

ACTA

UNIVERSITATIS OULUENSIS

Jyrki Heino

HARJAVALLAN
SUURTEOLLISUUSPUISTO
TEOLLISEN EKOSYSTEEMIN
ESIMERKKINÄ
KEHITETTÄESSÄ
HIILITERÄKSEN
YMPÄRISTÖMYÖNTEISYYTTÄ

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA,
PROSESSI- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN OSASTO,
OULUN YLIOPISTO



JYRKI HEINO

**HARJAVALLAN
SUURTEOLLISUUSPUISTO
TEOLLISEN EKOSYSTEEMIN
ESIMERKKINÄ KEHITETTÄESSÄ
HIILITERÄKSEN
YMPÄRISTÖMYÖNTEISYYTTÄ**

Esitetään Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan
suostumuksella julkisesti tarkastettavaksi Linnanmaan
Kajaaninsalissa (L6), 30. syyskuuta 2006 kello 12

Copyright © 2006
Acta Univ. Oul. C 254, 2006

Työn ohjaaja
Professori Jouko Härkki

Esitarkastajat
Professori Heikki Jalkanen
Tutkimusprofessori Jouni Korhonen

ISBN 951-42-8196-9 (Paperback)
ISBN 951-42-8197-7 (PDF) <http://herkules oulu.fi/isbn9514281977/>
ISSN 0355-3213 (Printed)
ISSN 1796-2226 (Online) <http://herkules oulu.fi/issn03553213/>

Kannen suunnittelu
Raimo Ahonen

OULU UNIVERSITY PRESS
OULU 2006

Heino, Jyrki, Harjavalta industrial park as an example of an industrial ecosystem when developing environmental friendliness of carbon steel

Faculty of Technology, University of Oulu, P.O.Box 4000, FI-90014 University of Oulu, Finland,
Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu, P.O.Box 4300, FI-90014 University of Oulu, Finland

Acta Univ. Oul. C 254, 2006

Oulu, Finland

Abstract

Industrial ecology provides the scientific and technological understanding upon which the increased environmental, economic and social efficiencies necessary to progress towards sustainability can be based. Industrial ecosystem is the creation of synergies between various industries, agriculture, and communities to profitably convert waste into valuable products or feedstock.

Copper and nickel flash smelters developed by Outokumpu form the heart of the Harjavalta industrial ecosystem, which consists of thirteen different firms. The ideas found in Harjavalta industrial ecosystem consideration can be applied to carbon steelmaking and other related industry sectors to add product efficiency, improve energy utilization and start new local business, when different firms can concentrate to their own core know-how areas.

When planning to add the amount of recycled material in steel production the waste oxides from steel industry, pyrite roasting residues and slags from the copper and nickel smelters are rich iron sources. When processing dusts, scales and sludge in the separate treatment plant, the main thing is that the primary production of the steel plant is not disturbed. The big problem when using secondary iron raw materials will be the contamination of steel by tramp elements similar to scrap based steel manufacture.

Today's industry is facing significant change from the process related environmental thinking towards product based environmental thinking seen in the EU product policy. This will mean need for the research covering raw material acquisition, production, products, in-use phase, recycling and disposal. Steel has very unique properties, which can be improved, if steel manufacturers can concentrate on their core know-how area.

The essential difference between the technical and natural systems is the human control. Based on the experiences of Harjavalta industrial ecosystem the occupational safety and accident security risk prevention should be included into the metaphor of industrial ecology. If we consider the human control in global scale the future development will depend on the ethical decisions made by humankind.

Keywords: by-product, carbon steel, carbon steel making, flash smelting method, industrial ecology, industrial ecosystem, residue, slag, waste

Heino, Jyrki, Harjavallan Suurteollisuuspuisto teollisen ekosysteemin esimerkkinä kehitettäessä hiiliteräksen ympäristömyönteisyyttä

Teknillinen tiedekunta, Oulun yliopisto, PL 4000, 90014 Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Oulun yliopisto, PL 4300, 90014 Oulun yliopisto

Acta Univ. Oul. C 254, 2006

Oulu

Tiivistelmä

Teollisessa ekologiassa pyritään aine- ja energiavirtojen tutkimiseen siten, että jäljitellään luontoa lopullisena tavoitteena jätevirtojen eliminointi tai ainakin minimointi, jolloin se on osa kestäväälle kehitykselle välttämätöntä ekologista, taloudellista ja sosiaalista toimintaa. Teollinen ekosysteemi on teollisuuslaitosten ja yhteiskunnan sekä mahdollisesti maatalouden synerginen liittymä, jonka avulla integroidaan tuotannon ja kulutuksen lohkot yhteen tavoitteena vähentää sekä raaka-aineiden kulutusta että ympäristöpäästöjä.

Harjavallan teollinen ekosysteemi on syntynyt ja kehittynyt Outokummun kehittämän liekkisulatusmenetelmään perustuvien kupari- ja nikkelisulattojen ympärille. Harjavallan Suurteollisuuspuistosta saatuja ajatuksia ja kokemuksia voidaan soveltaa luovasti hiiliteräksen valmistukseen ja muihin vastaaviin teollisuuden haaroihin. Eri yritysten keskittyessä omalle ydinosaamisalueelleen voidaan parantaa raaka-aine- ja energiatehokkuutta sekä perustaa uutta paikallista teollisuutta.

Terästeollisuuden hyödyntämättömät jäteoksidit, pyriitin pasuttamisesta saatavat pasutteet sekä nikkelin ja kuparin valmistuksen kuonat ovat potentiaalisia uusioraaka-aineita. Uusioraaka-aineille on kehitettävä hiiliteräksen valmistuksen pääprosessin viereen omat käsittelyratkaisut, sillä muuten rautapohjaisten poisteiden kierrätyksen ekologiset ja taloudelliset säästöt saatettaisiin menettää pääprosessin tuottavuuden laskuna. Ongelmallista on myös teräksen laatua haittaavien haitteainesten kumuloituminen teräkseen, mitä tapahtuu myös käytettäessä romua uusioraaka-aineena.

Kestävää kehitystä tavoiteltaessa täydennetään EU:n perinteistä prosessi- ja tuotantoyksikköperusteista ympäristölainsäädäntöä tuotelähtöisellä ympäristölainsäädännöllä. Säädöksissä huomioidaan laajemmin koko tuotteen elinkaari, jolloin tutkimuksen on katettava raaka-aineen hankinta, tuotanto, tuotteet, käyttö ja käytöstä poistoon liittyvä kierrätys tai sijoittaminen takaisin luontoon. Teräksen ainutkertaisia ominaisuuksia voidaan entisestään parantaa, jos teräksen valmistajat saavat keskittyä omalle ydinosaamisalueelleen.

Teknisen järjestelmän sisältä löytyy aina ihminen suorittamassa tietoisien ohjauksen, mitä ei luonnonjärjestelmistä löydy. Harjavallan Suurteollisuuspuistosta saatujen kokemusten perusteella voidaan todeta, että työturvallisuus ja teollisuusonnettomuuksia ehkäisevä turvallisuustyö on otettava teollisen ekologian viitekehykseen. Jos tarkastellaan ihmisen vaikutusta globaalissa viitekehyksessä, voidaan todeta, että ihmisen vaikutus riippuu tulevaisuudessa tehtävistä eettisistä päätöksistä ja päätösten edellyttämistä toimenpiteistä.

Asiasanat: hiili-teräksen valmistus, hiiliteräs, jäte, kuona, liekkisulatusmenetelmä, poiste, sivutuote, teollinen ekologia, teollinen ekosysteemi

Esipuhe

Professori Jouko Härkkiä haluan kiittää väitöstyöni ohjauksesta sekä lukuisista aihealueeseen että välillä muihinkin alueisiin liittyneistä mielenkiintoisista keskusteluista. Toivon mukaan olen oppinut niiden myötä välttämään karikoita, joihin tämä työ voi törmätä. Jos kuitenkin esimiehen oivallisista ohjeista huolimatta pääni johonkin puuhun lyön, niin olkoon se Harjavallan Torttilankankaan kuulu kitukasvuinen käkärämänty, jonka kasvu-alustasta myöhemmin lisää tässä työssä.

Metallurgian professori Heikki Jalkasta Teknillisen Korkeakoulun Metallurgian laboratoriosta ja Teollisen ekologian uranuurtajaa Suomessa, tutkimusprofessori Jouni Korhosta Tampereen yliopiston Yhteiskuntatieteiden tutkimuslaitokselta kiitän mitä lämpimmin työni esitarkastuksesta.

Esitarkastajilta sain arvokkaita neuvoja ja kehoitteita koskien työni sanoman terävöittämistä, mikä toivon mukaan saa esiin olennaisen työn kahdesta pääaiheesta Harjavallan Suurteollisuuspuistosta teollisena ekosysteeminä ja sen suomien oppien hyödyntämisessä hiiliteräksen ympäristömyönteisyyden kehittämisessä.

Laajemmin työhön joko suoranaisesti tai välillisestä vaikuttaneita henkilöitä olen kiittänyt liitteessä 1.

Oulussa 12.8.2006

Jyrki Heino

Lyhenneluettelo

%	Sadasosa, prosentti
a	vuosi
Al(OH) ₃	Alumiinihydroksidi
Al ₂ O ₃	Alumiinioksidi
Al ₂ (SO ₄) ₃	Alumiinisulfaatti
Ar	Argon
As	Arseeni
B	Boori
BAT	Paras käytettävissä oleva tekniikka
C	Hiili
°C	Celsius -aste
CaCO ₄	Kalsiumkarbonaatti
CaO	Kalsiumoksidi
CaO·SiO ₂	Kalsiumpiikuona
CaSO ₄ ·2H ₂ O	Kidevedellinen kipsi
Cd	Kadmium
CED	Kumulatiivinen energiatarve
C ₆ H ₁₂ O ₆	Rypälesokeri
CO	Hiilimonoksidi
CO ₂	Hiilidioksidi
Cr	Kromi
CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	Malakiitti
CuFeS ₂	Kuparikiisu
CuFeS ₄	Borniitti
CO ₂	Hiilidioksidi
Cu	Kupari
CuS	Kovelliitti
Cu ₂ S	Kalkosiitti
Fe	Rauta
(Fe,Ni) ₉ S ₈	Pentlandiitti
FeO	Rauta(I)oksidi

Fe_2O_3	Rauta(III)oksidi
Fe_3O_4	Rauta(II)oksidi
$\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	Fajaliittikuona
FeS	Magnetiittikiisu
FeSO_4	Rautasulfaatti
FeS_2	Rikkikiisu eli pyriitti
(g)	Kaasumainen olotila
GWh	Gigawattitunti
Hg	Elohopea
H	Vety
H_2O	Vesi
H_2O_2	Vetyperoksidi
ΔH°	Muodostumislämpö
H_2SO_4	Rikkihappo
IPPC	Yhdennetty päästöjen ja vaikutusten hallinta teollisessa toiminnassa
K	Kalium, Kelvin -aste
kg	Kilo
km^2	Neliökilometri
kJ	Kilojoule
(l)	nestemäinen olotila
LCA	Elinkaariarviointi
L/V-suhde	Neste-kaasu -suhde absorptiokolonissa
m	Metri
m^2	Neliometri
MgO	Magnesiumoksidi
MIPS	Luonnonvarojen kokonaispanos per palvelusuorite
Mo	Molybdeeni
Mol	Mooli
MPa	Megapascali
Mn	Mangaani
MnO	Mangaanioksidi
m/s	Metriä sekunnissa
MW	Megavatti
N	Typpi
Na	Natrium
Nb	Niobi
NH_3	Ammoniakki
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Ammoniumsulfaatti
Ni	Nikkeli
NiSO_4	Nikkelisulfaatti
Nm^3	Normaalikuutiometri
O	Happi
P	Fosfori
Pb	Lyijy
Pd	Palladium
ppm	Miljoonasosa

Pt	Platina
s	Sekuntti
S	Rikki
Si	Pii
SiO ₂	Kvartsi
SO ₂	Rikkidioksidi
SO ₂	Rikkitrioksidi
Sn	Tina
t	Tonni
Ti	Titaani
TiO ₂	Titaanioksidi
V	Vanadiini
vol. %	Tilavuusprosentti
Zn	Sinkki
Zr	Zirkonium

Sisällysluettelo

Abstract	
Tiivistelmä	
Esipuhe	
Lyhenneluettelo	
Sisällysluettelo	
1 Johdanto	17
2 Työn tavoite	18
3 Käytettävät menetelmät	19
4 Työn historiallisfilosofinen tausta	21
4.1 Myyttinen luonto	21
4.2 Teknoelämä ja sen uhat	22
4.3 Tekniikan kehityksen eettinen ja moraalinen pohdinta	23
4.4 Ympäristönsuojelu osana ihmisen suojelua	24
4.5 Teknistaloudellisen kehityksen yhteiskunnallisuuskonollinen viitekehys	25
4.6 Ihmisarvoisen tekniikan tulevaisuuden pohdinta	27
4.7 Kestävän kehityksen ajatusmalli ja sen saavuttamisen keinoja	28
5 Teollinen ekologia -ajatusmalli	31
5.1 Teollinen ekologia- ja ekosysteemi -käsitteiden kehittymisestä	32
5.2 Maatalousekosysteemi	33
5.3 Teollinen ekosysteemi	34
5.4 Teollisen ekosysteemin edut luonnolle, yhteiskunnalle ja yrityksille	35
5.5 Suomen ympäristölainsäädäntö teollisen ekologian kannalta	36
5.6 Teollinen ekologia -mallin kehittäminen jätelain pohjalta	38
5.7 Teollinen ekologia ajattelumallin kriittinen tarkastelu	39
5.8 Onnettomuuksien ehkäisy ja niihin valmistautuminen	40
5.9 Yhteenveto teollisesta ekologiasta ja sen soveltamisesta	41
6 Harjavalta ja kuparitehdas	43
6.1 Kuparitehtaan siirto Harjavaltaan	44
6.2 Kuparitehtaan rakentaminen	44
6.3 Kuparitehtaan alkuaikojen ympäristövaikutukset	45
6.4 Liekkisulatusmenetelmän kehittämisen globaali menestys	47

6.5	Kuparitehtaan integroituminen Harjavaltaan	48
7	Kuparin liekkisulatusmenetelmä ja sen kehittäminen	49
7.1	Kuparirikasteen liekkisulatusmenetelmä	49
7.2	Täyden mittakaavan liekkisulatusuunia edeltänyt koetehdas	51
7.3	Rikasteen esikäsittely ennen syöttämistä uuniin	51
7.4	Liekkisulatusuunin rakenne ja toiminta	52
7.5	Liekkisulatusuunin kaasujen lämmön talteenotto	54
7.6	Kuparikiven konvertointi Peirce-Smith -konvertterissa	54
7.7	Anodiuuni ja anodivalu	55
7.8	Yhteenveto ja johtopäätökset	55
8	Kuparin liekkisulatusmenetelmän ympäristömyönteisyys	58
8.1	Kuparin liekkisulatusmenetelmän tuotteet ja poistot	59
8.2	Ilman ja vesien suojele kuparin tuotannossa	61
8.3	Päästöjen kertymä ja vaikutus Harjavallan kuparitehtaan ympäristöön	62
8.4	Liekkisulatusmenetelmän energiatehokkuuden parantaminen	63
8.5	SO ₂ -päästöjen pienentäminen ulkoisella menetelmällä	64
8.5.1	Rikin raaka-aineet ja käyttö	64
8.5.2	Katalyyttiset rikkidioksidin poistotekniikat	65
8.5.3	Regeneratiiviset hyötymenetelmät	65
8.5.4	Ei-regeneratiiviset hyötymenetelmät	66
8.6	Rikin luonnolliset päästölähteet ja kriittinen kuormitus	67
8.7	Johtopäätökset ja ympäristömyönteisyyden jatkokehitys	68
9	Harjavallan suurteollisuuspuisto teollisena ekosysteeminä	70
9.1	Harjavallan suurteollisuuspuiston kehitys	71
9.2	Boliden Harjavalta Oy	71
9.3	Porin Lämpövoima Oy:n Harjavallan yksikkö	73
9.4	OMG Harjavalta Nickel Oy	74
9.5	Kemira GrowHow Oy:n ja Kemira Oyj:n Harjavallan tehtaat	76
9.6	Oy AGA Ab:n Harjavallan yksikkö	77
9.7	Suurteollisuuspuiston onnettomuus- ja suuronnettomuusriskejä	77
9.8	Harjavallan Suurteollisuuspuisto teollisena ekosysteeminä	79
9.8.1	Suurteollisuuspuiston materiaalin ja energian hyötykäyttö	79
9.8.2	Suurteollisuuspuiston osakasyritysten vuorovaikutusten monimuotoisuus	80
9.8.3	Suurteollisuuspuiston paikallisten resurssien hyödyntäminen	82
9.8.4	Suurteollisuuspuiston monimuotoisuuden asteittainen kehittäminen	82
9.8.5	Harjavallan Suurteollisuuspuisto teollisena ekosysteeminä	85
9.9	Yhteenveto ja jatkokehityksen kriittinen pohdinta	86
10	Hiiliteräksen valmistus ja sen ympäristöhaasteet	87
10.1	Hiiliteräs	88
10.2	Malmipohjaisen hiiliteräksen valmistus	89
10.2.1	Malmipohjaisen teräksenvalmistuksen kiinteät raaka-aineet	89
10.2.2	Raakaraudan valmistus masuunissa	90
10.2.3	Teräksen valmistus konvertterissa	91
10.2.4	Teräksen senkkäkäsittely, jatkuvavalu ja valssaus	92
10.2.5	Malmipohjaisen teräksenvalmistuksen tuotteet ja poistot	93
10.3	Romupohjainen teräksenvalmistus	94

10.3.1 Romupohjaisen teräksenvalmistuksen romuraaka-aine	95
10.3.2 Teräksen valmistus valokaariuunissa	96
10.3.3 Romupohjaisen teräksenvalmistuksen tuotteet ja poisteet	96
10.4 Hiiliteräksen valmistuksen ympäristöhaasteet	97
11 Teollinen ekologia ja hiiliteräksen valmistus	98
11.1 Innovatiivisuus ja sen kehittäminen metallurgisessa teollisuudessa	98
11.2 Teollinen ekologia hiiliteräksen valmistuksessa	99
11.3 Hiiliteräksen valmistuksen potentiaaliset uusioraaka-aineet	102
11.3.1 Hiiliteräksen valmistuksen poisteet teräksen raaka-aineena	102
11.3.2 Rautapasute teräksen raaka-aineena	103
11.3.3 Kuparin valmistuksen kuona teräksen raaka-aineena	104
11.3.4 Nikkelin valmistuksen kuona teräksen raaka-aineena	104
11.3.5 Raskas polttoöljy ja muovi masuunin pelkistimenä ja energianlähteenä	105
11.3.6 Yhteenveto ja kriittinen pohdinta	105
11.4 Hiiliteräksen valmistuksen sivutuotetehokkuus ja sen kehittäminen	106
11.4.1 Hiiliteräksen valmistuksen potentiaaliset kiinteät sivutuotteet	107
11.4.2 Hiiliteräksen valmistuksen potentiaaliset kaasumaiset sivutuotteet	108
11.4.3 Synergia muiden teollisuuden alojen kanssa	108
11.5 Hiiliteräksen valmistuksen energiatehokkuus ja sen parantaminen	109
11.5.1 Hiiliteräsekosysteemin onnettomuus- ja suuronnettomuusriskejä	110
11.6 Yhteenveto ja kriittinen pohdinta	110
12 Hiiliteräksen ympäristömyönteisyyden kehittäminen	112
13 Yhteenveto	114
14 Työn jatkotoimenpideajatuksia	118
Kirjallisuus	
Henkilöhaastattelut	
Liitteet	

1 Johdanto

Teollisessa ekologiassa pyritään aine- ja energiavirtojen tutkimiseen siten, että jäljitellään luontoa lopullisena tavoitteena jätevirtojen eliminointi tai ainakin minimointi. Avaintekijä teollisessa ekologiassa on yritysten välinen symbioosi eli teollinen ekosysteemi, jossa pyritään integroimaan tuotannon ja kulutuksen lohkot yhteen tavoitteena vähentää sekä raaka-aineiden kulutusta että ympäristöpäästöjä.

Teollisuuslaitosten taserajat ovat siirtyneet kauemmaksi ydinprosessista ympäristönsuojelun takia. Tällä hetkellä maailmalla on useita yritysten itsensä perustamia omaehtoisia sosiaalisen vastuun ohjelmia, joiden kautta yritykset sitoutuvat jatkuvasti parantamaan terveys-, turvallisuus- ja ympäristöasioitaan (Simola 2005, s. 33). Juholinin (2002) mukaan merkittävänä sysäijänä yhteiskuntavastuun konkretisoitumisessa toimivat ympäristökatastrofit, jotka pakottivat yritykset selittämään tekojaan julkisuudessa. Myös asiakkaat vaativat yhä enemmän sitä, että luontoarvot otetaan huomioon tuotannossa.

Ympäristönsuojelulliset näkökohdat asettavat metallurgiselle teollisuudelle yhä tiukempia toimintarajoja. Ongelmien ratkaisun haasteellisuutta on turha kieltää, mutta samalla on myös huomattava, että kestävä kehityksen mukaisten ja suljettuihin kiertoihin pyrkivien prosessien kehittäminen tarjoaa metallurgiselle teollisuudelle myös mahdollisuuksia (Heikkinen 2003a).

Prosessien kehitys raudan- ja teräksenvalmistuksessa jatkuu kohti yhä tehokkaammin energiaa ja ympäristöä säästävää tuotantoa. Raaka-aineiden, väli- ja lopputuotteiden sekä poistokaasujen ja jätteiden latentit lämmöt käytetään yhä tarkemmin hyväksi (Holappa & Jalkanen 1991). CO₂-päästöjen pienentämisyritysten lisäksi ympäristönsuojelun tärkeä osa-alue on sivutuotteiden ja poisteiden parempi ja monipuolisempi hyötykäyttö.

Metallurgiseen teollisuuteen teollisen ekologian ajatusmalli soveltuu hyvin. Alan asiantuntijoilla on paljon tietoa siitä, mitä esimerkiksi poisteiden tuotteistaminen tai haitattomaksi tekeminen sekä niiden mahdollisen energiasisällön hyödyntäminen vaatii. Ennakoluulottomalla toiminnalla voidaan auttaa myös muiden teollisuudenalojen ja yhteiskunnan ympäristöongelmien ratkaisemisessa.

