käytettävät karakterisointitekijät pysyvät alkuperäisinä. Tällainen herkkyystarkastelu on perusteltavissa, kun haarukoidaan ulkomailla tapahtuvien päästöjen merkitystä suhteessa Suomessa



tapahtuviin päästöihin. Mikäli halutaan tutkia Suomen päästöjen karakterisointikertoimien muutosten herkkyyttä, tulisi karakterisointikertoimien muutokset ottaa huomioon myös normalisointitekijöissä. Tällaisen herkkyytarkastelun suorittaminen tapahtuu täsmällisesti vain sijoittamalla mallin yhtälöihin muutettavat karakterisointikertoimet ja laskemalla muutetuilla lähtötiedoilla mallilla uudet tulokset. Nyrkkisääntönä voidaan kuitenkin sanoa, että karakterisointikertoimen pienentäminen puolella ei tässä tapauksessa pudota tutkittavan kuormitustekijän vaikutuspisteitä puolella. Samalla muiden tarkasteltavassa vaikutusluokassa mukana olevien kuormitustekijöiden vaikutuspisteet nousevat jonkin verran alkuperäisestä.

Tuotantolaitoskohtaisissa kokonaisvaikutusarviointimalleissa on säilytetty valtakunnallisen arviointimallin ilmastonmuutosta, happamoitumista, alailmakehän otsonin muodostumista ja rehevöitymistä aiheuttavien aineiden vaikutuskertoimet, jotka ilmaisevat ko. aineiden kokonaisvaikutuspistemäärän päästökiloa kohti. Toisin sanoen kaikkien metallijalosteiden valtakunnallisissa arviointimalleissa ja kokonaisvaikutusarviointimalleissa on samat vaikutuskertoimet ko. aineille. Poikkeuksen tekevät rikkidioksidi ja typen oksidit, jotka aiheuttavat happamoitumisen lisäksi joillakin tuotantolaitoksilla terveysvaikutuksia ja suoria kasvillisuusvaikutuksia, joiden suuruus arvioitiin tuotantolaitoksen ympäristönsuojeluvastaavan, kunnan ympäristönsuojelusihteerin ja ympäristökeskuksen teollisuusvalvojan subjektiivisten näkemysten perusteella. Tämän takia rikkidioksidin ja typen oksidien vaikutuspisteet päästökiloa kohti vaihtelevat jonkin verran eri metallijalosteiden laskentamallien yhteydessä. Erityisesti ruostumattomien teräsnauhojen kokonaisarviointimallissa käytetyt rikkidioksidin ja typen oksidien vaikutuspistekertoimet poikkeavat muiden metallijalosteiden yhteydessä käytetyistä kertoimista (taulukko 1), koska tehtaan ympäristöasioita käsittelevät asiantuntijat arvioivat rikkidioksidin ja typen oksidien aiheuttavan suoria kasvillisuusvaikutuksia tehtaan lähiympäristössä ja tälle vaikutusluokalle annettiin suuri painoarvo suhteessa muihin vaikutusluokkiin.

Metallien ja muiden haitallisten aineiden, jotka aiheuttavat ekotoksisuutta ja terveysvaikutuksia, vaikutuspistekertoimet vaihtelevat suuresti eri metallijalosteiden kokonaisvaikutusarviointimalleissa (taulukko 1). Suuret erot johtuvat arvottamisessa mukana olleiden asiantuntijoiden erilaisista näkemyksistä. Eri metallijalosteiden kokonaisarviointimallien haitallisten aineiden tulosten herkkyyttä voidaan tutkia yksinkertaisesti käyttämällä taulukon 1 tietoja. Taulukosta 1 huomataan esimerkiksi se, että ruostumattomien teräsnauhojen kokonaisvaikutusarviointimallissa on käytetty kaksi kertaa pienempää vaikutuskerrointa ilmaan menevälle nikkelimelle kuin kuparin tuotannon yhteydessä. Kertomalla ruostumattomien teräsnauhojen kokonaisvaikutusarviointimallin nikkelpäästöjen tulokset kahdella ja vertaamalla saatuja uusia nikkelin vaikutuspisteitä raportin luvun 5.5 taulukon 19 muiden päästömuuttujien vaikutuspisteisiin, saadaan vaihtoehtoinen näkemys ilmaan menevien nikkelin haitallisuudesta.

Taulukko 1. Päästömuuttujien vaikutuspistekerroin eri metallijalosteiden kokonaisarviointimallien yhteydessä. Käytetyt lyhenteet: T1 = teräslevyt ja -kelat, T2 = terästangot, T3 = teräslangat, T4 = ruostumattomat teräsnauhat, T5 = muokatut kuparituotteet, T6 = nikkelikatodit ja -brikitit, T7 = sinkkiharkot, T8 = alumiiniharkot.