2 Työn tavoite

Työssä tarkastellaan kriittisesti Harjavallassa 1950-luvun taitteessa kehitetyn kuparin valmistuksen liekkisulatusmenetelmään perustuneen sulaton ympärille muodostuneen Harjavallan Suurteollisuuspuiston syntyhistoriaa, sivutuoteketjun kehittämistä, toimivuutta ja ylläpitoa. Vaarallisten aineiden valmistuksen, käsittelyn, varastoinnin ja kuljetuksen aiheuttamiin onnettomuusriskeihin ja niiden eliminoimiseen kiinnitetään erityistä huomiota. Saadun tiedon perusteella Harjavallan Suurteollisuuspuisto arvioidaan teollisena ekosysteeminä perustuen Korhosen (2001), Peckin (2002) sekä Lowen, Moranin sekä Holmesin (1997) määritelmiin.

Alkuaikoina kuparin ja nikkelin valmistuksen suurimman ongelman aiheuttivat rikki-dioksidipäästöt, kun taas hiiliteräksen valmistuksen suurimman ympäristöhaasteen muodostaa tällä hetkellä hiilidioksidipäästöt. Harjavallan Suurteollisuuspuiston kehittämistä saatuja kokemuksia sovelletaan luovasti hiiliteräksen valmistuksen ympäristömyönteisyyden kehittämisessä paneutumalla sivutuotteiden ja uusioraaka-aineiden hyödyntämisen kehittämismahdollisuuksiin tavoitteena parantaa raaka-aine- ja energiatehokkuutta. Kertyneen tiedon pohjalta suunnitellaan hiiliteräksen valmistusketjun ympärille teollisen ekologian malli, jolla voidaan edesauttaa hiiliteräksen ympäristömyönteisyyden kehittämistä.

Työn teoreettisessa osassa tarkastellaan laajemmin ympäristöasioiden historiallisfilosofista taustaa ja kehitystä. Tavoitteena on myös arvioida yhteiskunnan ohjausta ja kannusteita sekä pohtia syitä ja esteitä, jotka ovat teollisen ekologian kehittämisen tiellä. Pyritään osoittamaan, että hiiliteräksen valmistuksen ympärille suunniteltava teollinen ekosysteemi noudattaa yhteiskunnan lainsäädännöllisesti hyväksymää kestävän kehityksen periaatetta.

3 Käytettävät menetelmät

”Maailmamme on rakennettu siten, että hyvä ajattelu ja hyvä kirjoittaminen ovat lähes aina jotakin loogista, strukturoitua, analyyttistä, verbaalista, realistista, jne. Mutta on ilmeistä, että meidän pitää olla runollisempia, myyttisempiä, metaforisempia ja jungilaisittain arkaaisempia.”
- Abraham Maslov

Työn perusteisiin tarvittavan tietopohjan hankkimiseen on käytetty kirjallisuutta, omia kokeellisia tutkimuksia, kartoituksia, haastatteluja ja keskusteluja sekä havaintoja taide-näyttelyissä ja museoissa. Olennaisen osan väitöstyötä muodostaa tekijän työskentely lukuisissa eri työryhmissä, joiden aihealueet joko pohjustivat tai sivusivat väitöskirjatyön aihetta. Hyvän yhteistyön ansiosta tiimien aikaansaannos on usein ollut enemmän kuin yksittäisten tiimien jäsenten aikaansaannosten summa. Liitteessä 1 kuvataan tarkemmin ja henkilökohtaisemmin työn valmistumiseen johtanutta prosessia.

Tarkemmin tekijän kokemukset teollisesta toiminnasta, teollisten prosessien haittavai-
kutuksista sekä niiden ehkäisyyn liittyvästä tutkimuksesta, viranomaistyöskentelystä, opiskelusta ja opetuksesta on esitetty liitteessä 2. Eri aihealueiden käsittelyyn liittyvien osioiden yhteydessä esitetään erikseen kirjallisuuteen ja omaan kokeelliseen tutkimukseen perustuvat julkaisut ja oppimateriaalit, jotka muodostavat tekijän kokemuspohjan syvyyden ja laajuuden kyseisillä osa-alueilla.

Metallurgista taustaa on erityisesti pohjustettu ja syvennetty aikajaksolla 1997–2002, jolloin tekijä toimi Metallurgiset prosessit -kurssin vastuuhenkilönä ja luennoitsijana. Myös lukuisat ympäristötekniikan kurssit ovat olleet tärkeä kasvupohja monille ideoille.

Rolf Nevanlinnan mielestäluentokurssin pitämisessä on kaksi päämäärää: antaa paras-
taan kuulijoille ja oppia itse uutta (Lehto 2001, s. 80). Nevanlinnan mukaan hyvä luento edellyttää luennoitsijan huolellista perehtymistä aiheeseen, joka sitten luennon aikana kirjastuu luennoitsijalle selvemmin kuin luentoa valmisteltaessa. Edellä esitettyyn tulisi vielä lisätä valveilla olevilta ja valvutuneilta kuulijoilta saatavat palautteet ja mahdolliset ideat.

Luonnolla on kyky kestää ja sietää jonkin verran harmeaineita, sillä onhan suuri osa niistä luonnon omia tuotteita. Ekologinen tasapaino on arvopitoinen käsite, eikä sellaise-
naan helposti määriteltävissä. Luonnontaloudellisuutta yritetään mitata joko kehityksillä

ympäristömyönteisyyden mittareilla tai välillisillä menetelmillä havainnoimalla muutoksia luonnossa.

Hahmoteltavassa hiiliteräksen valmistuksen teollisen ekologian mallissa otetaan oppia välillisesti luonnosta sekä suoranaisesti kuparin ja nikkelin valmistuksen ympärille syntyneen Harjavallan Suurteollisuuspuiston kokemuksista soveltamalla Yukavan ajatuksia (Wilson 2001, s. 247): *"Oletetaan, että on jotakin, jota ihminen ei ymmärrä. Hän sattuu huomaamaan, että tämä jokin on samankaltainen jonkin toisen asian kanssa, ja sen ymmärtää hyvin. Vertaamalla niitä hän voi oppia ymmärtämään asian, jota ei aikaisemmin ymmärtänyt."*

Yhteistä työn johtopäätösten tekemiselle on pyrkimys luonnonfilosofiseen tarkastelukulmaan, jolla yritetään löytää syy-seuraus-suhdetta sekä oppia historiasta, jotta pystyttäisiin välttämään ne virheet, joita aikaisemmin joko olosuhteiden pakosta tai tietämättömyydestä on tehty. Filosofi Eino Kailan (1948) mukaan *teoreettinen tutkimus ja tieteellinen sivistys lopulta tähtäävät juuri samaan kuin suuri taide, ja vain sikäli kuin ne tähtäävät tähän yhteiseen päämäärään, on myös tieteellisellä sivistyksellä varsinaista arvoa."*

Teknistieteelliselle väitöskirjalle poikkeuksellinen ilmaisutyyli perustuu siihen, ettei tieteellisellä tyylillä ei aina pystytä riittävän syvällisesti esittämään luontoon kohdistuvia määrittelyjä tai ihmisten tekemisiä. Taiteilijat haluavat saada esiin "syvemmän, suuremman, sisäisen totuuden", joka ei millään mahdu yhteen eksaktiin sanaan. Tarkoitus saavutetaan sitomalla yhteen sanoja, jotka ilmaisevat eri totuuksia, mutta niin elimellisenä kokonaisuutena, että se alkaa elää monimuotoisesti (Mikkola 1971, s. 123).

Ihmisen elämä ei ole pelkkää tekniikan käyttämistä, vaan siihen liittyy olennaisena osana työturvallisuus, käyttäytymistieteet, historia ja humanismi jne. Guerlacin (1977) mukaan tieteenhistorian keskeinen tehtävä on rekonstruoida, miten tieteen tiedot hankittiin ja menetelmät hiottiin. Tiedettä tutkitaan siis inhimillisenä toimintana, jolloin selvitetään, miten se syntyi, kehittyi ja laajeni sekä miten se on vaikuttanut ja saanut vaikutteita ihmisen vaurauden tavoittelusta sekä hänen älyllisistä ja uskonnollisistakin päämääristään. (Hudson 1995, s. 11)

Tutkija ei elä eristyksissä sosiaalisesta ympäristöstään, jolloin hän ei ole myöskään täysin vapaa tutkimaan, mitä haluaa tai keksii. Rahoittajat tai työnantajat säätelevät omalla tavallaan tutkimuksen suuntaa joko tieteen tai tahtomattaan. Myös taloudelliset tulokset ovat nousseet arvoksi, johon tieteen tekeminen on yhä tiukemmin sidoksissa (Pekkala 2003, s. 88). Tieteen ja elinkeinoelämän yhteen nivoutuminen on pääsääntöisesti myönteistä, mutta miten se vaikuttaa yksittäisen tutkijan toiminnan eettisyyteen?

Kierkegaardin mukaan ihminen, jolta puuttuu intohimoinen kiinnostus omaan olemassaolonsa, on kuin *"humalainen talonpoika, joka makaa vaunuissa täydessä unessa"*. Hän ei ohjaa elämäänsä muuta kuin siinä mielessä, että *hän makaa kuskin paikalla*. Kierkegaardin mukaan *todellinen ratkaisu perustuu aina subjektiivisuuteen. Ulkopuolisella tarkkailijalla ei ole missään kohden ääretöntä tarvetta ratkaisuun, eikä hän näe sitä missään kohdassa*. Kierkegaardin mukaan tämä on objektiivisuuden petos. (Puolimatka 1999, s. 107–108)

Puolimatkan (1999, s. 108–110) mukaan kiinnostus elämän perimmäisiin kysymyksiin ei kuitenkaan yksin riitä. Tarvitaan kykyä muuttaa kiinnostus kriittiseksi pohdinnaksi. Havainnon luotettavuudelle on olennaista, että havainnoitsija on oikeassa tilassa. Rehellinen etsijä saavuttaa sisäisen varmuuden, johon sisältyy epävarmuuden loputon dialektiikka.

4 Työn historiallisfilosofinen tausta

*”Menneisyys ei ole kuollutta historiaa; se on elävä materiaali,
josta ihminen tekee itsensä ja rakentaa tulevaisuuden.”*

– Ren Dubos

G.H. von Wright käsittelee kirjassaan ”Tieto ja ymmärrys” teknistä kehitystä ja sen vaikutusta yksilöiden ja yhteiskunnan elämään. Hän pohtii ihmisen oikeutta ”hallita luontoa” eli harjoittaa luontoa hyväksikäyttävää ja ohjaavaa toimintaa. Käsitys on kulttuuriperintöä, joka palautuu kristinuskon luomismyyttiin (von Wright 1999, s. 496). Kaikki historian kulttuurit eivät tosin jaa tätä näkemystä ihmisen ja luonnon suhteesta.

Luomismyyttiin perustuvan oikeuden hallita luontoa on Milton esittänyt lyhyesti Yrjö Jylhän suomentamassa runoteoksessa ”Kadotettu paratiisi” (Milton 1952, s. 186–194):

*Ikuinen Isä siis virkkoi pojalleen:
”Omaksi kuvaksemme ihminen
nyt luokaamme; ja hälle alamaiset
kaik olkoon merten kalat, ilman linnut
ja kedon karjalaumat, metsän pedot
ja kaikki, mikä maassa matelee!”*

Jos tieteellis-teknisen sivilisaatiomme nykyiset kehityssuunnat jatkuvat ja niistä tulee maailmanlaajuisempia, käy yhä epävarmemmaksi, kestääkö fyysinen ympäristömme tulevaisuudessa nykyisen teollisen kuormituksen ja aineellisten hyödykkeiden lisääntyneen kulutuksen. (von Wright 1999, s. 497)?

4.1 Myyttinen luonto

Jos lähestytään humanismia kielitieteellisestä suunnasta, päästään mielenkiintoiseen ja arvokkaaseen historialliseen tarkasteluun yhdistettäessä humanismi ympäristöasioihin. Pienet kielet ovat elintärkeän ekologisen tiedon aarreaitta, joten niiden säilyttäminen on maailmanlaajuisesti tärkeää. Filosofian tohtori Skutnabb-Kankaan mukaan *niissä maissa*,

joissa on paljon biologista monimuotoisuutta, on myös paljon kielellistä monimuotoisuutta. Kielten ja luonnon moninaisuus tukevat toisiaan, sillä ne ovat kehittyneet rinnan vuosisatojen ajan. Ihminen on muokannut luontoa, luonto ihmistä ja ihminen kieltä. Mikäli tällainen kieli häviää, katoaa myös tieto siitä, miten juuri sitä ympäristöä voidaan hoitaa. (Sahavirta 2002)

Kaplinskin mukaan metsä- ja luonnonkansojen kansanperinteestä jää vaikutelma, että ihmistä on pidetty nuorena ja vähämerkityksisenä ilmiönä maailmassa. Hän ei voi säätää metsälle, eläimille ja kaloille lakeja. Tulokkaana hänen pitää elää niin kuin maailman lait edellyttävät. *Luonto ei ole kiitollisuudenvelassa ihmiselle, mutta ihminen kylläkin luonnolle. Ihminen voi oikeastaan antaa metsälle takaisin sen, mikä sille jo muutenkin kuuluu. Muinainen ihminen erosi myöhemmästä siinä, että hän eli keskellä luontoa, metsässä tai metsän reunassa. Metsä oli niin lähellä, että sen lakia tuli noudattaa, sitä ei voinut välttää. (Kaplinski 2002, s. 64–65)*

Aiemman keräily- ja metsästyskulttuurin edustaja ihminen alkoi n. 11000 vuotta sitten kesyttää eläimiä ja viljellä kasveja Eufraatin jokilaaksossa (Keyes 2001 ja Huurre 2003). Sen sijaan teolliset yhteiskunnat ovat enintään vain kaksi ja puoli vuosisataa vanhoja, joten koko elämän kehityskaassa ihmisen irrottautuminen luonnontaloudesta on tapahtunut hämmästyttävän rajusti ja voimakkaasti (Honkasalo 1982a).

Mahdollisuutemme selvitä lajina on kytkettynä siihen, onko ympäristöstämme saatava informaatio sellaista, että osaamme sen perusteella tehdä ratkaisuja, joiden avulla pystymme elämään lajina myös tulevaisuudessa. 1980-luvulla julkisuuteen tulleet kaaosteoriat osoittavat matematiikan omilla välineillä, miten haavoittuvaisia ne ovat lähtöarvojen epätarkkuuksille (Niiniluoto 2003, s. 168–170). Sen takia esim. teoreettisessa fysiikassa on lähestytty filosofiaa ja taidetta. (Rauhala & Itiä 2002, s. 22)

4.2 Teknoelämä ja sen uhat

1800-luvun puolivälistä 1900-luvun puoliväliin tekniikkaan suhtauduttiin myönteisesti ja ihailevasti. Vieläpä 1960-luvulla puhuttiin täysin kritiikittömästi siitä, kuinka atomienergia tulee luomaan ihmiskunnalle mittaamattoman rikkauden ja hyvinvoinnin. Utopia täysin alistetusta luonnosta ja maailman hallinnasta aina luonnon järjestelmiä myöten eli voimakkaana. (Honkasalo 2002)

Nykyisin vallitseva jatkuvan kasvuideologian periaate hallitsee taloudellista ajattelua, jolloin poliittinen järjestelmä sen enempää kuin teknosysteemikään eivät kehitä teollisuusyhteiskuntaa ekologisempaan suuntaan ohjaavia mekanismeja. Fysikaalisessa mielessä kysymyksessä on entropian kasvu johtuen lisääntyneestä jätemäärästä, jonka teollinen tuotantoprosessi tuottaa. Näin ympäristö kuormittuu huomattavasti enemmän kuin kierrätysystävällisemmässä agraarisessa yhteiskunnassa tai sitä edeltäneessä keräilytaloudessa. (von Wright 1999, s. 509 ja Passmore 1980, s. 3)

Teollinen tuotantomuoto on johtanut fyysisen ympäristön saastumiseen ja kulumiseen ennen kokemattomassa laajuudessa. Tuhoutuminen koskee ilmaa, merta, makeita vesiä, metsiä ja viljelyskelpoista maata. Teollisen tuotannon lisäksi syntipukkeina ovat monet muut tekijät kuten autoilu ja massaturismi. Ekologisen tasapainon häiriöihin kuuluu myös maapallon tavattoman nopea väestönkasvu (von Wright 1999, s. 110).

Ympäristöhaitat voivat tulla pitkäaikaisista pienistä päästövirroista ja edelleen harme-
aineiden kumuloitumisesta ympäristöön sekä päästöjen välillisistä tai yhteisvaikutuk-
sista. On myös mahdollista, että tapahtuu suuronnettomuus, jolloin tuhoutuu kerralla pal-
jon ympäristöä johtaen mm. tuotteiden myrkyttymiseen jne. Viimeiseltä 20 vuodelta voi
mainita mm. Bhopalin myrkkykatastrofin ja Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuuden
(Ryhänen ym. 1986).

Parin viimeisen vuosisadan kehitykseen liittyvät taloudelliset ja teknologistieteelliset
prosessit ovat kaapanneet maapallon haltuunsa. Samalla ne ovat irrottaneet ihmiskunnan
juuriltaan ja muuttaneet systeemin perin pohjin. Teknistieteellisen talouden tuottamat voi-
mat ovat tarpeeksi voimakkaita tuhotakseen ympäristön aineellisen ja luonnollisen perus-
tan. Ihmisyhteisöjen rakenne on vaarassa tuhoutua menneisyydestä saamamme inhimilli-
sen perinnön rapautuessa. Maailmamme on vaarassa sekä räjähtää kappaleiksi että tuhou-
tua saastumisen seurauksena. (Hobsbawm 2003, s. 728)

4.3 Tekniikan kehityksen eettinen ja moraalinen pohdinta

Ensisijaisesti ympäristön pilaantuminen ilmenee ilman, veden tai ravintolähteiden puut-
teena, ja toisella sijalla on pula raaka-aineista ja energiasta. Niukuuden kasvu kiristää
kansojen välistä kilpailua. Lopputuloksena ei häämötä pelkästään nälkä ja köyhyys, vaan
niistä sikiävä kamppailu sekä sota viimeisenä vaihtoehtona. Persianlahden sota 1991
osoitti kuinka maailman riippuvuus fossiilisista polttoaineista voi synnyttää kansainväli-
siä jännitteitä sekä purkaa niitä väkivaltaisena yhteenotona. (McMichael 1993, s. 105).

Myöskään ihmisten toiveet ja tarpeet eivät yleensä ole tasapainossa. Ayres on toden-
nut, että 80 % tavaroista poistetaan käytöstä yhden käyttökerran jälkeen (Ayres & Ayres
1996). Hawken (1994) on arvioinut, että USA:ssa 99 % joko valmistuksessa käytettävästä
tai tuotteessa olevasta materiaalista tulee jätettä kuusi viikkoa sen myymisen jälkeen.
(Pongrácz 2002, s. 31)

Tällä hetkellä raaka-aineesta vain osa käytetään hyväksi, jolloin raaka-ainetta kuluu
valtavasti ja jätettä syntyy erittäin paljon. Usein tarkoitetaan vaaratonta jätettä, joka kui-
tenkin vie tilaa ja tarvelee ympäristöä pelkällä olemassaolollaan (Palosaari 1986). Traa-
gista on, että ihmisen suurin aikaansaannos on Staten Island Fresh Killsin kaatopaikka
lähellä New Yorkia. Sen syvyys on 100 m ja pinta-ala yhdeksän neliökilometriä
(Pongrácz 2002, s. 41 & Homer-Dixon 2000).

Vaatimattomuus saattaa olla ihmiskunnalle pysyvää, ja nykyinen tuhlaileva rikkaus on
ohimenevää. Tulevat sukupolvet saattavat joutua opettelemaan tulemaan toimeen pää-
sääntöisesti paikallisin voimavaroin ja luopumaan paljosta sellaisesta, johon yltäkylläi-
nen elämä on heidät totuttanut. On tärkeää, etteivät vanha elämäntapa ja perustavaa laatua
olevat selviytymiskeinot unohdu. Kemian ja fysiikan lisäksi voidaan tarvita myös kansa-
tiedettä selviytymiseen. (Kaplinski 2003)

Turhienkin tarpeiden tyydyttäminen luo kuitenkin työntekomahdollisuuksia ihmisille
ja on sitä kautta pitämässä huolta sosiaalisesta tasa-arvosta. Äkilliset muutokset tuotanto-
elämässä saattavat aiheuttaa epätasapainoa, mikä voi johtaa väkivaltakeinoinhin turvautu-
miseen. Näin voi aiheutua entistä suuremmat ympäristövauriot, kuten kävi esimerkiksi

Kosovon pommituksissa. (Haavisto 1999, s. 11, Jacobson 2003, s. 31 ja Visuri 2000, s. 168)

Yksittäisten ihmisten kulutustottumuksien muuttamisen ja niihin vaikuttamisen vaikeutta lisää se, että paikalliset lähtökohdat ovat niin kovasti erilaiset. Iso osa maapallon ihmisistä elää materialistisessa yltäkylläisyydessä, kun taas vielä suurempi osa äärettömässä aineellisessa köyhyyydessä, jossa edes jokapäiväisen leipä ei ole itsestäänselvyys. Eino Kailan mukaan (1948, s. 13) biologisesti katsoen niin ihminen kuin muutkin elävät olennot muuttuvat, kun elinehdot muuttuvat. Tämä biologinen muuttuminen, ihmisen mahdollinen kehittyminen suuremmassa määrässä henkiseksi, tapahtuu vallitsevien historiallisten käsitysten mukaan arvattavasti erinomaisen hitaasti.

Vaikeuksia siis syntyy, jos lähestytään ongelmia vain puhtaasti teknillisesti ja unohdetaan etiikan osuus. Insinöörikoulutuksessa on syytä painottaa tekniikan lisäksi entistä enemmän eettisiä, sosiaalisia ja poliittisia osa-alueita, jotta insinöörit ymmärtäisivät ja avoimesti kertoisivat toimiensa seuraukset. Erityisesti ympäristökysymyksissä tämä on varsin tärkeää, muidenkaan alojen merkitystä pois sulkematta.

Aikoinaan ensimmäisen ydinpommin kehittäjät joutuivat suorittamaan tällaisen eettisen pohdinnan (Jungk 1957, s. 168): *”Edellytykset, joiden vallitessa he olivat aloittaneet atomipommin suunnittelun, eivät täsmänneet enää. Oliko työn jatkaminen pommin aikaansaamiseksi moraalisesti ylimalkaan enää oikeutettua? Toisaalta olisi tieteen ja tekniikan hengen vastaista jättää puolitiehen tutkimusalan kehittäminen, vaikkapa se tietäisiikin uhkaa tulevaisuudelle.”*

Perusteet jatkolle löydettiin (Jungk 1957, s. 168): *”Ellemme nyt osoita julkisessa koetilaisuudessa, kuinka pelottava se on, voi toinen häikäilemätön valta yrittää kaikessa hiljaisuudessa valmistaa sellaisen. Vastaisen rauhan kannalta on ihmiskunnan hyvä edes tietää, millainen tilanne on. Maaailma tarvitsee meidän keksimäämme ja kehittämäämme uutta voimanlähdettä. Meidän vain on huolehdittava siitä, että tämä voima tulee vastaisuudessa rauhanomaisiin tarkoituksiin eikä tuhoaseiksi.”*

Tiede sai epäilyttävän kunnian siitä, että monet sen etevimmistä edustajista olivat olleet mukana toiminnassa, josta sittemmin kehittyi kuolettava uhka ihmiskunnan elonjäämiselle. Eräs mukanaolijoista, fyysikko Szilard, on sittemmin sanonut, että se tappoi kauniin tieteen (von Wright 1999, s. 100–101). Ydinaseiden olemassaolon vaikutuksesta on esitetty myös aivan päinvastaisiakin mielipiteitä. Niiden pelkovaikutteen on sanottu hillitsevän myös tavanomaisilla aseilla tapahtuvia yhteenottoja, koska ydinaseiden pelko-vaikutus on niin suuri (Korhonen 1989, s. 30–38).

4.4 Ympäristönsuojelu osana ihmisen suojelua

Miksi kannetaan huolta ihmisen aiheuttamista luonnon tuhoista? Se vahinko, jonka hän on aiheuttanut muulle luonnolle, saattaa kostautua hänelle itselleen. Suuronnettomuuksiin viitaten myös työturvallisuus tulee sisällyttää ympäristönsuojelun osaksi. Einstein on asettanut koko tekniikan käytön kyseenalaiseksi, koska se on *”tehnyt ihmisistä koneen orjia”*. (Fölsing 2000, s. 558)

Hän vaati opiskelijoita pitämään mielessään, että heidän vastuunsa ulottui omien erikoisalojen ulkopuolellekin: *”Huolen ihmisistä ja heidän kohtalostaan on oltava aina tär-*

keimmällä sijalla kaikissa teknisissä hankkeissa, jotta henkemme tuotteet koituvat ihmiskunnan siunaukseksi eivätkä sen kiroukseksi. – Älkää ikinä unohtako sitä piirustussisänsä ja yhtälöissänne.” (Fölsing 2000, s. 558)

Samaa asiaa lähestyy filosofi Timo Airaksinen (2003, s. 394) kirjassaan Tekniikan suuret kertomukset: *”Ehkä insinöörietiikka kaipaisi ajattelun rikastamista juuri hoivavasä tuun suuntaan. Insinööreihin kohdistuu voimakas paine ottaa vastuuta omasta tekniikan maailmastaan, jossa sosiaalinen vastuu on olennainen. Vain tiedostamalla oman toimintansa ympäristön ja siitä johtuvat vaikutukset työhönsä hän osaa toimia niin, että luonnon ja ihmiskunnan hyvä toteutuu paremmin kuin ennen.”*

4.5 Teknistaloudellisen kehityksen yhteiskunnallisuus-konollinen viitekehys

Von Wrightin (1999, s. 112–113) mukaan ihminen elää tällä hetkellä epäviisaasti ja irrationalisesti, kun hän tyydyttää toiveitaan, jotka vaurioittavat hänen hyvinvointiaan. Kasvuideologiaan perustuvan kehityksen taustalla on todennäköisesti jatkuva pelko jälkeen jäämisestä kansojen ja mikseipä yksilöidenkin välisessä kilpailussa. Asioiden tilaa saatetaan pitää väistämättömänä, ja mahdollista muuta tavoitetta periksi antamisena. Kuinka pitkälle on syytä tarkastella sitä oravanpyörää, jossa ihmiskunta on? Tarkastelu saattaisi johtaa jopa järkevämpään ratkaisuun kuin pelkästään jonkun prosessin ekologiseen parantamiseen.

Laajennettaessa ympäristön, terveyden ja ekologisen tasapainon käsittelyä poliittisiin, sosiaalisiin ja eettisiin näkökohtiin liikutaan alueella, jossa kukaan ei ole täysin asiantuntija. Ekologisia ongelmia ei voida mielekkäästi kohdentaa, jos niitä ei käsitellä monitieteellisessä yhteydessä. Tieteiden välinen vuorovaikutus ei tässä tapauksessa ole ylläisyttä vaan välttämättömyyttä. (Passmore 1980, s. 53–54, 173)

Ekologia ei siis yksin sisällä mitään ekologista periaatetta, joka kelpaisi ympäristön-suojeluideologian perustaksi. Ammattiekologi voi päinvastoin suhtautua asioihin fatalistisesti, koska ihminen ei voi tyystin hävittää elämää maapallolta. Vaikka suuri osa lajeista hävitettäisiinkin, mukaan lukien ihminen itse, evoluutio jatkaa kehitystä. Syntyy uusia ekosysteemejä ja lajeja, jotka eivät ole merkittävämpiä tai vähempiarvoisempia kuin aiemmatkaan lajit. (Wahlström 1994, s. 24)

Kysymys on ensisijaisesti siitä, haluaako ihminen ja onko ihmisellä kykyä olla omana teollisena ekosysteeminään mukana muiden ekosysteemien joukossa. Einstein ilmaisi levottomuutensa seuraavasti: *”Modernin ihmisen tragiikka on yleisesti ottaen siinä, että hän on luonut itselleen elinehdot, joihin hän henkisen kehityksensä perusteella itse ei ole kasvanut.”* (von Wright 1999, s. 72)

Suhteellisen välinpitämättömän suhtautuminen ympäristöön voi tulla syvältä ihmisluonteen sisältä. Ihmisen aivot ovat saattaneet kehittyä keskittymään vain pieneen maantieteellisen alueeseen, rajallisen suvun joukkoon ja kahdeksi kolmeksi sukupolveksi tulevaisuuteen. Syynä tähän voi olla kivikautinen perintömme. Satojen ja tuhansien vuosien ajan lyhyen aikavälin etua tavoitelleet ihmiset elivät muita pitempään ja jättivät muita enemmän jälkeläisiä – silloinkin kun heimot ja valtakunnat kaatuivat ympäriltä. Pitkän aikavä-

lin näkemys, joka saattaa pelastaa heidän kaukaiset jälkeläisensä, edellyttää näkemystä ja laajentunutta altruismia, jota on vaikea hallita vaistonvaraisesti. (Wilson 2002, s. 56)

Syvämmän tason periaatteellinen ongelma on tosiaan se, että kaikki teknologiset ratkaisut ovat seurauksiltaan hallitsemattomia (Sihvola 1998, s. 173). Ajatus ihmisestä historiansa ja ympäröivän luontonsa hallitsijana on sisäisesti ristiriitainen, sillä mitä tahansa ihminen tarkoittaen tekeekin, tarkoitettujen seurausten ohella on aina tuloksena tarkoittamattomia seurauksia ja niiden mukanaan tuomia ennakoimattomia uhkia.

Ekologisesta näkökulmasta ihmisen ainoa toivo lieenee luopuminen jo antiikissa ja juutalais-kristillisessä perinteessä esiintyneestä, mutta uuden ajan luonnontieteessä ja valistushenkisessä edistysuskossa korostuneesta ihmiskeskeisestä luonnon välineellistämisen ajatuksesta (Sihvola 1998, s. 173). Ihmisen ulkopuolinen luonto ei yksinkertaisesti ole pelkästään rajattomasti ihmisen hyödynnettävä voimavara; sen moninaisuus on myös ymmärrettävä itsessään arvokkaaksi. Emme voi elää luonnon voimavaroja käyttämättä, mutta niiden käyttö luo väistämättä ongelmia. Hyvä elämä ja siihen kuuluva kestävä kehitys ei ole mahdollista ilman ihmisen valmiutta sopeuttaa itsensä ulkopuoliseen luontoon.

Wilsonin (2002, s. 158) mukaan ympäristön merkitys on nyttemmin kasvanut myös uskonnollisessa ajattelussa. Uskonnolliset johtajat valitsevat pakosta arvonsa erittäin huolellisesti, koska niiden on perustuttava pyhiin teksteihin. Aabrahamin uskonnoissa, juutalaisuudessa, kristinuskossa ja islamissa ympäristöetiikka vastaa uskoa maan pyhyyteen ja käsitystä luonnosta jumalan käsityönä.

Mooseksen kirjan ”Vallitkaa meren kaloja, taivaan lintuja ja kaikkea...” uskottiin tarkoittavan, että maata tuli käyttää yksinomaan ihmisen tarpeisiin. Nykyään se tulkitaan luonnon ohjaamiseksi. Niinpä Paavi Johannes Paavali II on vahvistanut, että ”ekologinen kriisi on moraalinen kysymys”. Patriarkka Bartolomeus I, 250 miljoonan ortodoksikristityn henkinen johtaja, on julistanut, että ”jos ihminen tuhoaa luomakunnan lajien monimuotoisuutta ja saastuttaa Maan vedet, sen mullan, ilman ja elämän myrkyllisillä aineilla, hän tekee syntiä.” (Wilson 2002, s. 158)

Suomen Evankelisluterilaisen kirkon piispa Jukka Paarma (2001) on lähestynyt kristityn ja luonnon välistä suhdetta seuraavasti: *”Ihminen on ainoa elävä, joka voi luoda kulttuuria. Hän voi suunnitelmallisesti ja alati uutta keksien muokata ja käyttää hyväkseen Jumalan luomaa materiaa, myös eläimiä. Luomiskertomus alleviivaa sitä, että maata on viljeltäessä eli kulttuuria harjoitettaessa myös varjeltava. Ihmisen valta luonnossa on tarkoitettu lempeäksi, suojelevaksi vallaksi. Maa on tarkoitettu työstettäväksi, ei ryöstettäväksi. Jo luomiskertomukseen sisältyy siis erittäin vahva ekologinen ulottuvuus.”*

Leopoldin essee ”Maan etiikka” pohtii ihmiskunnan tarvetta kohdella luontoa ilmiönä, jonka osa me olemme, emmekä käytettävänä hyödykkeenä. Leopoldin mukaan suojele-aate edellyttää, että tieteellinen tieto liitetään ekologisen ketjun kaikkien osien olemassaolon oikeutuksen tunnustamisesta syntyneeseen eettiseen arvioon. (Bowler 1997, s. 460–461)

Wilsonin (2002, s. 186) mukaan *ympäristöongelmien ratkaisuun riittävät varat, vaikka ihmiskunnan valtava kasvu on vienyt planeettamme kantokykynsä rajoille. Varojen haltijoilla on monta syytä saavuttaa tämä tavoite, ei vähiten oman turvallisuutensa takia. Viime kädessä kuitenkin onnistuminen tai epäonnistuminen riippuu eettisestä päätöksestä, jonka perusteella nyt elävät ihmiset määritellään ja arvioidaan kaikkina tulevana sukupolvina.”*

Kanniainen (2003, s. 112) perustelee yritysten yhteiskuntavastuun vaadetta seuraavasti: *”Yrityksillä on etuoikeus toimia järjestäytyneessä yhteiskunnassa. Ne saavat nojata tomissaan sen arvokkaaseen sosiaaliseen pääomaan ja luottamukseen. Oikeuslaitos huolehtii siitä, että sopimuksista pidetään kiinni. Aikaisempien sukupolvien tuottamat julkiset hyödykkeet, kuten infrastruktuuri ja kommunikaatioyhteydet, ovat yrityksen käytettävissä. Myös yritysten tulee huolehtia viestikapulan viemisestä eteenpäin, sosiaalisen pääoman vahvistamisesta ja eettisesti vahvojen arvojen edistämisestä.”*

Nykyajan globaalissa yhteiskunnassa olemme vuorovaikutussuhteessa kaikkeen ja kaikkiin, silloin pienimmälläkin ajatuksella, sanalla tai teolla on todelliset vaikutukset globaalissa mitassa. Dalai Laman mukaan *tämän ajan tavattoman kattavassa keskinäisessä vuorovaikutuksessa eivät yksilöt tai kansat enää voi ratkaista ongelmiaan yksinään. Meidän on kehitettävä yleistä vastuuntuntoamme... Meidän vastuullamme, yhteisesti ja yksilöllisesti, on suojella globaalia perhettä, tukea sen heikkoja jäseniä ja säilyttää ja hoitaa tämä ympäristö, jossa me kaikki elämme.* (Rinpoche 1998, s. 62–63)

4.6 Ihmisarvoisen tekniikan tulevaisuuden pohdinta

Perimältään ihmisellä biologisena olentona on kolme perustarvetta oman elämänsä ylläpitämisessä. Ne ovat happea sisältävä ilma, makea vesi ja ravintoaineet. Kuuhun tai Marsiin muuttamisen utopioista kirjoitti von Wright (1995) seuraavasti: *”Jotkut kuvittelevat vakavissaan, että kaikki maat voisivat olla yhtä varakkaita kuin Suomi, Ruotsi ja Sveitsi ovat. Silloin maailma yksinkertaisesti ei kestäisi enää, koska jo jätteiden vuori kasvaisi niin suureksi, että ihmisille tuskin jäisi tilaa. Kuvaavaa tilanteelle on, että eräät tiedemiehet aivan vakavissaan esittävät väestöongelman ratkaisuksi kuun tai Marsin kolonisoimista taikka satelliitteja, joissa ihminen voisi elää.”* Onko siis rikkaiden maiden pidettävä yllä omaa elintasoaan sekä samalla huolehdittava tavalla tai toisella siitä, etteivät köyhät maat koskaan saavuta sitä?

Maaillankomission raportissa hahmoteltiin vuonna 1987 suuntaviivoja, joilla ihmiskunta pyrkii kestävään kehitykseen siten, että ihmiskunnan nykyiset perustarpeet tyydytetään anastamatta tulevien sukupolvien mahdollisuuksia. Avarammin käsitettynä kestävä kehityksen periaate tähtää siihen, että ihmiset oppivat elämään sopusoinnussa luonnon kanssa. Ihmisillä on raskas eettinen vastuu tiedostaa se vahinko, joka on jo aiheutettu luonnolle. Ihmiskunnan tulee vastata omilla toimillaan, jotta lisävahinkojen määrää pysäytettäisiin vähentämään ihmisarvoisen tekniikan saavuttamiseksi.

Rooman klubi ajatteli tulevaisuuden toimintoja opastaessaan päättäjiä 1972 julkaisussa teoksessa *”Kasvun rajat”* (Michelsen 1999, s. 359): *”Toivomme, että yhteiskunta ottaa vastaan jokaisen uuden teknologisen saavutuksen esittämällä vastauksen kolmeen kysymykseen, ennen kuin tämä uusi tekniikka otetaan yleiseen käyttöön:*

1. *Mitkä tulevat olemaan sivuvaikutukset, sekä fysikaaliset että sosiaaliset, jos tämä uusi tekniikka otetaan laajassa mitassa käyttöön?*
2. *Millaiset yhteiskunnalliset muutokset ovat välttämättömiä, ennen kuin tekniikka voidaan asianmukaisesti ottaa käyttöön? Miten kauan kestää ennen kuin niihin päästään?*

3. *Jos uusi teknillinen ratkaisu täydelleen onnistuu ja siirtää kasvun jotakin luonnolista rajaa, minkä rajan kasvava systeemi kohtaa seuraavaksi? Pitääkö yhteiskunta tämän uuden rajan asettamia esteitä parempina kuin uuden tekniikan avulla siirrettäväksi aiotun rajan esteitä?*

Energian käytön ympäristöongelmat syntyvät polttoprosessissa ilmaan, vesiin ja maaperään joutuvien aineiden muodossa. Ympäristöön leviää myös haitallisia aineita, jotka aiheuttavat kemiallista ja biologista tuhoa sekä terveydellisiä haittoja. Energian käytön ympäristöongelmat ovat osoitus teknosysteemin vajavuudesta ekosysteemiin verrattuna. (Malaska, ym. 1989, s. 73)

Haittojen syntymiseen ja voimakkuuteen vaikuttavat ihmisen päästöjen tuottamisvauhti ja se, kuinka nopeasti luonnon kiertoprosessit pystyvät eliminoimaan niitä, tai miten ihminen toimillaan tuhoaa luonnon kiertoprosesseja ylläpitäviä mekanismeja (Malaska, ym. 1989, s. 73–74). Metsien hävittäminen, aavikoituminen ja merten saastuminen ovat yhtä suuresti vastuussa kuin päästöt. Esimerkiksi suuri osa hiilidioksidista on peräisin luonnon kierrosta, ja ihmisen tuottama lisä on tästä vain osa.

Hiilidioksidivarastot, joista sitä voi vapautua kiertoon, ovat monituhatkertaisia ilmakehässä olevaan hiilidioksidiin nähden. Esimerkiksi valtamerien olosuhteilla on suuri merkitys tämän kierron toimivuuteen. Kasvihuoneilmiön voimistuminen voi siis olla merkki jostain laajemmasta ja vakavammasta ympäristöuhasta kuin mitä voidaan todeta energia-poliittisissa tarkasteluissa. (Malaska, ym. 1989, s. 73–74)

Wilson (2001) asettaa toivonsa konsilienssiin, tiedon yhtenäistämiseen. Wilsonin ehdotuksen mukaan tulisi palata sivistyksen alkujuurille ja liittää sen jatkeeksi uusin tieto erityisesti luonnontieteistä. Mukaan otettaisiin insinöörیتieteiden lisäksi biologia, fysiikka, geologia, antropologia, lääketiede, psykologia, filosofia, uskonto, moraali, etiikka, taiteet, talous, ekologia, yhteiskunta ja informaatio. Wilsonin mielestä heikoimmat lenkit ovat sosiaali- ja taloustieteet, joissa aika kuluu talouden mallintamisessa, kun aika haastaa raivoisesti ekologisen taloustieteen esiinmarssia. (Konttinen 2002)

4.7 Kestävän kehityksen ajatusmalli ja sen saavuttamisen keinoja

Malaska kehitti teollinen ekologia -mallin ajatusta jo 1970-luvulla mainitsematta kuitenkaan nimeä teollinen ekologia. Hän hahmotti eko- ja teknosysteemien kehityksen seuraavasti (Wilenius 1987, s. 86–88):

1. *Hallitsevan ekosysteemin vaihe*

Hallitsevan ekosysteemin maailman tilalla ajatellaan ideaalia, jossa ekosysteemiin kuuluivat luonnonlait, joiden kanssa ihminen eli sopusoinnussa ollen yksi osa luontoa.

2. *Laajenevan teknosysteemin vaihe*

Ihminen oppi uuden tekniikan periaatteen mukaan tuottamaan luonnon lainmukaisuuksien mukaan sellaisia aineita, joita ei ennen luonnossa esiintynyt. Ihmisen tietous jäi rajoittuneeksi ja irralliseksi luontokokonaisuudesta, jolloin hän ei pystynyt arvioimaan innovaatioidensa seurauksia.

3. *Supistuvan ekosysteemin vaihe*

Teknosysteemi lähenee ekosysteemin rajoja, jolloin itseään säätävä ekosysteemi pyrkii hävittämään häiriöt omalla toiminnallaan. Kun tämä ei riitä, muuttaa ekosysteemi rakennettaan ja supistuu, eikä lopputuloksesta ole varmaa tietoa.

4. *Tulevaisuuden vaihtoehdot*

Yksi vaihtoehto on se, että teknosysteemi paisuu yli ekosysteemin rajojen, jolloin pahimmassa tapauksessa jää jäljelle vain erillisiä ekosysteemin toimintakykyisiä saarekkeita. Toinen mahdollisuus on se, että ihminen rakentaa uudelleen oman osansa ekosysteemin harmonian mukaisesti ja eliminoi osittaistiedon pohjalta syntyvät teknosysteemin lonkerot.

Tämä edellyttää maailmanlaajuisia suunnittelua ja yhteistyötä sekä asenteiden ja elämänmuodon muutosta teollisuusmailta. Samalla se vaatii myös kokonaisvaltaisempaa luonnon tarkastelua ja ajattelua, joka johtaa yhteistyöhön luonnon kanssa.

Pystytäänkö ympäristöongelmien hoitaminen rajaamaan taloudellisen kilpailun ulkopuolelle? Jos pystytään, miten se tehdään? Taloudellinen kilpailu on yksi nykymenon ajavia, mutta myös hajottavia voimia, joten pitääkö se ottaa mukaan, jos taistellaan ihmiskunnan yhteisestä tulevaisuudesta? Voiko lyhytnäköinen oman edun pyynti kaataa koko kestävä kehityksen toimintamallin, vai onko se yksi tärkeimmistä onnistumisen edellytyksistä? Voittaako keskinäinen kateus sen voiman, joka stimuloi oman edun kasvamisesta johtuvaa ajavaa voimaa, joka taas edistää toimintamallin etenemistä ja mahdollista hyvää lopputulosta?