Päästömuuttuja	Vaikutuspistekerroin (piste/ kg päästöä)							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<i>Päästöt ilmaan</i>								
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	0,018	0,006	0,005	0,027	0,007	0,007	0,005	0,005
Typen oksidit (NO <sub>x</sub> )	0,009	0,005	0,005	0,015	0,007	0,005	0,005	0,005
Arseeni (As)	0,79	0,50	17,49	-	0,79	0,79	1,51	2,86
Elohopea (Hg)	-	-	-	0,79	0,79	17,91	-	-
Kadmium (Cd)	5,76	5,58	104,99	-	57,63	57,63	16,63	92,44
Kupari (Cu)	0,54	0,97	-	-	0,54	0,54	-	-
Kromi (Cr)	0,85	0,82	-	1,10	-	-	-	-
Lyijy (Pb)	0,29	0,07	-	0,07	0,55	0,55	0,07	1,67
Nikkeli (Ni)	4,51	1,67	-	3,23	6,52	6,52	-	-
Sinkki (Zn)	0,15	0,20	6,89	0,26	0,10	0,10	0,08	0,56
Vanadiini (V)	3,98	-	-	-	-	-	-	-
<i>Päästöt veteen</i>								
Arseeni (As)	-	-	-	-	0,09	0,09	0,07	-
Elohopea (Hg)	-	-	-	-	5,32	5,32	108,10	-
Kadmium (Cd)	-	-	-	-	3,33	3,33	5,60	-
Kupari (Cu)	-	-	9,31	-	1,12	1,12	-	-
Kromi (Cr)	-	-	-	1,61	-	-	-	-
Lyijy (Pb)	-	-	-	-	0,09	0,09	-	-
Nikkeli (Ni)	-	-	-	12,62	1,14	1,14	-	-
Sinkki (Zn)	-	-	7,71	2,14	0,15	0,15	0,25	-
Rauta (Fe)	0,008	-	-	-	-	-	-	-
Öljy	0,08	0,01	0,81	1,39	0,11	0,11	-	-
Syanidi	6,01	-	-	6,01	-	-	-	-

## Kirjallisuus

- Seppälä, J. 1997. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 123. S. 137.
- Seppälä, J. 1999. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Julk.: Klöpffer, W. & Hutzinger (toim.), LCA Documents, Vol 4. Eco-Inforna Press, Landsberg. S. 174.

# Kuvailulehti

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika Lokakuu 2000
Tekijä(t)	Jyri Seppälä, Sirkka Koskela, Matti Palperi ja Matti Melanen	
Julkaisun nimi	Metallien jalostus ja ympäristö	
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä <a href="http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy438/sy438.htm">http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy438/sy438.htm</a>	
Tiivistelmä	<p>Työssä on tehty Suomen metallien jalostusteollisuuden keskeisille tuotteille, metallijalosteille, elinkaari-inventaarioselvitykset ja yrityskohtaiset ympäristövaikutusanalyysit. Elinkaariarviointeihin pohjautuvan aineiston avulla on muodostettu kokonaiskuva Suomen metallien jalostusteollisuuden ympäristövaikutuksista ja ympäristönsuojelun kohdentamisalueista ekotehokkuuden näkökulmasta.</p> <p>Työssä tarkasteltavat metallijalosteet ovat (1) teräslevyt ja -kelat, (2) terästangot, (3) teräslangat, (4) ruostumattomat teräsnauhat, (5) muokatut kuparituotteet, (6) nikkelikatodit ja -briketit, (7) sinkkiharkot ja (8) alumiiniharkot. Kullekin tuotteelle on laadittu elinkaari-inventaarioselvitys, jossa metallijalosteen tuotantoon liittyvät materiaalisyytötteet, primäärienergian käyttö, päästöt veteen ja ilmaan sekä jätteet on esitetty raaka-aineen hankinnasta tehtaan portille. Työssä on vertailtu Suomen metallien jalostusteollisuuden tuotteiden primäärienergian ominaiskulutuksia ja ominaispäästöjä ulkomailla tehtyjen tutkimusten tuloksiin.</p> <p>Metallijalosteiden inventaarioanalyysien tietojen tulkintaan on käytetty vaikutusarviointimenetelmää, joka perustuu elinkaariarvioinneissa sovellettavaan vaikutusarviointimenettelyyn ja päätösanalyysiin. Menetelmällä on muodostettu kokonaiskuva metallijalosteiden aiheuttamista keskeisimmistä ympäristöön vaikuttavista tekijöistä ja ympäristövaikutuksista. Ympäristövaikutusten arvioinnin tulosten perusteella voidaan sanoa, että teollisuusala ei ole mitenkään yhtenäinen ympäristövaikutusten kannalta. Elinkaariarvioinnissa maankäyttöön ja maisemaan liittyvien ympäristöasioiden arviointiin tulee kehittää menetelmiä ja tällaiset tiedot tulisi sisällyttää tulevaisuudessa myös metallijalosteiden elinkaariarviointiin.</p> <p>Metallien jalostusteollisuutemme hyvästä päästöjen hallintatilanteesta huolimatta hiilidioksidin, rikkidioksidin, typen oksidien, metallien ja pölyn päästöjen sekä energian käytön ja jätteen (sakat, lietteet) vähentämistä tulee jatkaa. Ekotehokkuutta voidaan parantaa tuottamalla tietystä raaka-ainemäärästä enemmän metallijalosteita ja sivutuotteita sekä toimittamalla syntyneet jätteet hyötykäyttöön. Myös metallituotteiden uudelleen käyttö- ja kierrätyskelpoisuuden lisääminen on ekotehokkuuden kannalta toivottava suuntaus. Pitkällä tähtäyksellä ekotehostumista on nimenomaan se, että metallien käytön määrää vähennetään kehittämällä ja hyödyntämällä paremmin materiaalien ominaisuuksia sekä lisäämällä metallituotteiden käyttöikä.</p>	
Asiasanat	Metalli, teollisuus, elinkaariarviointi, ympäristövaikutukset, ekotehokkuus, teräs, ruostumaton teräs, kupari, nikkeli, sinkki, alumiini, romu	
Julkaisusarjan nimi ja numero		
Julkaisun teema	Suomen ympäristö 438	
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Ympäristönsuojelu	
Rahoittaja/ toimeksiantaja		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0788-X
	Sivuja 155	Kieli Suomi
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 112 mk
Julkaisun myynti/ jakaja	Oy Edita Ab, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Edita puh. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380, sähköpostiosoite: asiakaspalvelu@edita.fi www-palvelin: <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>	
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus PL 140, 00251 Helsinki	
Painopaikka ja -aika	Oy Edita Ab Helsinki 2000	