Yhteiskunnan vaikutus kunnallisella, valtiollisella, EU- ja globaalitasolla on hyvin merkittävä, sillä ne ohjaavat niitä mekanismeja, joiden avulla luodaan uudempiä ja tehokkaampia valmistusprosesseja, joihin liittyy mahdollisimman tehokas liitännäistuotanto. Rooman Klubi on määrittänyt työvaliokunnan raportissa uuden maailman hallitsemiseen vaadittavia johtajien luonteenpiirteitä (King & Schneider 1991, s. 198–199):

- Strateginen näkemys ja yleismaailmallinen tapa lähestyä ongelmia,
- Uudistushenkisyys ja kyky sopeutua muutoksiin,
- Tehokkuus päätöksenteossa kollegoiden ja neuvonantajien kanssa käytyjen asianmukaisten keskusteluiden jälkeen sekä päätösten toimeenpanon valmistamisessa ja aikaan tapahtuvassa tulosten arvioinnissa,
- Oppimiskyky ja taito saada muut oppimaan,
- Rohkeus muuttaa mieltään, kun kuva oloista ja ongelmista tarkentuu,
- Halukkuus luoda järjestelmä, jonka avulla voidaan kuunnella kansalaisten ja yhteisöjen tarpeita, pelkoja, vaatimuksia ja ehdotuksia.

Rooman klubin toisessa raportissa Mesarovic ja Pestel peräänkuuluttavat ihmisen uudelleen asennoitumisen merkitystä, jolloin ihmisen suhde luontoon perustuisi sopusointuun eikä luonnon valloittamiseen (Wilenius 1987, s. 94). Heinosen väitöskirjan (2000, s. 212–214) tavoitteena on valottaa ihmisen, tekniikan ja luonnon väliseen vuorovaikutukseen liittyviä ongelmia antiikin ajattelussa. Tutkimuksen johtopäätöksenä on, että ihmisen nykyinen suhtautuminen luontoon ja teknologiaan tulisi muuntaa oppimisprosessiksi, jossa vallitseva käsitys luonnosta raaka-ainevarastona tulisi korvata käsityksillä luonto mallina, esimerkkinä ja opettajana.

Heinosen (2000) mukaan teknistaloudellisen edistyksen myytti tulisi myös purkaa ja täydentää jatkuvan moraalisen kasvun käsitteellä sekä liitettynä kestävä kehityksen tavoitteluun. Heinonen on tiivistänyt tutkimustulokset toimintaohjelmaksi, joka painottaa

pyrkimystä aitoon tietoyhteiskuntaan, hyvään elämään, kestävään kehitykseen ja teknologisen kehityksen ongelmien ja riskien jatkuvaan arviointiin. Tällöin ihmiskunta on osa luontoekosysteemiä, jolloin luonto ei ole riippuvainen ihmisestä, mutta ihminen on luonnosta.

Seuraavassa luvussa tarkemmin esiteltävillä Teollinen ekologia -ajatusmallilla ja edelleen Teollinen ekosysteemi -käsitteellä on hyvät mahdollisuudet kehittyä tietoyhteiskunnan suomin mahdollisuuksin Maailmankomission raportin suuntaviivojen mukaiseksi, jolloin ne voivat olla osana kestävää kehitystä (Korhonen 2005).

5 Teollinen ekologia -ajatusmalli

”Harjavallassa sijaitsevan Maahengen temppelin perusajatus oli olla ylistyslaulu maatyölle, maanviljelyksen virren alkusoitto, tervehdys maan, auringon ja ihmisen yhteistyölle.”
– Emil Cedercreuz

Ekologien tehtävä on selittää ne kehityshistorialliset tapahtumat, joiden seurauksena laji-en suhde ympäristöönsä on muotoutunut ja muuttuu jatkuvasti, kun ympäristö muuttuu. Nykyään merkittävin ympäristöä muuttava tekijä on ihmisen toiminta, joten ekologian tehtäväksi on noussut myös ihmistoiminnan ekologisten vaikutusten ymmärtäminen ja ennustaminen. (Hanski, ym. 1998, s. 13)

Ekologista prosessia voidaan kuvata esimerkiksi hiilen kierrolla, jota kutsutaan usein ”elämän kierroksi”. Hiili kiertää tuotannossa ilmakehän hiilidioksidista eliöiden perusrakennusaineeksi, ja muuntoprosessien hengityksessä sekä rakenneosien hajotuksessa takaisin ilmakehän hiilidioksidiksi. (Helenius, ym. 2004)

Teollisessa ekologiassa pyritään aine- ja energiavirtojen tutkimiseen siten, että jäljitellään luontoa ja biologista ekosysteemiä, jolloin tavoitteena on jättevirtojen eliminointi tai ainakin minimointi (Gertler & Ehrenfeld 1996 ja Graedel 1994). Eliöstö kierrättää esimerkiksi yhteyttämisen aikana ilmakehään happea, tyypeä sekä tärkeää makroravinnetta rikkiä. Maassa ja vedessä eliöstö liikuttaa muun muassa fosforia. (Helenius, ym. 2004)

Ekologinen modernisaatio perustuu ajatukseen, että talous ja ekologisuus eivät ole toisilleen vastakkaisia, vaan vahvistavat toisiaan (Koskinen 2001, s. 28). Huber (2000) esittää kolme strategiaa kestäväan kehitykseen pyrkimiseksi: kohtuullisuuden, tehokkuuden ja teollisen ekologian. Tehokkuutta ja teollista ekologiaa voidaan pitää ekologisen modernisaation kahtena eri muotona, joissa luotetaan tieteseen ja teknologiaan ongelmien ratkaisijoina. Tehokkuuden parantaminen perustuu siihen, että tuote halutaan tuottaa mahdollisimman pienellä energian ja materiaalin käytöllä (Koskinen 2001, s. 29).

Teknosysteemin sisäisen kierrätyksen lisäksi teollisuuden materiaaliavirrat ja energiankäyttö ovat ympäristön kanssa sopusoinnussa, jolloin ihmisen aiheuttamat ja geogeeniset materiaaliavirrat vahvistavat toisiaan. Pää tavoite on kehittää suljettu kierto, jossa materiaali käytetään uudestaan eikä mahdollisia harmeaineita päästetä hallitsemattomasti karkuun (Koskinen 2001, s. 29).

5.1 Teollinen ekologia- ja ekosysteemi -käsitteiden kehittymisestä

Japanin Teollisuuden ja Kansainvälisen kaupan ministeriö vertasi 1970-luvun alussa teollisuuden materiaalikiertoa luonnon kiertokulkuun (Allenby 1999, s. 41). Teollinen ekosysteemi -nimeä käyttivät ensimmäisinä järjestelmäekologit Odum ja Hall (Erkman 1997). He saivat ajatukselleen alkuidean tutkiessaan biogeokemiallisia kiertoja. Nykyisessä merkityksessään ”teollinen ekosysteemi” esiintyi ensimmäisen kerran amerikkalaisen geokemisti Cloudin (1977) esityksessä.

Frosch & Gallopoulos (1989) kehittivät teollisen ekosysteemin käsitettä johdattaen sen laajempaan teollisen ekologian systeemiin. 1990-luvun alusta lähtien voidaan sanoa alkaneen teollisen ekologian kulta-ajan, jolloin johtavana instituutiona toimi Yhdysvaltain kansallinen teollisuusakatemia (Erkman 1997). 1990-luvun lopussa käsite on levinnyt nopeasti akateemiseen ja kaupallisiin piireihin.

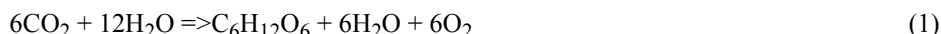
Isenman (2001 ja 2003) on kerännyt Teollinen ekologia (TE) -ajatusmallin kehityshistoriaa sen pohjalta, miten luontoa voidaan käyttää esikuvana teollisten prosessien haitta-vaikutusten vähentämiseksi:

- TE ”voi toimia analogisesti biologisen systeemin kanssa” (Frosch & Gallopoulos 1989),
- TE ”ottaa mallia luonnon systeemistä” (Tibbs 1992, s. 2),
- ”Luonnosta oppiminen ottamalla yksityistunteja ekologiasta” (Simonis 1993, s. 131),
- ”Ihmisen materiaalien käyttö voisi olla biologisen mallin kaltainen” (Graedel 1994, s. 24),
- Luonto ”opettaa tutkimaan tiettyyn rajaan asti, mitä teollisen ekosysteemin pitäisi olla” (Andrews, ym. 1994, s. 471),
- ”Luonnon ekosysteemi jätteettömänä ekosysteeminä” (Richards, ym. 1994, s. 3 ja 8),
- ”Kestävän kehityksen taloudellinen rakennelma muistuttaa kehittynyttä biologista eliöyhteisöä” (Allenby & Cooper 1994, s. 343),
- ”Luonto kierrätyksen mestarina” (Graedel & Allenby 1995, s. 10),
- ”Sopeutuneet taloudelliset toiminnot kohti ekologisista periaatteita” (Ring 1994 ja 1997, s. 247),
- TE ”merkitsee sitä, että ei-humaanit biologiset systeemit ohjaavat teollisia systeemeitä” (Wermick & Ausubel, 1997, s. 7),
- TE ”kysyy, voiko luonto opettaa teollisuutta minimoimaan jätettä” (Ausubel 1998, s. 1),
- ”Luonto syklisenä taloutena ilman jätettä” (Manahan 1999, s. 93),
- TE:lle on luonteenomaista katsoa luontoa mallina tehokkaasta luonnonvarojen käytöstä (Cleveland 1999, s. 149),
- ”Teollisen ekologian käsite perustuu biologiseen analogiaan” (Allenby 1999, s. 43),
- ”Luonnon ekosysteemit tarjoavat ainoan esimerkin pitkäaikaiselle, elinvoimaiselle ja vastustuskykyiselle elinsysteemille” (Ehrenfeld 2000, s. 237),
- TE ”katsoo luontoa mallina” (Journal of Industrial Ecology 2000, s. 1)
- ”*Luonto opettajana*” ja ”*luonnosta oppiminen*” (NTNU 2000)
- ”Ekosysteemit ovat kierrätyksen mestareita ja ekosysteemi vertauskuvana tarjoaa kestävän kehityksen mallin” (Korhonen 2001, s. 57)
- ”Luonnon systeemit kierrättävät luonnonvaroja tehokkaasti ja laaja-alaisesti”.

5.2 Maatalousekosysteemi

Maatalous on levinnein ihmisen aikaansaama luonnollisen ympäristön muunnelmä. Heleniuksen, ym. (2004) mukaan pelto on ekosysteemi, jossa biomassaa muodostuu ja hajoaa eliöissä ja niiden toimesta. Vaikka ihminen onkin viljely-ympäristön avainlaji, joka kykenee muovaamaan sen oloja ja eliöstöä, maataloustuotanto on silti viime kädessä nimenomaan biologinen prosessi (Helenius, ym. 2004).

Peltoekosysteemin tuotanto perustuu kasvien fotosynteesiin, jossa auringon energiaa sitoutuu ensisijaisesti yhteyttämistuotteisiin kemialliseksi energiaksi. Kasvin viihehiukkasissa tapahtuva yhteyttämispöessi voidaan kuvata seuraavalla bruttokaavalla (Kellomäki 2005, s. 91):



Loput tuotannosta ovat muuntoprosesseja, jossa kasvi muuntaa yhteyttämistuotteita hiilihydraateiksi, rasvahapoiksi, rasvoiksi, valkuaisaineiksi ja muiksi orgaanisiksi yhdisteiksi, joista elämä ja ravinnonsaanti maapallolla riippuu (Helenius, ym. 2004).

1920–1940-luvuilla Suomen maatalous perustui ensisijaisesti paikallisten resurssien ja mahdollisuuksien hyödyntämiseen, jolloin materiaalit ja energiat hyödynnettiin hyvin tarkoin. Teollisen ekologian kannalta tärkein on sen ajan maatalouden läheinen yhteys luontoon ja ympäristöön (Aakkula, ym. 2002, s. 17). Tuotannollinen kokonaisuus eli maatalousekosysteemi muodostui maanviljelyksestä ja karjataloudesta sekä metsätaloudesta.

Maanviljelyksen ja karjatalouden päätuotteita olivat erilaiset viljat, heinä, juurikasvit, maito, liha, lampaanvilla ja kuitukasvit. Aineita jalostettiin myös pidemmälle, jolloin saatiin mm. voita, kermää, jauhoja, lankoja ja kankaita. (Tammi & Tammi 2004, Kurru 2004, Heino 2004a ja Heino 2004b)

Metsätaloudesta saatua puuta käytettiin ensisijaisesti lämmitykseen. Sen lisäksi puu oli erilaisten tarvekalujen raaka-aine. Puuta käytettiin myös talojen, muiden suojarakennusten ja aitojen rakentamisessa. Luonnon raaka-ainetta oli myös eläinten kuivikkeena käytetty turvepehku ja marjat. (Tammi & Tammi 2004, Kurru 2004, Heino 2004a ja Heino 2004b)

Sekä maa- että metsätalouden sivutuotteita olivat mm. hevosen ja karjan lanta, oljet, oksat ja risut, sahajauhot, ruumenet, luut, eläinten suolet, hevosen jouhet, kanan höyhenet. Peltoviljely ja karjanhoito kulkivat käsi kädessä, sillä tavallisessa lannoituksessa käytettiin vain karjan lantaa. (Östman 2004, s. 49, Tammi & Tammi 2004, Kurru 2004, Heino 2004a ja Heino 2004b)

Viljan puinnissa talteen saatuja ruumenia ja silputtuja kauran olkia pystyttiin käyttämään karjan kuivikkeina sekä sopivasti jalostettuna karjan ja hevosen ravintona. Olkia hyödynnettiin myös patjojen täyteaineena, samoin kuin kananhöyheniä käytettiin tyynyn sisustana. (Tammi & Tammi 2004, Kurru 2004, Heino 2004a ja Heino 2004b)

Läheisestä luonnosta saatiin vesi sekä juoksevana että talvisin jään muodossa. Purun seassa säilytettyä jäätä pystyttiin käyttämään pitkälle kesään esimerkiksi maidon jäähdytysaineena. Keittiössä käytetty vesi voitiin juottaa eläimille, koska pesussa ei käytetty synteettisiä pesuaineita. Saunan vesi meni yleensä maameytyksen kautta luontoon. (Tammi & Tammi 2004, Kurru 2004, Heino 2004a ja Heino 2004b)

Kehittyneessä maatalousekosysteemissä melkein pä ainoat ulkoapäin tuodut aineet olivat työkaluissa käytetty teräs, joskus viljan siemenet sekä suola ruoan säilytystä varten

(Östman 2004, s. 48). Kaikki pystyttiin kierrättämään, palauttamaan harmittomana luontoon tai uusiokäyttämään kuten esimerkiksi teräs. Tämän takia sepät olivat ammattimiehinä arvostettuja henkilöitä maatalouskulttuurissa (Heino 2002f).

Metallurgia ja maanviljelys saattoivat verkostoitua muutenkin. Mäkikyrön (2004, s. 5) ja Lindbergin (1861) mukaan *"masuunin kuonan eli konton sanotaan olevan hywin uljasta ainetta täksi tarpeeksi. Kiintiän saven se hellittää, höllän, newaisen, sammalisen ja turpeisen maan se tekee lujemmaksi ja onnellisemmaksi. Paitsi tätä on se myös vahvasti lihottava; sillä siinä on aina osaksi kalkkia."* Masuunikuonaa maanparannusaineena käytettiin kuitenkin vain paikallisesti masuuniyksikköjä ympäröivällä maaseudulla.

Maatalouden tehokkuusvaatimukset kasvoivat, ja sen takia maatalouden pohjana ollutta luontoekosysteemiä piti muokata säätämällä maan viljavuutta, kasvillisuutta, eläinkantaa ja mikroilmastoa. Maatalousekosysteemit kehittyivät huomattavasti avoimemmaksi kuin luontoekosysteemit. Vaikkakin ne hyödyntävät tehokkaammin auringonenergian, niin maahan palautuu huomattavasti vähemmän energiaa kuolleesta orgaanisesta aineksesta ja humuksesta. Tämän takia tarvitaan lannoitteita, kasvimyrkkyjä, torjunta-aineita, koneistusta sekä vettä. (Harris 2004, s. 121)

Tiaisen (2004) mukaan 1950-luku merkitsi maataloustuotannon voimakasta tehostamista maanviljelyskemian, viljelykäytäntöjen ja jalostuksen keinoin sekä maankäyttöä tehostamalla. Maatalouden työvoimatarve väheni, tilakoko kasvoi ja työ koneistettiin. Suomessa maatalous alkoi verkostoitua kemian ja edelleen metallurgisen teollisuuden kanssa. Harjavallan kupari- ja nikkeli- sekä Kokkolan sinkkitehtaiden sulatto- ja pasutuskaasut antoivat pohjan lannoitetuotannon huomattavalle laajentamiselle (Honkasalo 1982b).

5.3 Teollinen ekosysteemi

Teollinen ekosysteemi on tuotannollisten tai palveluyritysten yhteisö, joka sijaitsee maantieteellisesti samalla alueella. Teolliseen ekosysteemiin liittyy usein myös yhteistyö ympäröivän yhteiskunnan kanssa. Jäsenyritykset pyrkivät parantamaan ekologista, taloudellista ja sosiaalista suorituskykyään hoitamalla yhteistyössä ympäristönsuojelu- ja raaka-ainekysymykset.

Lowen (2003) mielestä teollisen ekosysteemin pitää olla enemmän kuin:

- Yksinkertainen sivutuotteiden välityssysteemi tai verkosto,
- Kierrätysliiketoimiryhmittymä,
- Kokoelma ympäristöliiketoiminnan ympärille kerääntyneitä yrityksiä,
- Kokoelma yrityksiä, jotka valmistavat "vihreitä" tuotteita,
- Teollisuuspuisto, joka on suunniteltu yhden ympäristöteeman ympärille,
- Puisto, jossa on ympäristöystävällinen infrastruktuuri tai rakennelma.

Teollinen ekosysteemi on Peckin (2002) määritelmän mukaan *liikeyritysten yhteisö, joka tekee yhteistyötä keskenään ja ympärillä olevan yhteiskunnan kanssa jakaakseen tehokkaasti resurssit (tieto, materiaalit, energia, infrastruktuuri ja luonnollinen elinpiiri) saavuttaakseen parannuksia ympäristön laadussa, taloudellisuudessa ja henkilöstön voimavarojen hyödyntämisessä sekä yrityksissä että ympäröivässä yhteiskunnassa.*

Lowe, Moran, & Holmes (1997) ovat määritelleet Teollisen ekosysteemin seuraavasti: *“Teollinen ekosysteemi on valmistus- ja palveluyritysten yhteisö, joka pyrkii parantamaan sekä ekologista että taloudellista tulosta verkottumalla energian, veden sekä kiintoaineiden keskinäisellä käytöllä. Työskentelemällä yhdessä yhteisön edut ovat suuremmat kuin yksittäisten yritysten etujen summa.”*

Teollisessa ekosysteemissä on kyse jättemateriaali- ja energiavirtojen hyödyntämisestä paikallisella yhteistyöllä eri yritysten välillä (Korhonen 2000, s. 111). Korhonen (2001) on esittänyt neljä periaatetta, joiden avulla teollisuuspuistoa voidaan tarkastella luonnon ekosysteemin kaltaisena mallina:

1. Materiaalin ja energian kierrätys sekä hyötykäyttö,
2. Osakasyritysten, niiden vuorovaikutusten ja yhteistyön monimuotoisuus
3. Paikallisuus käsittäen paikallisten resurssien ja poisteiden hyödyntämisen sekä yhteistyön ympäröivän yhteiskunnan kanssa,
4. Systeemin monimuotoisuuden asteittainen kehittäminen koskien myös paikallisten uudistuvien luonnonvarojen käytön lisäämistä.

Teollisen ekosysteemin yhtenä parhaimpana esimerkkinä pidetään tanskalaista Kalundborgin teollisuusintegraattia, johon kuuluvat hiilivoimalaitos, kipsilevytehdas, lääke- ja biotekniikan yritys, maaperän kunnostusyritys, öljynjalostamo sekä kunnan jätevedenpuhdistuslaitos. Kierrätettävänä materiaali- ja energiapoisteina ovat ylijäämähöyry tai -energia yleensä, jäähdytysvesi, kipsi, lentotuhka, puhdistettu jätevesi, kaasu ja biomasaa. (Penttinen & Dahlbo 2001)

5.4 Teollisen ekosysteemin edut luonnolle, yhteiskunnalle ja yrityksille

Teollisten ekosysteemien etuja yrityksille, luonnolle ja yhteiskunnalle ovat mm. (Descrochers 2002, Lowe 2003 ja Heino & Koskenkari 2004):

Yritysten edut:

- Tuotantokustannusten aleneminen perustuen energia- ja materiaalitehokkuuden paranemiseen käsittäen mm. yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon,
- Jätehuollon kustannusten pieneneminen perustuen alihankintaan,
- Koulutuksen, turvapalveluiden, onnettomuustilannehenkilöstön ja tehdaspalvelun mahdollisen yhdistämisen tuomat edut,
- Pienyritysten tiedonhankinnan paraneminen ja asiakasvalikoiman suureneminen,
- Prosessivesien kierrätyksen tehostuminen ja puhtaan raakaveden käytön pieneneminen eri prosessien hyödyntäessä muiden prosessivaiheiden poistevesiä,
- Kiinteiden kustannusten jakajia enemmän,
- Keskinäiset benchmarking- ja Best practice -käytännöt,
- Parempien, monipuolisimpien ja kilpailukykyisempien tuotteiden valmistaminen, kun kukin yritys voi keskittyä ydinosaamisalueelle.

Luonnon edut:

- Päästölähteiden määrän ja päästöjen pieneneminen,
- Luonnonvarojen kulutuksen pieneneminen käyttämällä kierrätysmateriaalia raaka-aineena,

- Kuljetuksen aiheuttamien saasteiden ja onnettomuusriskien pieneneminen,
- Kiinteiden jätteiden määrän pieneneminen.

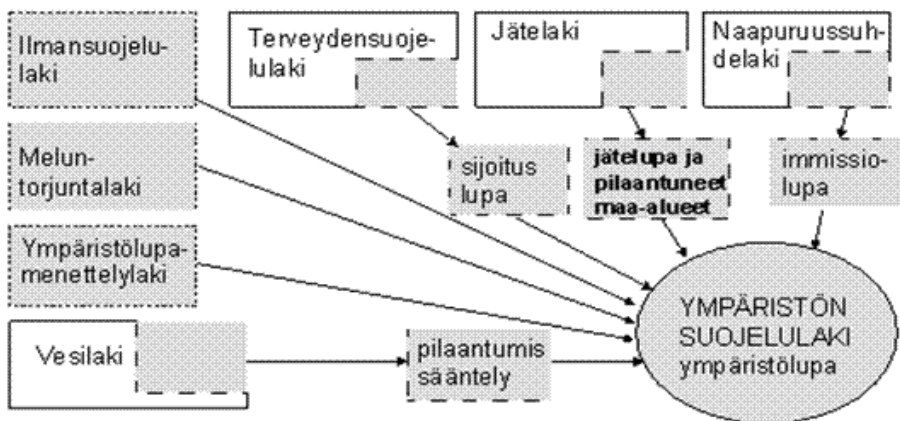
Ympäröivän yhteiskunnan edut:

- Uusien yritysten mahdollinen tulo paikkakunnalle,
- Uusien työpaikkojen syntyminen,
- Infrastruktuurin rakentamiskustannusten pieneneminen,
- Energian hyötykäyttö ja omien energiantuotantoinvestointitarpeiden pieneneminen.

5.5 Suomen ympäristölainsäädäntö teollisen ekologian kannalta

Ympäristönsuojelu- ja vesilainsäädännön uudistus tuli voimaan 1.3.2000. Uudistus ajankäytännöllisesti ja yhtenäisesti nykyistä ympäristön pilaantumista koskevaa lainsäädäntöä ja siihen perustuvia lupajärjestelmiä (Mäkinen 2000). Keskeiset muutokset lainsäädäntöön on esitetty pisteviivalla kuvassa 1 (Ympäristöministeriö 2002).

Päätöksentekojärjestelmän muutoksesta tuli ympäristönsuojelu- ja vesilainsäädännön uudistuksen keskeisin kysymys. Uudistuksen lähtökohtana oli EU:n neuvoston IPPC-direktiivi, jonka mukaan jäsenvaltioilla on oltava yhtenäiseen ja kokonaisvaltaiseen tarkasteluun perustuva ympäristölupajärjestelmä. Alueelliset ympäristökeskukset valvovat sekä ympäristölupaviraston että omien lupapäätöstensä noudattamista. Kunnan ympäristönsuojeluviranomaiset valvovat omien päätöstensä noudattamista. (Mäkinen 2000)



Kuva 1. Keskeiset muutokset lainsäädäntöön (Ympäristöministeriö 2002).

Uuden ympäristönsuojelulain päätavoitteet ovat (Mäkinen 2002):

- Pilaantumisen ja vahinkojen ehkäisy ja vähentäminen,
- Terveellisen, viihtyisän ja luonnontaloudellisesti kestävä ja monimuotoisen ympäristön takaaminen kansalaisille,
- Jätteiden synnyn ja haittojen ehkäisy,

- Ympäristön käsittäminen kokonaisuutena, jolloin toiminnan kaikki ympäristövaikutukset otetaan huomioon lupaharkinnassa,
- Kansalaisvaikutusmahdollisuuksien lisääminen ympäristöä koskevassa päätöksenteossa,
- Luonnonvarojen kestävä käytön edistäminen,
- Ilmastomuutoksen torjuminen ja kestävä kehityksen tukeminen,
- *Parhaan käytettävissä olevaa tekniikan (BAT) käyttäminen päästöjen torjunnassa,*
- Pyrkimys kustannustehokkaisiin ja energiaa säästäviin ratkaisuihin.

Ympäristönsuojelulaki kuten IPPC-direktiivikin, korostavat parhaan käyttökelpoisen tekniikan periaatteen (BAT) ja toiminnan kokonaisvaikutuksen huomioon ottamista ympäristölupaprosessissa. Kokonaistarkastelu joudutaan kuitenkin rajaamaan tietyllä paikalla olevaan toimintaan eikä esimerkiksi raaka-aineiden hankintaa, energian tuotannon ja tuotteiden käytön ja loppusijoituksen vaikutuksia voida ottaa tarkasteluun mukaan. (Silvo 2002)

Toimintojen ympäristöllistä hyvyttä lähestytään sekä teknisistä ratkaisuista että ympäristöstä käsin. Kokonaistarkastelussa huomioon otettavia seikkoja ovat sen alueen ominaisuudet, jolla toiminnan vaikutus ilmenee, pilaantumisen ehkäisemiseksi tarkoitettujen toimien merkitys ympäristön kokonaisuuden kannalta sekä tekniset ja taloudelliset mahdollisuudet toteuttaa nämä toimet. Lisäksi on tarpeen mukaan otettava huomioon energian käytön tehokkuus sekä varautuminen onnettomuuksien ehkäisemiseen ja niiden seurausten rajoittamiseen. (Silvo 2002)

Ympäristövaikutusten kannalta poikkeustilannepäästöt voivat olla paljon pahempia kuin normaalin toiminnan aiheuttama kuormitus. Poikkeuksellisia päästöjä voi aiheutua teollisuudessa erityisesti käynnistysten, pysäytysten ja kunnossapidon aikana. Syynä voivat olla joko inhimilliset virheet tai tekniset viat ja puutteet. Keskeisiä poikkeustilanteita ovat äkilliset päästöt ilmaan, veteen tai maaperään ja sitä kautta pohjaveteen. Tulipalot tai räjähdykset voivat välittömien vaikutustensa lisäksi aiheuttaa myös päästöjä savun tai sammutusvesien muodossa. (Kinnunen 2002)

Tehokas ja systemaattinen ympäristöjohtaminen edellyttää, että organisaatio tuntee toimintansa ympäristövaikutukset myös poikkeustilanteissa ja asettaa tämän perusteella itse ympäristönsuojeluun liittyviä tavoitteita (Kinnunen 2002). 1.2.1999 voimaan tullut Seveso II direktiivi velvoittaa yrityksiltä suuronnettomuuksiin varautumista. Direktiivin tavoitteena on ehkäistä suuronnettomuuksia ja rajoittaa niiden ihmisiin ja ympäristöön kohdistuvia seurauksia. (Levä 2003)

Suomessa vuoden 1994 alusta lähtien voimassa olleen jätelain tavoitteena on jätteiden määrän ja haitallisuuden rajoittaminen, mikä onkin kenties merkittävin muutos aiempaan verrattuna. Jätelain tavoite noudattaa kansainvälisesti hyväksytyjä periaatteita sisältäen mm. Euroopan unionin jäte- ja ongelmajätedirektiivin. Jätelaki koskee tuotannossa ja kulutuksessa syntyviä jätteitä mukaan lukien ongelmajätteet. Jättemäärän pienentämiseen laissa pyritään ohjaamaan mm. seuraavin keinoin (Hasenson 1994):

- Tuotetaan enemmän vähemmästä,
- Kierrätetään ja käytetään uudelleen,
- Raaka-aineita korvattava muiden prosessien sivutuotteilla,
- Tuotteiden oltava kestäviä, korjattavia, uudelleen käytettäviä ja käytöstä poistettuina uudelleen hyödynnettäviä,
- Jätteiden syntyä on ehkäistävä ennalta,

- Viranomaisilla mahdollisuus estää tuotteen maahantuonti, valmistus, myynti tai käyttö.

Jätelailla on laajempi soveltamisala kuin pelkkä pilaantumisen torjunta. Uuden ympäristönsuojelulain voimaantulon jälkeen jätelakia valvotaan itsenäisesti, mutta ympäristönsuojelulain päätöksen osana sen säännös tulee osaksi ympäristönsuojelulain valvontaa. (Mäkinen 2002)

5.6 Teollinen ekologia -mallin kehittäminen jätelain pohjalta

Pohjoismainen komitea, jonka jäsenet olivat kukin maissaan vastuussa ympäristövalvonnasta, totesi vuonna 1992, että päästöistä, kemiallisten ja radioaktiivisten aineiden pitoisuuksista ilmassa, maassa ja vesissä tiedetään eniten, ja ympäristön kannalta merkittäviä vuorovaikutuksista ja kumulatiivisista vaikutuksista ekosysteemeihin puolestaan vähiten (Wahlström 1994, s. 24). Korhonen (2000, s. 103) käsittelee väitöstyössään myös luontoa koskevan eksaktin tiedon puutetta, mikä aiheuttaa epävarmuutta suunnittelussa ja edelleen päätöksissä, jotka tehdään luonnon ja teollisuuden rajapinnalla.

Jätelain tavoitteena on tukea kestävästä kehitystä edistämällä luonnonvarojen järkevää käyttöä lisäämällä muiden kuin prosessien sivutuotteiden käyttöä sekä ehkäisemällä ja torjumalla jätteistä aiheutuvaa vaaraa ja haittaa ympäristölle. Viranomaisten valvovat sitä, että jätelakia noudatetaan, vaikkakin sen noudattaminen on yksittäisten henkilöiden, yhteisöjen ja yritysten vastuulla.

Nykyisen jätelainsäädännön yksi puute on se, ettei siinä tunneta käsitettä sivutuote tai uusioraaka-aine. Mikäli tällaiset käsitteet olisivat olemassa, helpottuisi mm. pyrometallurgisen teollisuuden kuonien hyötykäyttö oleellisesti eikä monimutkaisiin lupakäytäntöihin tarvitsisi välttämättä mennä. Viranomaisilta on tullut myös yllättäviä tai ylivoimaisia ratkaisuja. Tulkintaerimielisyydet ovat johtaneet jopa oikeuskäsittelyihin asti. (Dahl & Heino 2004 ja Haukkasalo 2003)

Uusien prosessien suunnittelu on nykyään niin vaativaa ja aikaa vievää, että tuskinpa on kenellekään syytä ja halua lisätä sen vaikeutta taistelemalla oikeudessa ja odottamalla pitkään ratkaisua. Ratkaisun pohjana ovat usein eri alojen asiantuntijoiden lausunnot. Voidaankin siis kysyä, miksi asiantuntijat eivät keskustele jo ennen sitä? Tällöin voitaisiin saavuttaa sama lopputulos avoimella ja rakentavalla vuoropuhelulla. Mannosen (2003) mukaan *dialogi ei ole tavallista keskustelua, mielipiteenvaihtoa ja väittelyä, vaan antautumista kuunteluun ja yhdessä ajatteluun*.

Kunkin jätteen oikean käsittelyvaihtoehdon löytämiseksi Pongrácz (2002, s. 150–151) esittää vastattavaksi seuraaviin kysymyksiin:

1. Mikä oli aineen alkuperäinen käyttötarkoitus?
2. Aiheuttaako aine vakavan vaaran ympäristölle?
3. Sisältääkö se jotain arvokasta ainetta?
4. Onko mahdollista ehkäistä jätteen syntymistä?
5. Voidaanko jätteen määrää vähentää?
6. Voidaanko sitä käyttää alkuperäiseen tarkoitukseen?
7. Voidaanko sille osoittaa uusi käyttötarkoitus ilman rakenteellisia muutoksia?
8. Voidaanko sille osoittaa uusi käyttötarkoitus rakenteellisilla muutoksilla?

9. Voidaanko sen sisältämä energia hyödyntää?
 10. Onko valitun jätteen käsittelyn nettotuotto uhrattujen voimavarojen arvoinen?
- Edellä esitetyn kysymyksen neljä kohdalla voidaan todeta, että materiaali voi olla hyödynnettävissä hyvinkin pienillä prosessimodifikaatioilla tai siinä on vielä itsessään ajavaa voimaa jossain prosessin vaiheessa.

5.7 Teollinen ekologia ajattelumallin kriittinen tarkastelu

Teollisen ekologian käyttöön ottamiseksi tarvitaan tietoa, suunnittelua, standardeja ja sosiaalisia muutoksia (Research priorities 1997). Teollisen ekologian soveltamisella on lukuisia esteitä, joita ovat mm. nykyisen infrastruktuurin muuttamisen kalleus, huoli ko. menetelmän soveltumisesta nykyisiin sääntöihin, pelko tulevasta sidonnaisuudesta ja riittämätön tieto teollinen ekologia -käsitteestä.

Teollisen ekologian kehittäminen ja edelleen menestyksekkäs soveltaminen vaatii muun muassa seuraavien asioiden huomioon ottamista (Research priorities 1997):

- Tuotteiden ja prosessien saattamiseksi ympäristöllisesti hyväksyttäväksi ja soveltuviksi pitää ottaa käyttöön sellaisia järjestelmiä kuin elinkaariarviointi, vaihtoehtoiset valmistusprosessit ja tehokkaat erotusprosessit.
- Tuotteet ja prosessit on suunniteltava uudelleen käyttöön tai kierrätykseen mukautuviksi.
- Säännöt ja määräykset, jotka on suunniteltu toisia tarkoituksia varten, estävät usein taloudellisten kannusteiden käyttämisen teollisen ekologian periaatteiden omaksumiseksi. Tutkimus pitäisi suunnata sellaisten esteiden poistamiseksi.
- Teollinen ekologia -menetelmän käyttö pitäisi laajentaa eri teollisuuden aloille vuoropuhelulla yritysten, hallitusten, akateemisten yhteisöjen, ympäristö- ja kansalaisorganisaatioiden sekä paikallisten viranomaisten välillä.
- Tutkimuksen avulla pitäisi saada sellaisia tuotteita ja sivutuotteita, jotka ovat joko taloudellisesti talteenotettavia tai joita voidaan haitatta sijoittaa takaisin luontoon.

Isenmannin (2003) mukaan luonnosta löytyy paljon opiksi otettavaa Teollinen ekologia -mallin kautta. Uuden ajattelumallin toteuttamismahdollisuuksia pohtiessaan hän lainaa Keynesiä: *"Hyvin työläästi esitetyt ideat ovat äärimmäisen yksinkertaisia ja niiden toteuttamisen pitäisi olla hyvin ilmeistä, mutta vanhoista tavoista poisoppiminen saattaa olla suurin kehityksen este."*

Teollisen systeemin ja luontoekosysteemin väliset analogiat voivat myös johtaa harhaan. Isenmannin (2001 ja 2003) mukaan luonto ei pysty osoittamaan mitään yksiselitteistä suuntaa, sillä luonto mallina ei voi tarjota täydellistä tarkistuslistaa, mikä takaisi kestävä kehityksen ja eettisen oikeudenmukaisuuden itsessään. Teknisen järjestelmän sisältä löytyy aina ihminen suorittamassa tietois ohjauksen, sosiaalisen ja kulttuurin systeemitaso ja siihen liittyvät erityisominaisuudet, joita ei luonnonjärjestelmissä löydy (Honkasalo 2002).

Eri teknologioiden oikeiden suunnittelu- ja toteutusratkaisujen tekemisen lisäksi muutokset politiikassa ja laeissa yhdessä yksityisten ihmisten käyttäytymisen kanssa ovat tärkeitä tietää ja ymmärtää, jotta negatiiviset ympäristövaikutukset voidaan ehkäistä. Tarviin työkaluja eri vaihtoehtojen ympäristövaikutusten arvioimiseksi. Pitää tietää tuote-

suunnittelun ja prosessisuunnittelun vaikutukset materiaalien valmistussysteemien ulostulovirtoihin. Avaintekijöinä ovat tuotteiden valmistuksen, käytön ja käytöstä poistamisen aiheuttamien ympäristövaikutusten tutkiminen ja analysoiminen.

Honkasalon (1982a) mukaan hyvin tärkeä kysymys on se, miten luodaan yhteiskunnalliset ja taloudelliset edellytykset muutokselle, joka saattaa tuotannon ja kulutuksen sopuun luonnon kiertokulkujärjestelmän kanssa. Teollisen ekologian mallit eivät saa lähestyä ympäristöasioita liian yrityskeskeisesti ja insinöörimäisesti.

On syytä tietenkin miettiä, missä määrin sosiaaliset ja kulttuuriseen piiriin kuuluvat kysymykset sittenkään kuuluvat teollisen ekologian piiriin, koska tarkastelukohde voi tulla liian laajaksi. Voi silti olla huolestunut, että teollisen ekologian tämän hetkiset mallit eivät pidä sisällään systemaattista työturvallisuusulottuvuutta (Honkasalo 2002).

Tämä on ymmärrettävää, kun lähdetään niistä perusteista, joihin teollinen ekologia -ajatusmalli perustuu. Luonto on mestari korjaamaan aiheuttamiensa luonnontuhojen jälkiä (tulivuorenpurkaukset, maanjäristykset, tulvat, tsunamit jne), mutta ei juuri pysty ennalta ehkäisemään niiden syntyä. Voidaan todeta, että työturvallisuus ja teollisuudon nettomuukuuksia ehkäisevä ja niiden mahdollisia tuhoja rajoittava ennakoiva turvallisuustyö on otettava mukaan teollisen ekologian ajatusmalliin.

Teollisten ekopuistojen menestys riippuu uudenlaisesta yhteistoiminnasta julkisen vallan ja alueella olevien yritysten välillä (Lowe 2003). Teollisten ekosysteemien suunnittelu- ja rakennuskustannukset voivat olla suurempia kuin tavallisten teollisuuspuistojen. Perustamiseen ja ylläpitämiseen pitää olla vahvat perusteet, sillä verkostoituminen tuo mukanaan myös rasitteita ja mahdollisesti toimintaa jäykistäviä tekijöitä. Alihankintateollisuuden lailla myös yrityksillä, jotka käyttävät toistensa poisteita raaka-aineenaan, on aina riskinä se, että päätuottaja joko lopettaa toiminnan tai korvaa sen toisella prosessilla, jolloin raaka-ainetta ei enää saa (Lowe 2003).

Luonnon ekosysteemeillä on ollut runsaasti aikaa kehittyä nykyisen kaltaiseksi, ja niillä on myös aikaa sopeutua muutoksiin. Mikäli teollisuudelta tulevaisuudessa vaaditaan entistä voimakkaammin nopeaa taloudellista tuottoa, on riskinä se, että alkuvaiheissaan lähinnä kustannuksia aiheuttavan työn tuloksia ei malteta enää odottaa (Makkonen 2004). Julkishallinnon on siis syytä olla mukana myös rahoituksessa, koska on perusteltua väittää, että pitkällä tähtäimellä sekä taloudelliset että ekologiset hyödyt kompensoivat alun isommat investoinnit.

5.8 Onnettomuuksien ehkäisy ja niihin valmistautuminen

Oulun läänin alueella vuosina 1985–86 tehdyssä *”Onnettomuusriskiä aiheuttavien vaarallisten aineiden valmistuksen, käytön, varastoinnin sekä maantie- ja rautatiekuljetusten”* -kartoitusprojektissa kartoitettiin onnettomuuksien ja suuronnettomuuksien ehkäisyä perustuen sekä kirjallisuuteen että työpaikoilla suoritettuihin haastatteluihin. Kohteiksi valittiin silloisen EEC-direktiivin (1982) perusteella Oulun läänin alueelta 60 työpaikkaa, jotka edustivat seuraavia aloja (Ryhänen, ym. 1986):

- Kohteet, jotka voivat aiheuttaa suuronnettomuusvaaraa (6 kpl),
- Ammoniakkijäähdytyslaitokset (13 kpl),
- Palavien nesteiden suurvarastot (3 kpl),

- Nestekaasuvarastot (3 kpl),
- Myrkkyjä valmistavat, varastoivat tai käsittelevät työpaikat (6 kpl),
- *Pölyräjähdysalttiit työpaikat yleensä (5 kpl).*

Kartoitusprojektissa huomattiin, että teollisuusprosessien ja varastoinnin aiheuttamien suuronnettomuusriskien kartoitus julkisia tietolähteitä käyttäen on mahdollista, mutta tulos on varsin ylimalkainen (Ryhänen, ym. 1986, s. 3). Tärkeimmäksi tiedonhankintamenetelmäksi tulikin työpaikoille suoritettut kartoituskäynnit, joiden lisäksi hyödynnettiin olemassa olevaa viranomaistietoa.

Työryhmämietinnön loppuyhteenvedossa todettiin, että kemikaalionnettomuuksien ennaltaehkäisy ja tapahtuneiden onnettomuuksien tutkinta vaatii lähestymistä usean eri tieteenalan näkökulmasta. Kemiallista ja teknistä tietoa tarvitaan aineiden reaktioiden selvittämiseksi ja mittaamenetelmien kehittämiseksi (Laitinen 1986).

Toksikologinen tieto on välttämätön kemikaalien äkillisten ja hitaiden vaikutusten selvittämiseksi. Työhygieenistä tietämystä tarvitaan kenttämittausten ja kokeiden teossa. Laitosten turvallisuustason kehittämisessä on tarpeen teknisen tietämyksen lisäksi yksilö- ja organisaatiopsykologista osaaminen. Tärkeän alueen muodostaa varautuminen mahdolliseen suuronnettomuuteen ja sen vaatimaan kriisijohtamiseen. (Ryhänen, ym. 1986)

Suuronnettomuusriskialttiiden työpaikkojen kartoitusprojektin työryhmämietinnössä todettiin lisäksi mm. seuraavaa (Ryhänen, ym. 1986, s. 12–14):

- Viranomaistoiminnan ja -yhteistyön kehittäminen on hyvin olennainen osa suuronnettomuuksien ja onnettomuuksien ehkäisyä ja mahdollisten onnettomuuksien tuhojen rajoittamista. Monimutkaisten prosessien ohjaukseen ja valvontaan puuttuminen edellyttää kuitenkin hyvää perehtyneisyyttä työpaikan olosuhteisiin ja käytettävien aineiden tuntemista.
- Onnettomuuksien ja suuronnettomuuksien ennaltaehkäisy voidaan tiettyynajaan asti hoitaa teknisesti. Suurelta osin se on kuitenkin kiinni työpaikan johdon, suunnittelijoiden ja muiden henkilöstöryhmien asenteista, aineiden huolellisesta käsittelemisestä ja prosesseista huolehtimisesta.
- Keskeisin keino onnettomuuksien ehkäisyyn on työpaikan henkilöstön ammattitaito, riskien tuntemus ja vastuun tajuaminen sekä avoin tiedonkulkuk; ne muokkaavat asenteet onnettomuuksien ja suuronnettomuuksien torjunnalle myönteisiksi.
- Ympäristön hälyttämis- ja onnettomuudesta tiedottamisvalmius pitää olla aina kunnossa. Puutteet voivat mahdollisessa onnettomuustilanteessa aiheuttaa työntekijöiden, ympäristön asukkaiden sekä pelastushenkilöstön perusturvallisuuden alenemisen.
- Oman alueen muodostaa varautuminen mahdolliseen suuronnettomuuteen ja sen vaatimaan kriisijohtamiseen.