# Presentationssblad

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum Oktober 2000
Författare	Jyri Seppälä, Sirkka Koskela, Matti Palperi och Matti Melanen	
Publikationens titel	Metallindustrin och miljön	
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns även i internet <a href="http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy438/sy438.htm">http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy438/sy438.htm</a>	
Sammandrag	<p>Detta arbete beskriver livscykelinventeringar, samt miljökonsekvensanalyser på företagsnivå, för huvudprodukterna inom metallindustrin i Finland. En helhetsbild som belyser miljökonsekvenserna av metallindustrin i Finland, och som visar på de viktigaste tyngdpunktsområdena inom branschens miljövärd, har tagits fram baserad på data från livscykelanalyser, med betoning av ekoeffektivitet.</p> <p>Aktuella metallprodukter var (1) stålplåt samt -rullar, (2) stålstänger, (3) ståltråd, (4) rostfritt stålband, (5) bearbetade kopparprodukter, (6) nickelkatoder och -briketter, (7) zinktackor och (8) aluminiumtackor. För varje produkt har man utarbetat en livscykelinventarie, i vilken material-input, konsumtion av primärenergi, utsläpp till vatten och luft samt uppkomst av avfall har kvantifierats från råvarustadiet till färdig produkt. Konsumerad primärenergi och mängden utsläpp, beräknade per ton metall, inom den finländska metallindustrin jämfördes med data från internationella studier.</p> <p>Data från livscykelinventeringarna har tolkats med hjälp av en modell för konsekvensanalys, som grundar sig på beslutsanalys samt förfarandet inom konsekvensbedömning vid livscykelanalyser. Med denna metodik har man skapat en helhetsbild av de viktigaste miljöpåverkande faktorerna och miljökonsekvenserna gällande olika metallprodukter. Det visar sig att metallindustrin inte är homogen gällande miljöpåverkan, då man granskar resultaten av miljökonsekvensbedömningen. Det framstår också, att ett behov av metodik för bedömning av inverkan på markanvändning samt landskap föreligger, och att data gällande markanvändning och landskap bör innefattas i framtida livscykelanalyser.</p> <p>Trots det faktum att miljövärden inom finländsk metallindustri är på en hög nivå, bör man fortsättningsvis reducera utsläpp av koldioxid, svaveldioxid, kväveoxider, metaller och damm, samt konsumtion av energi och uppkomst av avfall. Det är möjligt att öka ekoeffektiviteten genom att producera större mängder av färdig produkt och biprodukter av en given mängd råvaror, och genom att utnyttja uppstått avfall. Ökad återanvändning av metallprodukter innebär också en utveckling i positiv riktning med avseende på ekoeffektiviteten. På lång sikt kan ekoeffektiviteten ökas i och med en minskad användning av metaller, genom att utveckla och bättre utnyttja materialens egenskaper, och öka metallprodukternas livslängd.</p>	
Nyckelord	Metall, industri, livscykelanalys, miljökonsekvenser, ekoeffektivitet, stål, rostfritt stål, koppar, nickel, zink, aluminium, skrot	
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 438	
Publikationens tema	Miljövärd	
Projektets namn och nummer		
Finansiär/ uppdragsgivare		
Organisationer i projektgruppen		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0788-X
	Sidantal 155	Språk Finska
	Offentlighet Offentlig	Pris 112 mk
Beställningar/ distribution	Edita Ab, Kundservice, PB 800, 00043 Edita tel. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380, e-mail: <a href="mailto:asiakaspalvelu@edita.fi">asiakaspalvelu@edita.fi</a> www-server: <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>	
Förläggare	Finlands miljöcentral PB 140, 00251 Helsingfors	
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Oy Edita Ab Helsingfors 2000	

# Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute	Date of publication October 2000
Author(s)	Jyri Seppälä, Sirkka Koskela, Matti Palperi and Matti Melanen	
Title of publication	Production of metals and the environment	
Parts of publication/ other project publication	This publication is also available in the Internet <a href="http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy438/sy438.htm">http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy438/sy438.htm</a>	
Abstract	<p>In the study, life cycle inventory (LCI) data of the main products of the Finnish metals industry and company-specific environmental impact analyses were produced. The life cycle assessment (LCA) data has been used to create the overall picture of environmental impacts caused by the metals industry and to identify the major measures of environmental protection needed in the industry from the point of view of eco-efficiency.</p> <p>The metal products studied were (1) steel plates and hot rolled coils, (2) steel bars, (3) steel wires, (4) stainless steel coils, (5) copper products, (6) nickel cathodes and briquettes, (7) zinc ingots and (8) aluminium ingots. For each metal, an LCI study was carried out in which material inputs, primary energy use, emissions to water and air and wastes related to metal production were assessed, beginning from the extraction of raw materials and ending with the delivery of products from the factories. The primary energy consumption and emissions per tonne of metal produced in the Finnish metals industry were compared with the results of corresponding products studied in international investigations.</p> <p>The LCI data has been interpreted by an impact assessment model based on decision analysis and methods used in life cycle impact assessment (LCIA). With these results, it has been possible to identify the most harmful interventions (emissions, land use etc.) and environmental impacts caused by the various life cycle stages of the products of the Finnish metals industry. The outcome revealed that the metals industry sector is not at all homogenous from the point of view of its environmental impacts. There is also a need for R&amp;D work in land use and landscape issues in particular, and corresponding impacts should be included in LCAs in the future.</p> <p>Notwithstanding the good situation of environmental protection in the Finnish metals industry, reduction of deposits, sludges, dusts, energy use and emissions of carbon dioxide, sulphur dioxide, nitrogen oxides and metals should be continued. It is possible to improve eco-efficiency by producing more metals and by-products from smaller amounts of raw materials and by recovering wastes. Increasing the reusability and recyclability of metals is also a desirable trend. In the long term, eco-efficiency can be improved by decreasing the use of metals by developing and better utilising properties of materials and by increasing the life times of metallic end-products.</p>	
Keywords	Metal, industry, life cycle assessment, environmental impacts, eco-efficiency, steel, stainless steel, copper, nickel, zinc, aluminium, scrap	
Publication series and number	The Finnish Environment 438	
Theme of publication	Environmental protection	
Project name and number, if any		
Financier/ commissioner		
Project organization		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0788-X
	No. of pages 155	Language Finnish
	Restrictions Public	Price FIM 112
For sale at/ distributor	Edita Ltd, PB 800, FIN-00043 Edita tel. +358 9 566 0266, telefax (09) 566 0380, e-mail: <a href="mailto:asiakaspalvelu@edita.fi">asiakaspalvelu@edita.fi</a> www-server: <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>	
Financier of publication	Finnish Environment Institute P.O. Box 140, FIN-00251 Helsinki, FINLAND	
Printing place and year	Edita Ltd. Helsinki 2000	