5.9 Yhteenveto teollisesta ekologiasta ja sen soveltamisesta

Teollisessa ekologiassa jätteet ja tuotteet, joiden ennen katsottiin jättävän systeemin, katsotaan kuuluvan edelleen osaksi systeemiä ja yrityksen sisäistä vastuuta. Pää tavoite on kehittää suljettu kierto, josta ei pääse raaka-aineita karkuun ja jossa materiaali käytetään mahdollisimman tehokkaasti. Paikalliset resurssit pyritään hyödyntämään, jolloin mah-

dollisimman paljon vältetään pitkiä kuljetusmatkoja, sillä varsinkin isojen poistemäärien ollessa kyseessä kuljetukset kuluttavat saavutettavia ekohyötyjä.

Teollisen ekologian mallissa eri teollisuusyksiköt sekä mahdollisuuksien mukaan yhteiskunta, maatalous, jne. sitoutuvat toisiinsa poisteverkoston avulla. Poiste voi olla joko ainetta tai ylijäämäenergiaa, jota toiset yksiköt voivat hyödyntää. Harmeaine saattaa mennä toiseen yksikköön sitoutuakseen luonnon ja ihmisen kannalta harmittomaan muotoon luontoon takaisin palautettavaksi, sillä aina ei hyötykäyttö ole kannattavaa.

Teollisen ekologian periaatteet hiiliteräksen valmistuksessa kuin muilla teollisuuden aloilla voidaan toteuttaa vain yhteistyössä kaikkien yrityksen toimintaan liittyvien yhteisöjen ja kansalaisten kanssa (Allenby 1999). Yrityksille ja insinööreille sosiaalisen vastuun omaksuminen on edellytys, jotta yritysten omankin toiminnan kannalta kestävän kehityksen periaatteen takia välttämättömät muutokset voidaan toteuttaa. Teollinen ekologia tarjoaa parhaimmillaan insinööreille ajattelun työkaluja, jotka muuttavat heidän suhtautumistaan omaan tehtäväänsä, yritysten asiakkaisiin ja sidosryhmiin sekä koko yhteiskuntaan (Honkasalo 2002).

Teollinen ekologia -ajattelumallilla on suora yhteys Oulun koulu -arkkitehtuurikoulukuntaan. Oulusta käsin alettiin tuottaa uudenlaista arkkitehtuuria, jossa paikalliset lähtökohdat korvasivat modernistisen arkkitehtuurin teoreettiset vaatimukset. Koululle tunnusomaista oli *ennakkoluulottomuus, vapaus, inhimillinen mittakaava, rehellisyys*... Näillä kaikilla sanoilla kuvailtiin 1980-luvulla virinnyttä innostusta paikalliseen arkkitehtuuriin.

Oulun koulu -ideologiaan kuuluu se, että myös tulevaisuudessa tarvitaan eräkaita, hiljaisia paikkoja sekä levähdyspaikkoja muuten kiireisessä maailmassa. Elämä pohjoisen aarreitan ovella on jatkuvaa kapinaa, kun yhdistetään kaupunkielämä jatkuvaan hilla- ja karpalosoiden läheisyyteen. Ihmisen säilyminen maapallolla on mahdollista vain, jos ihminen sopeuttaa toimenpiteensä luonnon kanssa. (Ylimaula, ym. 1993, s. 13 & s. 101–102)

6 Harjavalta ja kuparitehdas

*”Se mihin pyrkii ihmiskunnan huiput kauniin rikkaan elämänsä ajan,
on tavoittelun arvoista myös meille.”*

- Esaias Tegnér

Outokumpu Oy:n tarina lähti liikkeelle Pohjois-Karjalan Kuusjärven pitäjältä vuonna 1910 löydetystä Outokummun rikkaasta kuparimalmiosta, joka mahdollisti suomalaisen metallurgisen teollisuuden nousun (Kuisma 1985, s. 4). 1920-luvun lopussa Outokummun kaivostoiminta laajentui suurtuotannon asteelle, jonka jälkeen rikastetuotantoa voitiin kohottaa entisestään (Poutanen & Kuisma 1994, s. 15–16).

Jo varhain asetettiin tavoitteeksi tuotteiden jalostusohjelma, jossa malmi käsiteltäisiin kotimaassa rikasteeksi, raakakupariksi, elektrolyyttikupariksi sekä edelleen jalostetuiksi tuotteiksi. Tämän lisäksi malmiin sisältyvä rikki, sinkki, koboltti ja rauta pyrittiin saamaan sivutuotteina talteen kotimaisen teollisuuden tarpeiksi (Poutanen & Kuisma 1994, s. 15–16).

Jalostusastetta nostettaessa ensimmäinen iso askel oli Imatralla vuonna 1936 käyttöön otettu sähkösulatukseen perustunut sulatto, jonka tuote oli raakakupari. Sijaintipaikan valintaan vaikuttivat Imatran uusi suurviesivoimala Vuoksessa, rikasteiden lyhyt kuljetusmatka, tuotteiden hyvät kuljetusmahdollisuudet ja sivutuotteena saadun rikin hyödynnettävyys läheisessä sellukeskittymässä sekä rikkihappo- ja superfosfaattitehtaassa. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 16)

Käynnistyessään Outokummun sähkösulatusuuni oli maailman suurin. Sen tuotantokyky oli 12000 t raakakuparia vuodessa. Sivutuotteena saatua rauta- ja kobolttipitoista pasutusjätettä käytettiin raaka-aineena Vuoksenniska Oy:n rauta- ja terästehtaalla Imatralla. Kuparitehtaan toimintaan yhdistettiin myös nestemäisen rikkidioksidin tuotantoprosessi, minkä avulla pyrittiin ehkäisemään savukaasujen vakavat ympäristövaikutukset (Poutanen & Kuisma 1994, s. 18).

6.1 Kuparitehtaan siirto Harjavaltaan

Kesällä 1944 kuparituotanto päätettiin sijoittaa Länsi-Suomeen mahdollisimman kauaksi sodan jaloista. Vuoksen vesivoiman lisäksi Neuvostoliitolle rauhanteossa luovutettuun Karjalaan jäi muitakin suuria vesivoimalaitoksia, joten sähkön niukkuus tuli olemaan yksi teollisuuden kehitystä ohjaava voima (Poutanen & Kuisma 1994, s. 57). Kuparitehtaan uudeksi sijoituspaikaksi valittiin Harjavalta 1939 valmistuneen vesivoimalaitoksen sekä kuonamuodostusta ajatellen oikean hiekkatyyppin takia (Poutanen & Kuisma 1994, s. 28).

Paikan valinnan merkittäväksi syyksi nousi myös se, että koko Länsi-Suomesta ei olisi löytynyt toista paikkaa, jossa tehdas olisi voitu kytkeä suoraan voimalaitoksen generaattorijärjestelmään ilman suurta välimuuntajaa (Poutanen & Kuisma 1994, s. 28). Harjavalan läpi kulkeneen rautatien merkitystä tehtaan sijaintipaikan valinnassa ei voida myöskään väheksyä (Tuokkola 2002, s. 3). Harjavallan kankaat oli jo tutkittu heinäkuussa 1938, kun etsittiin paikkaa uudelle Outokumpu-yhtiön metallitehtaalle. Tällöin kuitenkin Pori valittiin metallitehtaan sijoituspaikaksi (Poutanen & Kuisma 1994, s. 26–28 ja s. 37).

Sota-ajan erikoistilanne antoi insinööreille mahdollisuuden rationalisoida teollisuus, alkutuotanto ja liikenne. Vastalauseita ei juurikaan kuultu, sillä rationalisointi oli ainoa keino, jolla Suomi pystyi selviytymään sotatalouden rasituksista. Rationalisoinnilla luotiinkin heti jatkosodan alussa institutionaaliset puitteet. (Michelssen 1999, s. 300)

Sota-ajan yhteiskunta oli rakenteeltaan ja toimintamekanismiltaan insinöörin ”unelmavaltio”. Ideologisia ristiriitoja ei suvaittu, vaan kaikki työskentelivät yhteisen päämäärän saavuttamiseksi. Insinööreillä oli kaikki valta optimoida teollisuuden tuotantoprosessit, järjestää liikenneyhteydet ja huolehtia energian, raaka-aineiden ja työvoiman jakelusta. Teollisuuden toimintaa oli seurattava herkeämättä ja ongelmat oli tunnistettava ennen, kuin ne muodostuivat kriiseiksi. Toisaalta insinöörien oli ratkaistava tuotantoa hidastavat ongelmat ja luotava vähistä voimavaroista resurssit, joiden varassa armeija ja kotirintama selviytyivät. (Michelssen 1999, s. 300)

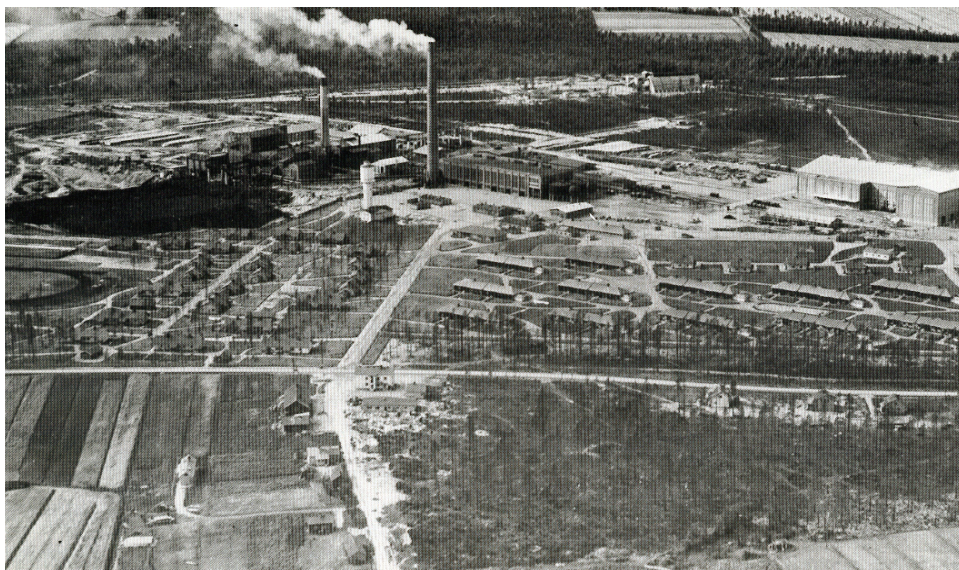
6.2 Kuparitehtaan rakentaminen

Rakennustöiden alkaessa Harjavallassa olosuhteet koko maassa olivat sekavat. Miesväki oli rintamalla, ja saksalaisten kulkiessa kohti katastrofia huoli suomalaisten tulevaisuudesta painoi mieliä. Työvoiman saanti uuden kuparitehtaan rakentamiseen tuntui aluksi ylivoimaiselta. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 36)

Työntekijöiden joukko olikin ensi alkuun koko lailla kirjavaa. Syksyn 1944 rauhanteekoon asti kuparitehdasta oli rakentamassa mm. 200 venäläistä sotavankia ja kolmisenkymmentä suomalaista rintamalla henkisen tasapainonsa menettänyttä miestä. Ammattitaitoisen työvoiman puute alkoi helpottaa, kun miesten kotiuttaminen pääsi vauhtiin (Poutanen & Kuisma 1994, s. 36). Myös kotona ollut nuoriso oli merkittävä työvoiman lisä alkuvuosina.

6.3 Kuparitehtaan alkuaikojen ympäristövaikutukset

Rikkidioksidin käsittelyyn tarvittavia rikkihappotehtaita ei rakennettu samanaikaisesti, vaan niiden tuloon jäi kahden vuoden viive, joka aiheuttikin seuraamusvaikutuksensa herkkään mäntymetsäympäristöön, sillä mänty on erityisen herkkä rikkidioksidin ja raskasmetallien suhteen (Rautio 2000 & Lamppu 2002). Haittavaikutukset näkyivät muussakin kasvistossa sekä tietenkin ihmisten yleisessä hyvinvoinnissa pilaantuneen hengitysilman muodossa (Karhu 1982).



Kuva 2. Harjavalan Outokummun ja Kemiran ympäristö vuonna 1951 (Karhu 1982).

Kun Outokumpu Oy huomasi, ettei rikkihappotehdasta saatu heti käyttöön, oli toimintansa aloittaneessa kuparitehtaassa sekoitettava savuun ilmaa. Näin koetettiin laimentaa rikkikaasua ja saada ympäristövahingot pienemmiksi. Sen lisäksi, että Outokumpu Oy pelkäsi kaasuvahinkojen korvausvaateita, sen asema oli tullut entistä hankalammaksi, sillä kuparin kokonaistuotanto oli lyhyessä ajassa nostettava kaksinkertaiseksi. (Tiirinen 1997, s. 20)

Yksi tehtaan käyntiinajon pioneereja, Imatralta tullut työnjohtaja muistelee ympäristöä seuraavasti (Nirkko, ym. 1990, s. 172): *"Aikanaan vuoden kahden kuluttua, tehdas alkoi toimia entiseen malliin lukuun ottamatta kaasun tekemiä tuhoja ympäristössä. Mänyt kuolivat noin kilometrin säteellä. Ensi hakoneulat, sitten kuori alkoi irrota. Totesin koomillisen näyn asuntomme ikkunasta. Palokärki tuli ruuan hakuun mäntyyn; taisipa löytyä kerrankin hyvä matopuu. Mutta mitä kummaa: ei vain matoja löytynyt, vaikka kaikki merkit viittasivat siihen. Onpa outoja puita Harjavallassa. Ja lensi pois."*

Ennen voimalaitoksen ja kuparitehtaan tuloa Harjavalta oli kauniista jokimaisemasta kuulu, virkeä maatalouspaikkakunta, jossa leimaa-antavana piirteenä olivat valkoiset

poronjäkääläkankaat. Poronjäkäälän vienti Saksaan 1930-luvulla oli yksi Harjavallan elinkeino kuvaten siten poronjäkäläesiintymien runsautta. (Tammi 2002)

Kauniit poronjäkääläkankaat hävisivät melko nopeasti tehtaan lähialueelta, ja ympäristö muuttui varjokuvaksi entisestä. Pääosin sadeveden varassa elävät sammalet ja jäkälät ovat putkilokasveja herkempiä ilman epäpuhtauksille mm. siksi, että niiltä puuttuu suojaava kutikulakerros. Harjavallan metallisulaton ympäristössä poronjäkälät ovat hävinneet 3–4 km:n alueelta ja tavalliset metsäsammalet n. 8 km:n alueelta tehtaan ympäriltä. (Reinikainen, ym. 2001, s. 315).

Puiden ja aluskasvillisuuden lisäksi vahvoista rikkidioksidikaasuista aiheutui haittaa myös ympäristön asukkaille. Tehtaalla itse työskennellyt isä saattoi kieltää tyttärtään menemästä ulos pahimpien konvertteripuhallusten aikaan, vaikka itse altistui työympäristössä moninkertaiselle käry- ja raskasmetallipitoisuudelle. Jotkut herkemmmät kasvit ja joidenkin kasvilautujen kukat olivat kestäättömiä kuparitehtaan kaasuille. Silti äidit sisukkaasti viljelivät ryytimaitaan, vaikka joka vuosi sato ei hyvä ollut, sillä rikkikaasujen tuho vaikutus näkyi selvästi puutarhavihjelyssä. Nailonsukkiin ja nailonpaitoihin tuli pieniä reikiä kaasulaskeumien seurauksena. (Rantala 2001, s. 70–75).

Harjavallassa pitkään opettajana vaikuttanut Reijo Virmavirta (1980, s. 53–54) kuvaa vaikutuksia peltikattoihin seuraavasti: *”Keväällä 1947 huomattiin, että kuparitehtaan ”krääsä” oli tehnyt tehtävänsä 1,5 km:n päässä joen toisella puolella olevan Pirkkalan koulun peltikatolle. Rikki oli syönyt katon pahannäköisesti. Se vaati pikaista maalausta. Rikkipitoisen käryn vaikutus oli tullut tutuksi maanviljelijöille. Sopivan kostealla säällä yli puolet viljasta saattoi ruskettua ja kuolla. Nyt havaittiin, että kaasu puri metalliesineisiin. Pyörät ruostuivat, samoin peltikatot. Marttilan kattotiilikoneet tekivät hyvin kaupansa. Harjavallassa alettiin huopaa peltikatoista.”*

Harjavaltaan vain muutaman kilomerin päähän tehtaan sijoituspaikasta oli rakennettu 1925 keuhkotuberkuloosin hoitamista varten Satalinnan sairaala (Väänänen 2000, s. 16.). Potilaiden hoidon yksi tärkeimmistä kriteereistä oli raitis ja puhdas ilma, minkä takia sairaalat yleensä rakennettiin havumetsien keskelle vuoristoiseen tai mäkimaastoon pölystä ja savusta puhtaaseen ilmanalaan (Väänänen 2000, s. 35–37).

Valinnan yhtenä pohjana ollut, erinomaiselta vaikuttanut maapohja ei ollutkaan niin hyvää, kuin otaksuttiin. Ei osattu kuvitella, että Harjavallan kauniiden hiekkakankaiden alla kummitteli oikukas orsivesi, joka sitten haittasi sekä perustuksia että aiheutti muitakin ongelmia (Poutanen & Kuisma 1994, s. 37–39). Aikojen kuluessa on metalleja kulkeutunut sadeveden mukana päällystämättömältä tehdasalueelta pohjaveteen. Pohjavesi on jonkin verran likaantunutta tehdasalueen alapuolella. Lammaisten vedenottamo jouduttiinkin sulkemaan 1980-luvun alussa, kun huomattiin veden kadmiumpitoisuuden ylitävän lääkintöhallituksen rajat. (Vasken Viesti 1996)

Kokemäenjoestakin tuli alkuvuosina melkoinen viemäri, jonne laskettiin silloisen yleisen tavan mukaan melkein kaikki mahdollinen. Kokemäenjoen reitin yläjuoksun merkittävimmät likaajat olivat puunjalostusteollisuuden tehtaot. Vielä 1960-luvun lopussa Harjavallan tehtaiden rikkidioksidipitoisen savukaasun pesuhapot laskettiin puhdistamatomina suoraan jokeen. Pesuhappohan oli siinä vaiheessa n. 30-prosenttista rikkihappoa sisältäen liekkisulatusmenetelmästä tulevat raskasmetallipitoiset pölyt.

6.4 Liekkisulatusmenetelmän kehittämisen globaali menestys

Sodanjälkeinen sähköpula pakotti Outokumpu Oy:n miettimään uusia prosessivaihtoehtoja korvaamaan kallista sähköuunisulatusta. Sulatusongelmaa harkitessaan yhtiön toimitusjohtaja Mäkinen päätyi siihen, että nyt oli yritettävä päästä aivan uuteen ratkaisuun: malmin sulattamiseen sen omaa polttoarvoa hyväksi käyttäen (Annala 1960, s. 391–392).

Outokummun metallurgit ja insinöörit rupesivat kehittämään autogeenistä liekkisulatusmenetelmää. Päävastuuseen määrättiin yhtiön päämetallurgi Bryk ja Harjavallan tehtaan johtaja Ryselin (Annala 1960, s. 393). Ensimmäinen onnistunut teollisuusmittakavainen kuparin liekkisulatusmenetelmä otettiin käyttöön ja saatiin toimimaan Harjavallassa keväällä 1949.

Huolimatta Harjavallan tehtaiden ankeasta alusta ympäristönsuojelu oli se tekijä, joka pani liikkeelle liekkisulattojen kysynnän. Ympäristötietoisuus rupesi saamaan 1960-luvun lopussa myös lain muodon, joka saneli hyvin pitkälle laitosten hankintapolitiikkaa. Tämä tiesi sitä, että Outokummun liekkisulattojen kysyntä melkein ryöstäytyi käsistä 1970-luvun taitteessa (Särkikoski 1999, s. 224).

Kuparin valmistuksen liekkisulatusmenetelmässä rikin talteen saanti on hyvä, ja SO₂-kaasun jatkojalostaminen on helppoa sekä tehokasta. Prosessin ympäristöystävällisyys oli alussa ennemminkin lisäetuna kuin varsinaisena syynä prosessin valintaan. Ne ongelmat ja haitat, jotka paikallistasolla Harjavallassa jouduttiin kärsimään, ovat globaalitasolla tulleet monin kerroin takaisin parempana ilman laatuna ja moni-ilmeisenä tuotevalikoimana.

Outokummun liekkisulatusprosessi sai merkittävän kansainvälisen ASM Historical Landmark Award -tunnustuksen 10. kansainvälisen liekkisulatuskongressin yhteydessä Helsingissä 24.6.2002. ASM International, The Material Information Society, myöntää tunnustuksia sellaisille kohteille ja tapahtumille, joilla on ollut erityinen merkitys metallien löytämiseksi ja metallinjalostuksen kehittämiseksi ja käytön lisäämiseksi. Liekkisulatus teknologia on lisännyt materiaalien hyötykäytön taloudellisuutta, ja sillä on positiivinen vaikutus maailman ympäristöoloihin. (Paatela 2002 ja Helsingin Sanomat 2002)

Tällä hetkellä Outokumpu -konserni on maailmanlaajuinen markkinajohtaja kahdeksalla eri osa-alueella. Liekkisulatus teknologiassa Outokummun markkinaosuus on melkein 100 %. Muita markkinajohtajuusalueita ovat kupariset ilmastointi- ja jäähdytinputket, rikkihappotekhnologia, sinkkipasutustekhnologia, online-röntgenanalysaattorit, anodivalupöydät sekä suprajohtavat langat. Melkeinpä kaikista osa-alueista voidaan johdtaa jäljet Harjavallassa kehitettyyn liekkisulatusmenetelmään, jonka lisenssit ja sovelluskohteet on esitetty liitteessä 3 (Mikkonen 2002 ja Paatela 2002).