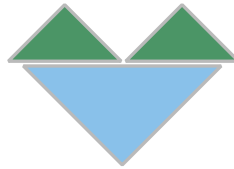
## Suomen ympäristö

301. Hännikäinen, Outi-Kristiina: Kansainvälistyvä kaupunkiympäristö. Ympäristöministeriö.
302. Ympäristömelun tutkimus ja sen kehittäminen. Ympäristöministeriö.
303. Söderman, Guy; Leinonen, Reima; Lundsten, Karl-Erik & Tuominen-Roto, Liisa: Yöperhosseuranta 1993 - 1997. Suomen ympäristökeskus.
304. Ympäristönäkökohdat julkisissa hankinnoissa. Selvitys nykytilasta Suomessa. Ympäristöministeriö.
305. Etelämäki, Lauri: Vedenkäyttö Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
306. Kontula, Tytti; Lehtomaa, Leena & Pykälä, Juha: Someron Rekijokilaakson maankäytön historia, kasvillisuus ja kasvisto. Suomen ympäristökeskus.
307. Räsänen, Milja: Entsyymiaktiivisuuksien mittaaminen maanäytteistä - esimerkkinä fosfodiesteriäsi ja arylsulfataasi. Suomen ympäristökeskus.
308. Sinisalmi, Tuomo; Mustonen, Teemu & Lahti, Markku: Päijänteen ja Konnivesi-Ruotsalaisen säännöstelyjen kehittäminen. Säännöstelyn vaikutukset rantojen virkistyskäyttöön. Suomen ympäristökeskus.
309. Lanki, Eija: Jätteiden tartuntavaarallisuuden tulkintakriteerit. Ympäristöministeriö.
310. Silvola, Matti: Saastuneiden maa-alueiden priorisointimallien arviointi - HRS/SASSIT, AGAPE ja PRIORI. Pirkanmaan ympäristökeskus.
311. Laakso, Seppo & Loikkanen, Heikki A.: Asuntomarkkinat ja asumisen tukijärjestelmät. Taustaa asuntopolitiikan kehittämiseksi. Ympäristöministeriö.
312. Pietiläinen, Olli-Pekka: Typpi ja fosfori Pien-Saimaan, Nuorajärven, Nerכוןjärven ja Kemijärven kasviplankton tuotannon sääntelijöinä. Suomen ympäristökeskus.
313. Pietiläinen, Olli-Pekka ja Räike, Antti: Typpi ja fosfori Suomen sisävesien minimiravinteina. Suomen ympäristökeskus.
314. Riekkola-Vanhanen, Marja: Finnish expert report on best available techniques in ferrochromium production. Suomen ympäristökeskus.
315. Riekkola-Vanhanen, Marja: Finnish expert report on best available techniques in zinc production. Suomen ympäristökeskus.
316. Riekkola-Vanhanen, Marja: Finnish expert report on best available techniques in copper production and by-production of precious metals. Suomen ympäristökeskus.
317. Riekkola-Vanhanen, Marja: Finnish expert report on best available techniques in nickel production. Suomen ympäristökeskus.
318. Rantanen, Pirjo et al.: Biologisen fosforin- ja typenpoiston tehokkuus, prosessiohjaus ja mikrobiologia. Suomen ympäristökeskus.
319. Pirinen, Auli & Salminen, Markku: Käytössä olevan asuintalon huoltokirja. Käyttö - Laadinta - Esimerkki. Ympäristöministeriö.
320. Liponkoski, Markku: Fluori ja sen poistaminen talousvedestä. Suomen ympäristökeskus.
321. Korhonen, Pekka: Päijänteen ja Konnivesi-Ruotsalaisen säännöstelyjen kehittäminen. Suomen ympäristökeskus.
322. Pulliainen, Erkki; Korhonen, Kyllikki & Huuskonen, Markku: Perämeren mäteiden sukurauhasten kehityshäiriöt. Ongelman laajuus ja yhteydet muiden kalojen lisääntymishäiriöihin. Lapin ympäristökeskus.
323. Tallskog, Lasse; Kontio, Panu and Leskinen, Antti: Environmental assessment in public promotion of exports and investments to developing countries / prepared for the Ministry for Foreign Affairs of Finland. Suomen ympäristökeskus.
324. Lähiöuudistus 2000 - oppia menneestä ja suuntia tulevaisuuteen. Ympäristöministeriö.
325. Kleemola, Sirpa & Forsius Martin (eds.): 8th Annual Report 1999. UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. Suomen ympäristökeskus.
326. Saarinen, Kristina: Data production chain in monitoring of emissions. Suomen ympäristökeskus.
327. Partanen-Hertell, Marjut et al. :Raising environmental awareness in Baltic Sea area. Suomen ympäristökeskus.
328. Heikkilä, Mari: Vesijohtoverkon nitrifioivat bakteerit. Suomen ympäristökeskus.
329. Melanen, Matti; Ekqvist, Marko & Mukherjee, Arun; Aunela-Tapola, Leena; Verta, Matti & Salmikangas, Tuomo: Raskasmetallien päästöt ilmaan Suomessa 1990-luvulla. Suomen ympäristökeskus.
330. Siikanen, Antti; Säylä, Markku & Tahvanainen, Markku: Suomalaisien asumismenot. Ympäristöministeriö.
331. Nystén, Taina; Gustafsson, Juhani & Oinonen, Teemu: Pohjaveden kloridipitoisuudet ensimmäisen Salpausselän alueella. Suomen ympäristökeskus.
332. Kukkonen, Jaana: Synobakteereiden maksatoksiinien osoitusmenetelmien vertailu. Suomen ympäristökeskus.
333. Kananoja, Tapio: Kallioperän suojele- ja opetuskohteita Pirkanmaalla, Kanta-Hämeessä ja Päijät-Hämeessä. Ympäristöministeriö.
334. Organoklooriyhdisteet ja raskasmetallit Kymijoen sedimentissä; esiintyminen, kulkeutuminen, vaikutukset ja terveysriskit. Suomen ympäristökeskus.
335. Luoma, Päivi: Ympäristöjärjestelmiin liittyvä ympäristönsuojelun tason jatkuva parantaminen. Esimerkkinä massa- ja paperiteollisuus. Suomen ympäristökeskus.
336. Lankoski, Leena & Lankoski, Jussi: Economic globalisation and the environment. Ympäristöministeriö.
337. Östersjöns tillstånd. Ympäristöministeriö.
338. Ehdotus Suomen ympäristökeskuksen kehittämisestä. Ympäristöministeriön asettaman SYKE-työryhmän raportti Suomen ympäristökeskuksen kansainvälisen suositusten toimeenpanemisesta. Ympäristöministeriö.
339. Numminen, Samu: Fladat ja kluuvijärvet saaristomerellä. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
340. Water protection targets for the year 2000. Ympäristöministeriö.
341. Aluearkkitehtitoiminnan kehittäminen. Ympäristöministeriö.
342. Mikkola, Aaro; Jaakkola, Olli & Sucksdorff, Yrjö: Valtakunnallisten maankäyttö-, peitteisyys- ja maaperäaineistojen muodostaminen. Ympäristöministeriö.
343. Strandell, Anna: Asukaskysely suomalaisista asuin ympäristöistä. Ympäristöministeriö.
344. Ristimäki, Mika: Ehdotus yhdyskuntarakenteen seurannan järjestämiseksi ja kehittämiseksi. Ympäristöministeriö.
345. Berninger, Kati: EU:n aluekehitysohjelmien ympäristöindikaattorit Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
346. Öljyisten alusjätteiden vastaanotto satamissa - alusjätetyöryhmän mietintö. Ympäristöministeriö.
347. Gynther, Lea; Torkkeli, Sirpa & Ötterström, Tomas: Suomen teollisuuden päästöjen ympäristökustannukset. Tapaustarkasteluna metsäteollisuus. Ympäristöministeriö.
348. Luhanka, Juha: Useamman direktiivin alaiset rakennustuotteet. Ympäristöministeriö