Outokummun liekkisulatusprosessia on sen yli 50-vuotisen historian aikana kehitetty jatkuvasti, ja se on yleisimmin käytössä oleva sulatusprosessi. Liekkisulatus yleistyi kuparin valmistuksessa 1970-luvulla energiataloudellisuutensa takia. Pienen energiankulutuksensa lisäksi liekkisulatus on hyvin ympäristöystävällinen prosessi, jonka avulla n. 50 % maailman primäärikuparista valmistetaan eri puolilla maailmaa (Luomala 2002).

6.5 Kuparitehtaan integroituminen Harjavaltaan

Integroitumista maatalousympäristöön ja herkkään mäntymetsäluontoon on helpottanut huomattavasti kuparin liekkisulatusmenetelmä, jonka ansiosta ympäristöpäästöt ovat pudonneet vuosien saatossa murto-osaan entisestään. Kärypäästötkin ovat niin pieniä, että niistä ei enää saa Harjavallalle aikoinaan omaleimaista kärykorvausta, jolla yritettiin kompensoida sekä maanviljelyksen että metsänhoidon kasvutappioita (Rantala 2001, s. 73–75).

Outokummun ja Kemiran tehtaiden ympärille on myös syntynyt suurta ja keskisuurta teollisuutta sekä pienteollisuutta, minkä takia Harjavalta on muuttunut pienestä n. 2000 hengen maatalouspaikkakunnasta yli 8000 hengen teollisuus- ja maatalouspaikkakunnaksi. Muutos ei ole ollut mitenkään kivuton, vaan on kulkenut pitkällisen sosiaalisen, ekologisen ja kulttuurisen murroksen kautta. Tätä murrosta kuvaa erittäin osuvasti ja perinpohjaisesti Satu Rantala pro gradu -opinnäytetyössään *”Koko pitäjä rakennettiin sit uudestas”*, johon tässäkin työssä on jo aiemmin viitattu (Rantala 2001).

Yksi parhaimmista vanhan Harjavallan kuvaajista ja taltioitsijoista on ollut Emil Cedercreutz, joka perusti Maahengen Temppelin ylistääkseen maan, auringon ja ihmisen välistä yhteistyötä. Cedercreutz keräsi suuren kokoelman satakuntalaista talonpoikaissineistöä ja kansantaidetta, joiden hän toivoi välittävän vanhan ajan maahengen tulevaisuuteen (Kava 1993, s. 213).

Elämän murroksen visuaalinen tulkki on harjavalalainen Sulo Friis, jonka valokuvat kattavat vuosikymmenet 1940- ja 1950-lukujen vaihteesta aina 1970-luvulle asti (Judin 1996). Matti Krannila on myös laatinut kuvateoksen, jossa on rinnastettu vanhoja ja uusia valokuvia Harjavallasta viimeisen 100 vuoden ajalta (Krannila 2003).

Väliaikaisista takaiskuista huolimatta Harjavallan luonto on kaunistumassa, vaikka välillä ympäristö ei niin ruusuiselta näyttänytkään. Jokivesikin on niin puhdasta, että Harjavallan voimalaitokselle suunnitellaan lohiportaita, jotta lohet pääsevät nousemaan myös voimalaitoksen yläpuolelle. Työtä on ollut ja on edelleenkin paljon edessä liittyen sekä prosessien jatkuvaan ajoon että kunnossapitoon ja kehittämiseen.

7 Kuparin liekkisulatusmenetelmä ja sen kehittäminen

*”Vuorien kupeelle, aurinkoa kohti,
rakennetaan uneksijain uudet kylät ja kaupungit,
ikuisuutta pohtivien yliopistot ja taivaan työmiesten tehtaat.”*
- Toivo Pekkanen

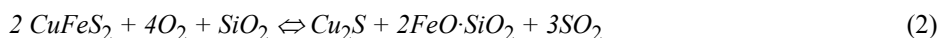
Kupari on tuotantomäärältään kolmanneksi tärkein metalli raudan ja alumiinin jälkeen. Noin 90 % maailman primäärikuparista on peräisin sulfidisista malmeista. Tärkein kuparimineraali on kupariikiisu (CuFeS_2), joka esiintyy yhdessä rikkikiisun eli pyriitin (FeS_2) kanssa. Muita tärkeitä kuparimineraaleja ovat borniitti (CuFeS_4), kalkosiitti (Cu_2S), kovelliitti (CuS) ja malakiitti ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$).

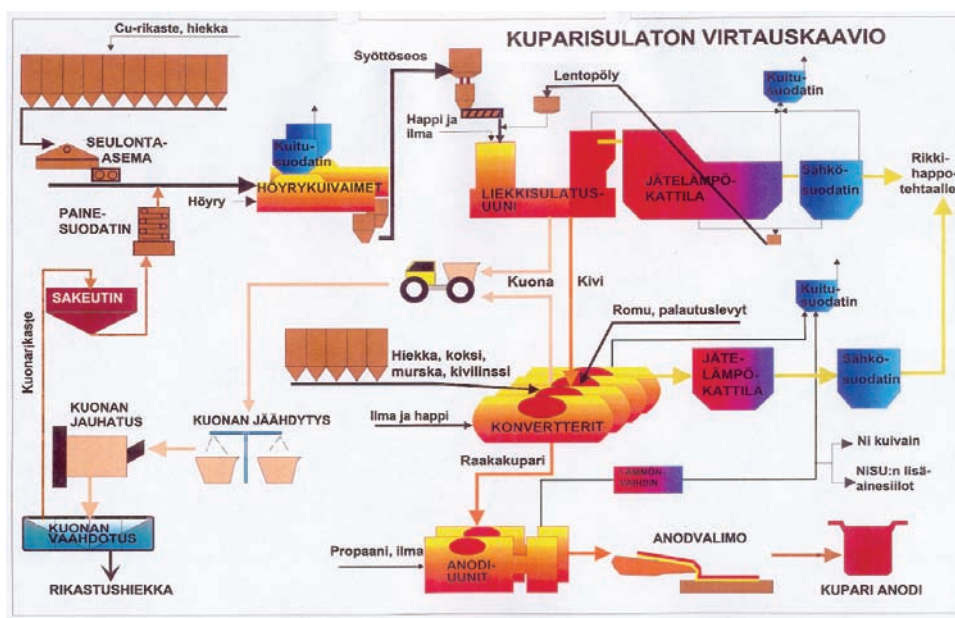
Päämetallien kuparin ja raudan lisäksi kuparimineraalit sisältävät muita metalleja (nikkeli, sinkki, lyijy, koboltti, arseeni, antimoni, vismutti, hopea ja kulta). Kyseiset aineet ovat haitta ympäristöön päässeinä raskasmetalleina, mutta ne ovat myös hyödynnettävissä sivutuotteina. Kuparia valmistetaan pääasiassa (n. 90 %) pyrometallurgisilla menetelmillä, joissa loppuraffinointi eli epäpuhtauksien poisto suoritetaan yleensä elektrolyysillä.

Liekkisulatusmenetelmän kehittäminen -osio perustuu kirjallisuuteen ja Outokummun Harjavallan tehtaalla liekkisulatusmenetelmän kehittämisen aikaan työskennelleiden sulimomies Viljo Kankaanpään sekä korjausmiesten Jouko Heinon, Jouko Paavilaisen ja Pertti Makkosen haastatteluihin.

7.1 Kuparirikasteen liekkisulatusmenetelmä

Kuparin liekkisulatusmenetelmä Harjavallan tehtaan toiminnan perusteella on esitetty kuvassa 3 (Outokumpu 2003). Rikastepolttimen kautta liekkisulatusuunin reaktiokuiluun syötetään kuivattu rikaste, lentopöly, kuonanmuodostajana käytettävä kvartsihiekkä ja esilämmitetty polttoaasu. Sulfidiset rikastepartikkelit reagoivat eksotermisesti hapen kanssa ja osittain sulavat reaktiokuilussa. Syntyvä rikkidioksidi johdetaan rikkihappotehtaalle. Kokonaisreaktio on seuraava, kun huomioidaan myös kuonanmuodostus:





Kuva 3. Kuperirikasteen liekkisulatusmenetelmän virtauskaavio (Outokumpu 2003).

Liekkisulatusuuniin tuote kuparikivi (Cu-Fe-S), jonka kuparipitoisuus on yli 60 %, laskeutuu kuonaa raskaampana uunin pohjalle. Kvartsihiekan tehtävänä on reagoida rautaoksidien kanssa sekä muodostaa juokseva fajaliittisen koostumuksen omaava kuona ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), joka juoksetaan jaksottain pois uunista. Myös kuparikivi lasketaan uunista jaksottain ja siirretään konvertoitavaksi.

Kuparikiven konvertoinnissa käytetään Peirce-Smith-konverttereita, joihin sula kivi panostetaan yhdessä kuonanmuodostajana toimivan kvartsin kanssa. Konvertoinnin kuonapuhallusvaiheessa sulan kuparikiven läpi puhalletaan happirikastettua ilmaa, joka hapettaa suurimman osan FeS:sta. FeS:n hapettuminen on voimakkaasti eksoterminen reaktio, ja lämpötilan kontrolloimiseksi konvertteriin lisätään kuparia sisältäviä kierrätysraaka-aineita.



Hapetettava rauta muodostaa kvartsihiekan kanssa kuonaa:



Konvertteriin jää muuttokivi, jossa on 80 % kuparia. Kuonapuhalluksen päätyttyä syntynyt kuona kaadetaan pois ja siirrytään rikkaaksipuhallukseen, jossa puhallusta jatketaan hapella. Jäljelle jäänyt Cu_2S reagoi hapen kanssa muodostaen kuparia ja rikkidioksidia:



Konvertterin tuotteena saatava, 1–2 % epäpuhtauksia sisältävä raakakupari siirretään senkoilla anodiuniin puhdistettavaksi. Ensimmäisessä vaiheessa anodiunissa raakakuparista poistetaan vähäinen rikkimäärä ja muita epäpuhtauksia hapettamalla. Toisessa vaihees-

sa ylimääräinen happi poistetaan pelkistämällä kupari propaanilla. Pelkistuksen jälkeen kupari valetaan 300 kg painaviksi anodeiksi, jotka toimitetaan elektrolyyttiseen puhdistukseen.

Liekkisulatusuunin kuona sisältää kuparia 2–4 % ja konvertterin kuona 6–10 % (Palosaari 2003, s. 76). Sula kuona lasketaan jaksoittain patoihin, joissa kuonan annetaan jäähdyä. Hitaan jäähdytyksen aikana kuonapadan pohjalle erottuvat metalliset kupari- ja kuparikivifaasit, jotka voidaan kierrättää takaisin prosessiin (Palosaari 2003, s. 77). Jäähdytyksen jälkeen kuonat murskataan, jauhetaan sekä rikastetaan vaahdottamalla. Rikastusprosessista saatava kuonarikaste palautetaan liekkisulatusuunin syötteisiin (Palosaari 2003, s. 78). Rikastuksesta saatava kuparin hienokuona eli rikastushiekka pumpataan lietealtaisiin.

7.2 Täyden mittakaavan liekkisulatusuunia edeltänyt koetehdas

Ennen liekkisulatusmenetelmän tutkimista koemittakaavassa laskettiin teoreettisesti, pystytäänkö pelkällä rikasteen poltolla saamaan aikaan riittävä sulatusenergia. Todettiin, että sulatuksessa ei onnistuta, mikäli uunin lämpöhäviöitä ei pystytä korvaamaan. Laskennallisesti kuitenkin huomattiin, että lämpövajaus pystyttiin korvaamaan kierrättämällä kuumat poistokaasut polttoilman esilämmitykseen.

Sodan jälkeisissä olosuhteissa rakennetun koetehdan laitteet olivat alkukantaisia, joten tulokset olivat melko epämääräisiä ja vain suuntaa antavia. Havaittiin, että rikaste saadaan palamaan ja että sulaa syntyy, mutta palamisprosessin yksityiskohtia ei pystytty todentamaan. Täyden mittakaavan liekkiuunin rakentamista edeltänyt koetehdasvaihe jäi muutenkin melko lyhyeksi. Kokeiden alkuvaiheissa rikasteseos täytti nopeasti koeuunin. Myös uunin lähellä ollut lautarakenteinen rikasteenkuivausyksikkö paloi toukokuussa 1947 (Poutanen & Kuisma 1994, s. 59–62).

Tulipalon jälkeen koeajoja jatkettiin tammikuuhun 1948 asti. Koska edellytykset täyden mittakaavan sulaton rakentamiseen olivat, rakennuspäätös tehtiin ja rakentaminen aloitettiin vuoden 1947 lopussa. Vielä ei kuitenkaan oltu täysin varmoja uunin toimivuudesta, joten uuni rakennettiin siten, että se pienin kustannuksin olisi pystytty muuttamaan lieskauuniksi. Prosessiketjun toimivuusmahdollisuuksia heikensi myös se, että sodanjälkeistä säännöstelyn aikaa eläneessä maassa laitevalikoima oli kapea, jolloin jouduttiin ostamaan melkein mitä vain saatiin. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 59–62 ja 65)

7.3 Rikasteen esikäsitteleminen ennen syöttämistä uuniin

Rikasteen kuivaus osoittautui alussa hyvin ongelmalliseksi. Lähes absoluuttisen kuivan rikasteen kuljetusjärjestelmä oli myös vaikea saada toimimaan. Kuiva rikaste käyttäytyy melkein veden lailla. Kuivaamon laitekysymys onnistuttiin ratkaisemaan vasta, kun Porista metallisen nikkelin tuotannosta vapautunut pasutusrumpu-uuni ”Iita” voitiin siirtää Harjavaltaan kuparirikasteen kuivaukseen. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 64–65 ja Nirkko, ym. 1990, s. 179)

Koko prosessiketjun oli toimittava yhtä aikaa, koska kyseessä oli pyrkimys jatkuvatoimiseen prosessiin. Jos jossain tapahtui keskeytys tai laitehäiriö, niin se vaikutti heti koko systeemiin. Kuivausrummun toimintaa häiritsi se, että rikkidioksidia ja pölyä sisältäneet kuumat kaasut tukkivat putket. Lisäksi rikasteeseen jäi epäpuhtauksia ja karkeita kappaleita, jotka jouduttiin seulomaan pois. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 65–66)

Hienon rikasteen kuljettaminen ja edelleen syöttäminen tasaisesti liekkiuuniin oli myös hyvin haasteellinen tehtävä. Kuljettamiseen käytettiin redler-kolakuljetinta, jossa oli alussa useita toimintahäiriöitä rikasteen epätasaisen kuivuuden takia. Kuljettimen korjaustehtävät olivat erittäin ikäviä, koska kysymyksessä oli erittäin hienojakoinen ja kuiva rikaste. Pölyt ja kyseiseen tilaan päässeet rikkipitoiset kaasut tekivät työskentelyn hankalaksi ja epäinhimilliseksi. Käytössä oli vain alkeellisia teollisuusspriihin kastettuja turpasieniä hengityssuojaimiksi. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 65–66)

Redler-kuljettimen ongelmat onnistuttiin ratkaisemaan vasta muuttamalla kuljetusjärjestelmää monelta osin. Tähän tarvittiin myös laitevalmistajien apua. Kuljettimien avuksi rakennettiin lisäksi pneumaattinen kuljetin, jonka avulla kuiva rikaste nostettiin alakerran kuivausuunilta viidenteen kerrokseen redlerillä eteenpäin toimitettavaksi. (Heino 2001, Paavilainen 2002 ja Makkonen 2002)

Pölyn erotus kuivaamon kaasusta tapahtui sykloneilla. Kuiva ja hienojakoinen rikastepöly oli erittäin syttymisherkkää ja syttyi helposti palamaan sykloneissa (Heino 2001). Kuivan rikasteen tasainen syöttö uuniin ei myöskään tapahtunut kunnolla, sillä uuniin saattoi mennä kerralla useita tonneja rikastetta muodostaen kasan uunin pohjalle.

Rikaste- eli simpukkasyötin oli alkuaikojen murheenkryyni, jonka varsinkin korjaamon työntekijät saivat tuta nahoissaan. Syöttimen toimimattomuuden takia sitä jouduttiin jatkuvasti kokeilemaan pitkää yrityksen ja erehdyksen tietä pitkin. Prosessin nopean uuden käynnistyksen ja tulenkestävien vuorausten keston takia uuni pyrittiin pitämään mahdollisimman kuumana korjauksen aikana. Syöttimien poisoton ja takaisin laitton aikana reaktiokuilun päälle nousi kuumuus, rikkidioksidi- ja rikkidioksidipitoiset käryt ja pöly, koska uunissa ei pidetty jäähdyttävää vetoa päällä. Lukuisat olivat ne kerrat, jolloin syötintä kokeiltiin tehtaan varastoalueella. (Paavilainen 2002 ja Makkonen 2002)

7.4 Liekkisulatusuunin rakenne ja toiminta

Liekkisulatusprosessi on jatkuvatoiminen prosessivaihe, mutta alussa ei voitu puhua jatkuvatoimisuudesta. Ongelmia aiheutti ensisijaisesti rikasteen epätasainen syöttö ja siitä seurannut epätasainen palaminen. Rikasteen epätasaisesta syötöstä johtui myös seinälle kertyneet ja sinne sintraantuneet pahkat, jotka muuttivat uunin muotoa. Uunin muodonmuutoksen takia palaminen muuttui epätasaiseksi. (Särkikoski 1999, s. 138).

Alkuaikojen ongelmia olivat siis myös uunivuorauksen kuluminen. Vuorausta kuluttivat myös alussa usein käytetyt öljypolttimet. Myös liekkiuunin konstruktiossa havaittiin virheitä. Sen takia suppeneva reaktiokuilun kartio kului nopeasti puhki, mikä aiheutti vaarallisia vesi- ja sulavuotoja. (Särkikoski 1999, s. 138–139)

Tulenkestävien vuorausten kulumisen vuoksi liekkiuunin alkuaikoina jouduttiin korjausmuurauksia tekemään hyvin usein. Uunia ympäröivä metallinen mantteli rupesikin muistuttamaan tilkkutäkkiä, koska se jouduttiin aina polttoleikkaamaan auki ja sitten hit-

saamaan kiinni. Varsinkin uunin kuonaraja joutui hyvin koville, koska koko ajan pienessä liikkeessä ollut sula kuona/kuparikivi aiheutti eroosioilmiön kuluttaen tulenkestäviä muurauksia. Korjausmuurausten hankaluutta lisäsi se, että ne tehtiin usein kattilan ollessa hyvinkin kuuma, koska uunin uusi ajo haluttiin saada mahdollisimman nopeasti käyntiin. (Paavilainen 2002)

Liekkisulatusuunin ympärille ruvettiin laittamaan yhden työntekijän aloitteesta kuparista tehtyjä vesilaatikoita jäähdyttimiksi, minkä jälkeen tulenkestävien tiilien kestoikä kasvoi merkittävästi. Kun kuparinen jäähdytyslaatikko meni puhki, pystyttiin se kierrättämään konvertterin kautta takaisin kuparin valmistukseen. Parannusta tulenkestävien tiilien kestoon saatiin myös vaihtamalla tiilet toisenlaisiin (Särkikoski 1999, s. 138–139). (Paavilainen 2002)

Uuniuurausten jatkuva uudistaminen oli työntekijöiden kannalta hankala sekä epäinhimillinen työ. Erittäin vaikeaa oli myös ns. mustien kissojen eli uunin pohjalle kertyneiden rikastemassojen poistaminen. Ne aiheutuivat siitä, ettei rikaste palanut kunnolla, vaan putosi reagoimattomana alas uunin pohjalle. Niitä yritettiin poistaa kuumentamalla naftapolttimilla, mutta usein ne jouduttiin piikkaamaan käsin. (Heino 2001)

Piikkaamisen mahdollistamiseksi kasan päälle levitettiin hiekkaa, jonka päälle laitettiin lankut piikkaajien seisoa. Vaikka uuni tuuletettiin ja annettiin jonkin aikaa jäähtyä, jäi työskentelylämpötila vielä erittäin korkeaksi. Työskentelyolosuhteiden kuumuutta kuvaa se, että välillä kengänpohjatkin paloivat, sillä piikkaus oli aloitettava mahdollisimman nopeasti. Pohjalle kertyneet sulamattomat rikastemassat opittiin hajottamaan myös räjäytämällä, mikä helpotti toimintaa jonkin verran. (Heino 2001 ja Makkonen 2002)

Uunin toiminnan parantamiseksi kokeiltiin erilaisia keinoja magnetiitin pelkistämiseksi. Uuniin syötettiin mm. palamalmia ja sahajauhoja sekä koivutukkeja. Koivutukkien käytön tarkoitus oli Gora-uunista tutuksi tullut puulaaminen. Eri yritelmiä hyödyt kustannuksiin nähden jäivät kyseenalaisiksi (Poutanen & Kuisma 1994, s. 67).

Liekkiiuunissa oli jonkin aikaa myös konstruktio, jossa uunin pohjaosan loppupäähän rakennettiin seinämä, jonka taakse lentopölyn oli tarkoitus kertyä laskettavaksi pois eräänlaisen supilon kautta. Melko nopeasti sen käyttöönoton jälkeen huomattiin, ettei kaikki ole kunnossa, ja uunin pohjasta yritettiin irrottaa kappale piikkaamalla tilanteen korjaamiseksi. Tällöin työtä tehnyt mies putosi ja kuoli välittömästi sulan tullessa hänen päälleen. Myös kaksi muuta työntekijää loukkaantui vakavasti. Kyseinen onnettomuus ei voinut olla vaikuttamatta mielialoihin heikentäen entisestään jatkuvien takaiskujen sävyttämää ilmapiiriä (Poutanen & Kuisma 1994, s. 70, Nirkko ym. 1990, s. 181, Kankaanpää 2001, Paavilainen 2002 ja Makkonen 2002).

Työskentelyolosuhteet liekkiiuunin ympärillä ja sisällä olivat kuumuuden, raskasmetallipitoisen pölyn ja rikkidioksidipitoisten kaasujen takia mitä hankalimmat. Väkeviä poistokaasujakaan ei saatu aluksi tarpeeksi hyvin talteen. Luvutut valkoisissa hansikkaissa työskentelyn ajat olivat vielä kaukana edessäpäin (Poutanen & Kuisma 1994, s. 69). Pöly aiheutti silmien turvotusta, jonka lisäksi saattoi myös nenästä vuotaa verta (Makkonen 2002).