349. Hein, Kari; Pirinen, Auli & Salo, Petri: Toimitilakiinteistön huoltokirja. Ympäristöministeriö.
350. Tana, Jukka; Ruonala, Seppo & Ruoppa, Marja: Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksia - Projektin yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus.
351. Tengvall, Jukka: Kaasujen käsittely bensiinillä saastuneen maaperän huokoskaasupuhdistuksessa. Uudenmaan ympäristökeskus.
352. Eerolainen, Riitta: Ympäristölupamenettelyn ympäristötaloudelliset näkökohdat. Hämeen ympäristökeskus.
353. Liukko, Ulla-Maija (toim.): Saukkokannan tila ja seuranta Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
354. Housing of older people in the EU countries. Ympäristöministeriö.
355. Söderman, Guy: Diversity of pollinator communities in Eastern Fennoscandia and Eastern Baltics. Results from pilot monitoring with Yellow traps in 1997 - 1998. Suomen ympäristökeskus.
356. Schroderus-Härkönen, Seija; Markkanen, Sirkka-Liisa & Helo, Teppo: Kainuun ympäristön laadun kuvaus. Kainuun ympäristökeskus.
357. Marttunen, Mika & Järvinen, Erkki: Päijänteen säännöstelyn kehittäminen. Yhteenveto ja suositukset. Suomen ympäristökeskus.
358. Luosma, Kirsi & Hynynen, Raija: Sosiaalisten vuokra-asuntojen hakijoiden, hakumenettelyn ja asukasvalinnan vertailu Helsingissä ja Lahdessa. Ympäristöministeriö.
359. Tanninen, Timo & Hirvonen, Jukka: Housing allowance in Finland in the 1990's. Results of the cutbacks and evaluation of the effects. Ympäristöministeriö.
360. Mäkinen, Heikki: 2000-luvun vesipiirit. Näkemyksiä Euroopan unionin vesipolitiikan puitteiden edellyttämästä aluejaosta. Suomen ympäristökeskus.
361. Gustafsson, Juhani: Tiesuolauksen riskikartoitus pohjavesialueilla - valtakunnallinen yhteenveto. Suomen ympäristökeskus.
362. Karvosenoja, Niko: National cost curve analysis SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emission control. Suomen ympäristökeskus.
363. Järvinen, Erkki, A: Konnivesi-Ruotsalaisen säännöstelyn kehittäminen - yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus.
364. Bäck, Saara & Lindholm, Tapio: Vesi- ja rantaluonnon monimuotoisuuden säilyttäminen. Selvitys vesiensuojelun tavoiteohjelmaa v.uotta 2005 varten. Suomen ympäristökeskus.
365. Penttinen, Katri: Pkt-yritysten ympäristönsuojelu. Ympäristöministeriö.
366. Laukkanen, Kauko: Karjatilojen jätevesien käsittely maa- ja kivivillasuodattimissa. Pohjois-Savon ympäristökeskus.
367. Siuntion kulttuuriympäristöohjelma. Kulturmiljöprogrammet för Sjundeå. Ympäristöministeriö.
368. Haapala, Henna: Karjalan tasavallan metsiensuojelukeskustelun retoriikka-analyysi. Suomen ympäristökeskus.
369. Ilomäki, Mika: Materiaalitehostamisen ja jätteen synnyn ehkäisyn mahdollisuudet pkt-yrityksissä - yrityksen näkökulma. Pirkanmaan ympäristökeskus.
370. Töyrylä, Jouni & Ropponen, Jukka: Esteettömyys Joensuun Marjalassa. Ympäristöministeriö.
371. Johansson, Matti & Lindström, Maria: National Integrated Assessment Modelling. Workshop Report. Suomen ympäristökeskus.
372. Manninen, Pertti: Kunnostus- ja täydennysojituksen vesistövaikutuksia. Veden laatu, kuormitus ja vesiensuojelu. Etelä-Savon ympäristökeskus.
373. Silvo, Kimmo; Melanen, Matti; Gynther, Lea; Torkkeli, Sirpa; Seppälä, Jyri; Kärmeniemi, Tellervo & Pesari, Juha: Yhtenäisten päästöjen ja ympäristövaikutusten arviointi. Lähestymistapoja ympäristölupaprosessin tueksi. Suomen ympäristökeskus.
374. Bilaletdin, Amer & Arvonen, Hannu (toim.): Vörtsjärven kunnostuksen ja suojelun yleissuunnitelma. Pirkanmaan ympäristökeskus.
375. Siistonen, Pasi: Kiihtelysvaaran kulttuuriympäristöohjelma. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus.
376. OECD Environmental Performance Review. Finland's Progress Report. Ympäristöministeriö.
377. Pohjanpitäjänlahden syvänteessä vuosina 1995 ja 1996 toteutettu hapetus. Alusveden vaihdunta sekä happi- ja suolataseet. Suomen ympäristökeskus.
378. Kuntaohjaustyöryhmän muistio. Ympäristöministeriö.
379. Hanski, Minna: Jokien rakeenteellisen tilan arviointi. Taustaa EU:n vesipolitiikan puitteiden toimeenpanolle Suomen virtavesissä. Suomen ympäristökeskus.
380. Varjopuro, Riku & Furman Eeva: Kalankasvatuksen lupajärjestelmä. Ympäristöpoliittiset ohjaukset yrityksen näkökulmasta. Suomen ympäristökeskus.
381. Alatalo, Merja: Metsätaloustoimenpiteistä aiheutunut ravinne- ja kiintoainekuormitus. Suomen ympäristökeskus.
382. Asuntopoliittinen strategia. Selvitysmiehen ehdotus. Ympäristöministeriö.
383. Tenhunen, Jyrki & Seppälä, Jyri (toim.): Alueellinen ympäristöanalyysi. Esimerkinä Etelä-Savo. Suomen ympäristökeskus.
384. Polojärvi, Katja; Luoto, Miska & Heikkinen, Risto: Karttapohjainen tarkastelu geomorfologisten muodostumien suojelutalteen arvioinnissa. Suomen ympäristökeskus.
385. Biosidivalmisteiden markkinoille luovuttaminen. Direktiivin täytäntöönpanoa koskevat ehdotukset. Työryhmän mietintö. Ympäristöministeriö.
386. Kellomäki, Erkki; Kanerva, Pertti & Toivonen, Heikki: Niinipuun (*Tilia cordata Mill*) olemassaolon taistelu pohjoisrajallaan Virossa (PH). Hämeen ympäristökeskus.
387. Johansson, Matti; Ahonen, Johanna; Amann, Markus; Bartnicki, Jerzy; Ekqvist, Marko; Forsius, Martin; Karvosenoja, Niko; Lindström, Maria; Posch, Maximilian; Suutari, Riku & Syri, Sanna: Integrated Environmental Assessment Modelling - Final Report of the Finnish Subproject EU/LIFE Project. Suomen ympäristökeskus.
388. Kuusinen, Kaisa & Tornivaara-Ruikka, Riitta: Yhdyskuntarakenteen seurantarajustelmän alueellisia käyttömahdollisuuksia. Uudenmaan ympäristökeskus.
389. Pessa, Jorma & Anttila, Ilkka: Conservation of habitats and species on wetlands. A case of Liminganlahti Life Nature-Project in Finland. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus.
390. Vehmas, Anne: Osallistumisen oppivuodet. Kokemuksia kaavoituskäytäntöjen kehittämisestä Tuusulassa vuosina 1992 - 1998. Ympäristöministeriö.
391. Turtiainen, Markku: Vertailu ympäristövaikutusten arviointimenetelmissä. Ympäristöministeriö.
392. Kempainen, Samuli & Markkanen, Sirkka-Liisa: Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Kainuun ympäristökeskus.
393. Mähönen, Outi & Rissanen, Johanna (eds.): AMAP National Implementation plan 1998 -2003, Finland. Suomen ympäristökeskus.
394. Hellsten, Seppo (toim.): Päijänteen säännöstelyn kehittäminen. Rantavyöhykkeen tila ja siihen vaikuttavat tekijät. Suomen ympäristökeskus.

395. Virkkala, Raimo; Korhonen, Kari; Haapanen, Reija & Aapala, Kaisu: Metsien ja soiden suojelutilanne metsä- ja suokasvillisuus-  
vyöhykkeittäin valtakunnan metsien 8. inventoinnin perusteella. Suomen ympäristökeskus.
396. Johansson, Matti (ed.): Integrated Environmental Assessment Modelling - Final Report of the EU/Life Project. Coupling of  
CORINAIR Data to Cost-effective Reduction Emission Strategies Based on Critical Thresholds (LIFE97/ENV/FIN336). Suomen  
ympäristökeskus.
397. Vartiainen, Perttu: Method of description for the urban network in the Baltic Sea Region. Ympäristöministeriö.
398. Väänänen, Katja: Ympäristövaikutusten arviointimenettely tiehankkeiden päätöksenteossa. Ympäristöministeriö.
399. Nurmi, Eeva: Kemikaalien hormonaaliset vaikutukset ympäristössä - kirjallisuuskatsaus ja kansainvälinen yhteistyö. Suomen  
ympäristökeskus.
400. Kaljonen, Minna: Viljelijänäkökulmia ympäristönhoidossa. Tuottajien sitoutuminen maatalouden ympäristötukiohjelmaan.  
Suomen ympäristökeskus.
401. Melanen, Matti; Palperi, Matti; Viitanen, Mikko; Dahlbo, Helena; Uusitalo, Seppo; Juutinen, Artti; Lohi, Tiina-Kaisa; Koskela,  
Sirkka & Seppälä, Jyri: Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
402. Vesiensuojelun toimenpideohjelma vuoteen 2005. Åtgärdsprogram för skydd av vattnen från till år 2005. Ympäristöministeriö.
403. Vuori, Veli-Matti; Aronsuu, Ilona & Meissner: Lyhytaikaisäännöstelyn vaikutukset Perhonjoen koskieliöstöön. Habitaattitutki-  
mukset ja laboratoriokokeet vuosina 1997 - 1998. Länsi-Suomen ympäristökeskus.
404. Rosenström, Ulla & Palosaari, Marika (toim.): Kestävyyden mitta. Suomen kestävän kehityksen indikaattorit 2000. Ympäristö-  
ministeriö.
405. Niemi, Jorma & Heinonen, Pertti (toim.): Ympäristön seuranta Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
406. Furman, Eeva: Practical application of the UN/ECE Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary  
Context. Final report of the workshop. Ympäristöministeriö.
407. Suomen biologista monimuotoisuutta koskevan kansallisen toimintaohjelman toteutuminen vuosina 1997 - 1999. Ensimmäinen  
seurantaraportti. Ympäristöministeriö.
408. Myllyniemi, Marjo & Lehvo, Anna-Maija: Suolilevän *in situ* kasvatusta. Uudenmaan ympäristökeskus.
409. Kahilainen, Juha: Kohti kestävästä verkostoyhteiskuntaa. Kestävä kehitys ja tietoyhteiskunta. Ympäristöministeriö.
410. Kaljonen, Minna: Vaikutusten arviointi liikennejärjestelmäsuunnitelman tukena -tapaustutkimus pääkaupunkiseudulla. Suo-  
men ympäristökeskus.
411. Laukkanen, Tuula & Sirviö, Ulla-Maija: Aravavuokra-asuntojen vuokraavallonta. Valtakunnallinen tilanne loka - marraskuu  
1999. Ympäristöministeriö.
412. Sairanen, Rauno & Teittinen, Outi: Vapaaehtoiset ympäristösopimukset. Suomi kansainvälisessä vertailussa. Ympäristöminis-  
teriö.
413. Kauppila, Jussi: Teollisuusjätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa. Lupasääntelyn kehittämistarpeet ja kehittämissvai-  
toehdot. Suomen ympäristökeskus.
414. Niinioja, Riitta; Tanskanen, Anna-Liisa; Rummyantsev, Vladislav; Smirnova, Ljubov; Hildén, Mikael; Kontio, Panu & Filatov,  
Nikolai (eds.): Water management policy of large lakes. Tacis project TSP 40/97 DIMPLA Report of the task 4 and 5. Pohjois-  
Karjalan ympäristökeskus.
415. Kautto, Petrus & Melanen, Matti: Teollisuus ja jätepoliittinen sääntely. Suomen ympäristökeskus.
416. Kiirikki, Mikko; Westerholm, Leena & Sarkkula, Juha: Suomenlahden levähaittojen vähentämismahdollisuudet. Suomen ym-  
päristökeskus.
417. Ruoppa, Marja; Paasivirta, Jaakko; Lehtinen, Karl-Johan & Ruonala, Seppo: 4th International conference on environmental  
impacts of the pulp and paper industry proceedings of the conference 12 - 15 June 2000, Helsinki, Finland. Suomen ympäristö-  
keskus.
418. Tammiranta, Anni: Selvitys Harjavallan maaperän saastuneisuudesta ja toimenpiteiden arviointi. Suomen ympäristökeskus.
419. Lindström, Marianne; Sahivirta, Elise & Saarinen, Kristina: Miten ympäristönsuojelulaki muuttaa lupapäätöksiä? Suomen ym-  
päristökeskus.
420. Soveri, Jouko; Mäkinen, Risto & Peltonen, Kimmo: Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975 - 1999. Suomen  
ympäristökeskus.
421. Sorvari, Jaana: Mineraalisten teollisuusjätteiden maarakennuskäytön ympäristökriteerit. Suomen ympäristökeskus.
422. Veneiden melu ja aallokon muodostus. Ympäristöministeriö.
423. Lehtinen, Heli: Maaperänsuojelun toteutuminen paikallistasolla. Tapatutkimus kahdeksassa kunnassa. Suomen ympäristökes-  
kus.
424. Sundgren, Regina (red.): Projekt skärgårdhus 2000. Ympäristöministeriö.
425. Vasara, Petri; Jäppinen, Hannu & Lobbas, Pia: A strategic concept for BAT in forest industry. Suomen ympäristökeskus.
426. Kustula, Virve; Salo, Hannu; Witic, Allan & Kaunismaa, Pekka: The Finnish background for EC documentation of best available  
techniques for tanning industry.  
Kalliala, Eija & Talvenmaa, Päivi: The Finnish background for EC documentation of best available techniques for wet proces-  
sing in textile industry. Suomen ympäristökeskus.
427. Kleemola, Sirpa & Forsius, Martin (eds.): 9th Annual Report 2000. UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air  
Pollution. International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. Suomen  
ympäristökeskus.
428. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa. Ympäristöministeriö.
429. Kananoja, Tapio: Kallioperän suojele- ja opetuskohteita Etelä-Pohjanmaalla, Keski-Pohjanmaalla ja Pohjanmaalla. Ympäristö-  
ministeriö.
430. Kautto, Petrus; Melanen, Matti; Saarikoski, Heli & Ilomäki, Mika: Suomen jätepolitiikan ohjaukskeinot - vaikutukset, vaikutta-  
vuus ja kehittämistarpeet. Suomen ympäristökeskus.
431. Grönroos, Juha & Seppälä, Jyri: Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus.
432. Tolvanen, Harri: Saaristomeren tombolat. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
433. Carter, Timothy; Hulme, Mike; Crossley, Jennifer; Malyshev, Sergey; New, Mark; Schlesinger, Michael and Tuomenvirta, Heikki:  
Interim characterizations of regional climate and related changes up to 2100 associated with the draft sres marker emissions  
scenarios. Suomen ympäristökeskus.
434. Tenhunen, Jyrki; Oinonen, Jaana & Seppälä, Jyri: Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäris-  
töön. Suomen ympäristökeskus.





**YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU**

## Metallien jalostus ja ympäristö

Metallit ovat kestäviä ja uudelleen käytettävissä olevia materiaaleja. Niiden valmistuksessa tehtävät ympäristöä vähemmän kuormittavat ratkaisut kiinnostavat muun muassa autoteollisuutta, rakennusalaan, konepajoja ja kodinkoneiden valmistajia. Elinkaariarviointiin perustuva, koko Suomen metallien jalostusteollisuuden kattava tutkimus antaa uudenlaisen lähtökohdan metallien ympäristöön liittyvän tietoaineiston tarkasteluun ja edelleen tulosten hyväksikäyttöön ympäristöasioiden suunnittelussa ja seurannassa.

Julkaisussa esitetään metallijalosteiden elinkaari-inventaarioiden tulokset, jotka sisältävät materiaalien ja energian käytön sekä päästöt ja jätteet. Inventaaritietojen tulkintaan on käytetty vaikutusarviointimenetelmää, jolla on muodostettu kokonaiskuva Suomen metallien jalostusteollisuuden ympäristövaikutuksista ja ympäristönsuojelun kohdentamisalueista ekotehokkuuden näkökulmasta.

ISBN 952-11- 0788-X

ISSN 1238-7312

Oy EDITA Ab  
PL 800, 00043 EDITA, vaihde (09) 566 01  
ASIAKASPALVELU  
puh. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380  
EDITA-KIRJAKAUPAT HELSINGISSÄ  
Annankatu 44, puh. (09) 566 0566  
Eteläesplanadi 4, puh. (09) 662 801



9 789521 107887