Vaikeudet seurasivat toistaan, mutta laitteiden toimiessa itse sulatusprosessi osoitti käyttökelpoisuutensa. Sitkeän puurtamisen ansiosta toimivuus parani ja käyntijaksot piteivät pikkuihljaa. Vaikka toimivuus paranikin, niin korjausmiehet olivat jatkuvassa valmiudessa lähtemään töihin myös vapaavuorosta. Ennen kuin päästiin jatkuvaan tuotantoon liekkisulatuksessa, jouduttiin koko sulatto käytännöllisesti katsoen rakentamaan

uudestaan. Ne kokeet, jotka koetehtaassa olivat jääneet tekemättä, tehtiin täyden mittakaavan liekkisulatusuunissa. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 68 ja 69.)

Vuonna 1954 solmittiin ensimmäinen lisenssikauppa japanilaisen Furukawa-yhtiön kanssa. Kyseisen firman edustajien läsnäolo tehtaalla aiheutti omat paineensa, koska menetelmän oli toimittava heidän seurattessaan tarkasti prosessin kulkua (Heino 2001). Lisenssikauppa oli kuitenkin omiaan vahvistamaan työntekijöiden uskoa siihen, että jotain uutta ja arvokasta oli saatu aikaan. Jatkuvien ongelmien kanssa taisteltaessa oli myös herännyt epäily siitä, saavutettiinkö uudella menetelmällä mitään etuja entiseen sähkösulatustekniikkaan verrattuna. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 68–72.)

7.5 Liekkisulatusuunin kaasujen lämmön talteenotto

Liekkisulatusuunin poistokaasujen lämmön talteenotto osoittautui alussa hankalimmaksi ongelmaksi, sillä suspensioteorian soveltamisen ohella lämmön hyväksikäyttö oli innovaation tärkein lenkki. Lämmönvaihtimen piti jäähdyttää poistokaasuja ja ottaa samalla talteen korkean lämpötilan energia, jotta sillä pystyttiin esilämmittämään palamisilma ja kuivaamaan rikaste. (Särkikoski 1999, s. 139–140)

Sulatuksen poistokaasut sisälsivät paljon rikkidioksidia, joka alemmissa lämpötiloissa voi muuttua rikkihapoksi puhumattakaan muista rikkidioksidin haittavaikutuksista. Isoksi ongelmaksi muodostuivat kaasun sisältämä pöly ja sulat pölypisarat, joiden olisi pitänyt jäädä liekkiuuniin. Pölyn talteenotossa onnistuttiin vasta 1953, jolloin saatiin ensimmäinen korkeassa lämpötilassa toimiva sähkösuodatin (Särkikoski 1999, s. 140).

Sähkösuodatin ei kuitenkaan ratkaissut palamisilman esilämmityksessä tarvittavan korkealämpötilaisen kaasun ongelmaa. Palamisilma piti lämmittää 500 °C:een, jolloin lämmitykseen tarvittavan kaasun piti olla sitäkin kuumempaa. Alussa käytettiin ruotsalaista säteilylämmönvaihtajaa ”Inkaa”, joka pian jouduttiinkin korvaamaan höyrykattilalla, joka aluksi toimi pelkkänä säteilylämmönvaihtimena. Tämäkin vaihe saatiin toimimaan kunnolla vasta sitten, kun siihen vaihdettiin konvektiolämmönvaihdin, jossa käytettiin kuulanokitusta (Poutanen & Kuisma 1994, s. 67 ja Kankaanpää 2001).

Rikkidioksidia sisältävän kaasun säteilylämpö oli tärkeä avain lämpöpintojen mitoittamiselle (Särkikoski 1999, s. 266). Laskelmat kattilapintojen mitoitukselle valmistuivat maaliskuussa 1951. Säteilykammion mitoitus perustui vuonna 1905 tehtyyn Goblentzin SO₂-säteilydiagrammiin (Särkikoski 1999, s. 266). Suunnitellun rakenteen ansiosta säteilykammioon saatiin sileät putkiseinämät, joissa ei ollut pölyä kerääviä loukkoja (Särkikoski 1999, s. 146).

7.6 Kuparikiven konvertointi Peirce-Smith -konvertterissa

Liekkisulatusuunia seurannut konvertointi Peirce-Smith-konvertterissa on panosprosessi, joka ei sellaisenaan aiheuttanut muulle prosessiketjulle ongelmia. Konvertteriin kupariksi siirretään avonaisissa senkoissa. Jo tässä siirtovaiheessa vapautuu rikkidioksidikaasua sulattohalliin ja sieltä edelleen ulos.

Vaikka konvertoinnissa ei teknisiä ongelmia juuri ollutkaan, niin sen sijaan työ- ja ympäristönsuojelullisia ongelmia oli sitäkin enemmän. Alkuaikoina konvertterien kaasun SO₂-pitoisuus oli niin alhainen varsinkin puhalluksen loppuvaiheissa, että se ei kelpannut rikkihappotehtaan raaka-aineeksi. Piippuunkaan sitä ei saatu kaikkia menemään, jolloin se olisi hajaantunut laajemmalla ja siten laimentunut. Konvertteripuhalluksien kaasut menivät suoraan tehdashallin kautta ulkoilmaan leviten siitä pikku hiljaa asutusalueen läpi tuulensuunnan mukaan. Voitiin siis puhua ”maakaasuista”. (Heino 2001)

7.7 Anodiuni ja anodivalu

Konvertterilta valmis blisterikupari vietiin valupadoissa jo Imatran tehtaalla käytössä olleeseen ns. Gora-uuniin (anodiuni), jossa kuparista poltettiin loppu rikki pois, minkä jälkeen siitä pelkistettiin vielä happi (Nirkko ym. 1990, s. 183). Uuniin puhallettiin naf-taa. Puulaukseen käytettiin koivutukkeja (Kankaanpää 2001).

Gora-uunimiesten työ oli rankkaa ja sen hankaluutta lisäsi varsinkin talvella se, että alkuun työskennellessä uunin vieressä tuli hiki ja sitten taas vetoisassa hallissa kylmä. Uunimiesten tehtäviin kuului lisäksi anodikuparin valu anodilevyiksi ja edelleen lastaus rautatievaunuun Porin elektrolyysitehtaalte vietäväksi (Kankaanpää 2001).

7.8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Työntekijöiden kärsivällisyys joutui kovalle koetukselle liekkisulatuksen kehittämisen ensimmäisinä vuosina. Uskoa ja luottamusta menetelmän läpimurtoon ei varmasti ollut edesauttamassa suunnittelijoiden ja tehtaan johdon vakuuttelut siitä, että kunhan prosessi saadaan kunnolla toimimaan, sulatossa voidaan työskennellä melkein pä valkoiset hansikkaat kädessä. Monien mielestä oppia haettiin veikkaamisen ja kokeilemisen myötä kanta-pään kautta. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 70–71)

Ennen kaikkea kunnossapito- ja korjausmiehet joutuivat lähtemään kaikkina vuoro-kauden aikoina selvittelemään uuden menetelmän oikkuja. Työsuojelulliset olosuhteet olivat alussa myös todella huonot. Alussa tapahtunut yhden henkilön kuolemaan ja kahden loukkaantumisen johtanut työtaturma vaikutti työskentelymotivaatiota heikentävästi. (Poutanen & Kuisma 1994, s. 69–70, Makkonen 2002 ja Paavilainen 2002)

Kuumissa ja muutenkin vaarallisissa olosuhteissa työskentely ei onnistunut heikkokuntoisilta eikä hätäilemällä, vaan kukin korjausvaihe vaati tarkan etukäteisharkinnan, josta myös työkavereiden kanssa keskusteltiin. Kutakin korjausvaihetta tehnyt ammattimies tiesi, miten se tarkalleen oli tehtävä. Työkalutkin olivat välillä niin kuumia, ettei niitä paljaassa kädessä voinut pitää. Ns. painopistekorjaukset hankalimmissa paikoissa olivat muutamien harvojen tehtäviä. Hyvän harkinnan, rauhallisen työskentelyn ja kovan kunnan ansiosta ei haastatelluille korjausmiehille isompia vahinkoja ja palovammoja satunut. (Makkonen 2002 ja Paavilainen 2002)

Ilman korjaamon työntekijöiden ja sulaton käyttömiesten sitkeää uurastamista ennakkoluulottomien insinöörien vetämä kehitysprojekti olisi todennäköisesti päätynyt aivan

erilaiseen lopputulokseen. Liekkisulatusmenetelmähän oli jo aiemmin keksitty, mutta sitä ei ollut saatu käytännössä toimimaan jatkuvatoimisesti (Poutanen & Kuisma 1994, s. 68 ja Särkikoski 1999, s. 22).

Maailmanlaajuinen sulfidisen kuparirikasteen sulatuksen tekninen ongelma ratkesi Suomessa 2. maailmansodan jälkeisen sähkö- ja polttoainepulan pakottamana. Keskeinen oivallus oli, että osa poistokaasujen mukana karkaavasta lämmöstä voitiin palauttaa sulatusprosessin alkuun. Keksinnön arvo kasvoi myöhemmin, kun maailmanlaajuisesti alettiin kiinnittää entistä enemmän huomiota energian säästöön ja ympäristötekijöihin. Liekkisulatukselta tuli Outokummulle kansainvälinen käyntikortti. (Mikkola 2002)

Liekkisulatusmenetelmän alussa mukana olleiden ja myöhempienkin vaiheiden työntekijöiden ansiot esittää tehtaan pitkäaikainen johtaja ja kehitysvaiheen sulattoinsinööri Toivo Toivanen seuraavasti (Poutanen & Kuisma 1994, s. 68): *"Liekkisulaton yhteydessä on aina puhuttu paljon keksinnöstä. Mielestäni keksintö todellisuudessa on se kokonaisuus, se kehitystyö, joka johti siihen, että sulatto saatiin toimimaan. Päästiin eteenpäin siitä, mihin ulkomaiset kilpailijamme kokeiluyrityksissään olivat joutuneet pysähtymään. Tämä osoittaa sitä suomalaista peräänantamattomuutta, hämmäläisyyttä, sanan parhaassa merkityksessä."*

Entinen Outokummun hallituksen puheenjohtaja, vuorineuvos Jorma Honkasalo sanoo seuraavasti Vuoriteollisuus-lehden (2003) haastattelussa: *"... Oma sulatto Harjavallassa toimi kehitys- ja markkinointityön keskipisteenä. Toivo Toivasen ja hänen joukkojensa panosta sulatolla ei voi yliarvioida."*

Monet näistä liekkisulatusmenetelmän kehittämisen perustyöntekijöistä olivat juuri aiemmin loppuneen sodan käyneitä miehiä, jolloin heille ei suurta hengähdystaukoa kahden ison ja merkittävän savotan välillä suotu. Sodan karaisemat miehet eivät kavahtaneet ankeita ja karuja työskentelyolosuhteita, joita alun pioneerivuodet toivat muassaan. Sodan aikana kotirintaman töistä vastannut nuorempi sukupolvi oli avainasemassa, kun elettiin menetelmän kehittämisen tärkeimpiä vuosia 1949–53. Haastattelussa korostui kovan fyysisen kunnon sekä maltin ja omakohtaisen ajattelun merkitys työtehtävien onnistumisen ja loukkaantumisten välttämisen takia.

Vaikeudet olivat niin moninaiset, ettei niitä pysty muut kuin itse tehtaalla työskennelleet tarkoin ymmärtämään. Kuparinvalmistusprosessissa syntyy raaka-aineiden koostumuksen takia myös paljon aineita, joiden haittavaikutusten astetta pystyy arvioimaan luvussa 6 esitettyjen luontokuvausten ja -kuvan perusteella, kun muistaa, että haitat yleensä pienenevät sen mukaan, mitä kauemmas mennään itse pistelähteestä.

Joitain haittavaikutuksia ei pysty edes siten arvioimaan. Esimerkiksi rikkidioksidi saat-
taa muuttua jo savukaasuputkistoissa rikkihapoksi muodostaen sinne kertyneen pölyn kanssa ihmisen terveydelle vaarallista rikkihappoliejua. Sulan metallin ja kuonan vaarallisuudesta tässä työssä on jo esitetty yksi ikävä esimerkki.

Isossa mittakaavassa tehdyistä kokeiluista ja seuranneista vaikeuksista voi hyvin ymmärtää sen, että metallurgisessa teollisuudessa ei mielellään tehdä suuria muutoksia, jos asioita ei ole tarkoin tutkittu ja edelleen varmistettu pilottikokeilla. Muutosten haitat vaikuttavat taloudellisuuteen puhumattakaan seuraamusvaikutuksista ihmisille ja heidän terveydelleen.

Kuparin liekkisulatusmenetelmän kehittämisen yksi onnistumisen edellytyksistä oli se, että yhteisössä otettiin käyttöön kaikki luovat henkiset voimavarat. Kehitystyössä loputtomien vaikeuksien kanssa taisteltaessa tuli selvästi ilmi ammattitaidon, viitseliäisyyden,

peräänantamattomuuden ja ahkeruuden merkitys. Liekkisulatusmenetelmän pääkehittäjä Petri Bryk oli roomalaisen runouden ihailija ja harrastaja. Asia- ja miesyhteyden takia lainattakoon Eino Leinon runoa ”Uran uurtajat” vapaasti editoituna kuvaaman kehitysvaiheen työntekijöiden ominaisuuksia ja peräänantamatonta puurtamista:

*Ne on edellä kävijät,
ja kykyjä he ovat.
Ei tyhjän säikkyjät
ja kourat sekä omantunnot kovat.*

*He kulkevat laaksossa, he taivaltavat lokaa,
ja harva vuoren alle edes ehtii.
He haaveksivat ruusuja ja saavat orjan-okaa,
mut metsä heidän mentyänsä lehtii.*



Kuva 4. Harjavallan tehdasalueen ympäristö vuonna 2000.

8 Kuparin liekkisulatusmenetelmän ympäristömyönteisyys

Mentäessä kohti teollista ekologiaa pitää tuotteen tai tuotantoprosessin ympäristömyönteisyys voida arvioida menetelmällä tai jollain muulla tavalla. Virallistettuja ekotehokkuuden indikaattoreita ovat MIPS (materiaalipanos per palvelusorite), CED (kumulatiivinen energiatarve), exergia-analyysi ja entropiatase (Gössling 2001). Myös ekologista selkäreppua käytetään tuotteen potentiaalisten ympäristövaikutusten arviointiin (Koskinen 2001, s. 38).

Arvioperusteena voidaan käyttää myös tuotantoprosessin raaka-aineen maksimaalista hyödyntämistä. Tällöin on otettava huomioon päätuotteen saannon lisäksi sivutuotteiden maksimointi ja jätteiksi luokiteltavien aineiden minimointi. Yksiselitteistä ei ole sekään, sillä tuotantoon voi kulua ylimääraistä energiaa, jolloin saavutettavat ekohyödyt voidaan menettää, jos tuottaminen on energieettisesti liian kallista.

MIPS kuvaa luonnonvarojen kokonaiskulutuksen ja aikaansaadun hyödyn suhdetta (Valtonen, ym. 2002 ja Schmidt-Bleek 2000). MIPS:ssä lasketaan yhteen kaikki tuotteen, prosessin tai palvelun luonnosta peräisin olevat materiaaliveirrat (Gössling 2001, s. 34). Mittari auttaa päätöksenteossa tuotesuunnittelijoita, kuluttajia ja muita, jotka ovat tekemisissä tuotannon ja kulutuksen kanssa.

CED on määritetty seuraavasti (Gössling 2001, s. 35): *Kumulatiivinen energiantarve on kaikkien energiantarpeiden summa, mikä arvotetaan primäärienergiaksi liittyen prosessiin tai palveluun tai tuotteen tuotantoon, käyttöön ja hävittämiseen.*

Exergia-analyysissä lasketaan systeemin menettämä energia (Gössling 2001, s. 36): *Materiaalin exergiavirta on työn määrä, joka voidaan saada siitä reversiibelillä vuorovaikutuksella ympäristön kanssa, kunnes täydellinen tasapaino ympäristön kanssa on saavutettu.*

Entropian tuotanto on kaikkien prosessien yleinen ominaispiirre, ja se voidaan suoraan nivoa resurssien huononemiseen, jolloin sitä voidaan käyttää mittamaan luonnonvarojen käyttöä (Gössling 2001, s. 32). Entropia-analyysiä voidaan käyttää elinkaariarvioinnin apuna ja täydentäjänä, sillä sen avulla voidaan lisätä määrällinen komponentti elinkaariarviointiin. Luonnonvaratehokkuutta mittaamalla avulla entropia-analyysi lisää myös taloudellisen näkökulman elinkaariarviointiin (Gössling 2001, s. 100).

Ekologinen selkäreppu tarkoittaa niiden tuotteen valmistuksessa liikutettujen materiaalien painoa, jotka eivät päädy valmiiseen tuotteeseen. Se on lähes sama kuin MIPS:ssä

käytettävä materiaalipanos sillä erotuksella, että materiaalipanokseen lasketaan myös tuotteen oma paino. (Koskinen 2001, s. 38)

Ympäristökuormituksella tarkoitetaan vesiin, ilmaan ja maaperään kohdistuvia päästöjä sekä kaikkea muuta ympäristöä eri tavoin kuormittavaa toimintaa. Maaperään kohdistuvat päästöt ovat monesti satunnaisia liittyen onnettomuuksiin tai prosessihäiriöihin, joten niistä ei ole olemassa tarkkailutietoa, kuten veteen ja ilmaan kohdistuvista päästöistä. (Dahlbo ym. 2003, s. 9)

Elinkaariarviointi (Life cycle assessment, LCA) on menetelmä tuotteen, toiminnon tai prosessin elinkaaren aikana aiheuttamien ympäristövaikutusten analysoimiseksi ja arvioimiseksi (Miettinen 1993, s. 13). Elinkaariarviota tehtäessä otetaan yleensä huomioon kaikki tuotteen, prosessin tai toiminnon osat, joita ovat raaka-aineiden ja energian ottaminen luonnosta sekä niiden kuljetus, valmistus, kuljetus, jakelu, käyttö, uudelleenkäyttö, huolto, kierrätys ja loppusijoittaminen (Gössling 2001, s. 99). Lisäksi elinkaariarvioinnissa arvioidaan ympäristökuormitusten aiheuttama ympäristövaikutus sekä esitetään parannustoimenpiteet.

Liitteessä 4 on esitetty osin kirjallisuuteen ja osin omaan kokeelliseen tutkimukseen perustuvat julkaisut ja oppimateriaalit, jotka muodostavat tämän tarkastelun kokemuspohjan ja syvyyden.

8.1 Kuparin liekkisulatusmenetelmän tuotteet ja poisteet

Kuparirikaste sisältää raskasmetalleja ja rikkiä, jotka luontoon suurina määrinä päästessään ovat ympäristömyrkyjä. Niiden mahdollisimman tarkka talteenotto on ratkaisevaa ympäröivän luonnon ja ihmisten hyvinvoinnille.

Outokumpu Harjavalta Metals Oy:n vuoden 1997 pää- ja sivutuotteet sekä niiden määrät on esitetty taulukossa 1 (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 31 ja 39). Rikkihapon ja rikkidioksidin sekä kaukolämmön tuotantolukuihin sisältyy myös nikkelin valmistuksesta saatavan rikkidioksidin ja vapautuvan energian tuotteistaminen, koska ne menevät samaan tuotantolinjaan. Nikkelin valmistuksesta vapautuvat määrät ovat kuitenkin huomattavasti pienemmät kuin kuparin valmistuksesta.

Taulukko 1. Outokumpu Harjavalta Metals Oy:n pää- ja sivutuotteet ja niiden määrät vuonna 1997 (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 31 ja 39).

Aine	Määrä
Kuparianodit	159 300 t
Kuparikatodit	116 000
(Nikkeli)	35 000 t)
Rikkihappo	582 000 t
Rikkidioksidi (nestemäinen)	35 900 t
Kaukolämpö	52230 MWh
Kulta	3 900 kg
Hopea	32 200 kg
Kuparisulfaatti	3 200 t
Nikkelisulfaatti	900 t
Seleeni	43 200 kg
Pt- ja Pd-rikaste	450 kg
Puunsuoja-aine (CCA)	1 740 t
Kuparitelluridi	4 200 kg

Taulukon 1 tuotevalikoimaan ei ole päästy nopeasti, vaan se on vaatinut pitkän ja perin pohjaisen kehitystyön ja laiteinvestointiohjelman. Kehitystyö jatkuu edelleen, sillä paremmalla arvotuotteiden erotus parantaa raaka-ainetehokkuutta ja sitä kautta yleensä myös tuottavuutta (Syrjä & Tuokkola 2001). Osa poisteista on sellaisia, että niille ei ole löydetty hyötykäyttöä tai ne kierrätetään takaisin johonkin yksikköprosessiin. Kierrätystä tapahtuu myös johonkin toiseen joko oman tai vieraan yhtiön valmistusprosessiin (taulukko 2) (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 31 ja 39).

Taulukko 2. Outokumpu Harjavalta Metals Oy:n kierrätetyt tai hyödyntämättömät poisteet vuonna 1997 (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 39 ja Pienimäki & Kuisma 2002).

Aine	Määrä	Kierrätyskohde tai käsittely
Kuonarikaste	46 000 t	Liekkisulatusuuni
Anodiromu	29 000 t	Peirce-Smith –konverteri
Laimea pesuhappo (n. 35 %)	33 000 t	Nikkeliliekkisulatusuuni ja Outokumpu Zinc
Kipsiferriarsenaattisakka	2000 t	Varastoallas
Elohopea-saoste	50 t	Outokumpu Zinc
Rikastushiekka	350 000 t	Varastoallas

Taulukossa 2 mainittava laimea pesuhappo väkevöidään erillisessä yksikössä, minkä jälkeen se pystytään paremmin käyttämään hyväksi. Laimeaa pesuhappoa hyödynnetään injektioimalla nikkeliliekkiiuunin nousukuiluun (Pienimäki & Kuisma 2002). Loput vietään Outokummun Kokkolan tehtaille hyödynnettäväksi. Syynä on se, ettei Harjavallan sulaton nikkel- ja kupariliekkiiuunin kaasujen käsittelyn sisältävä epäpuhtauskierto rikastu liikaa arseenin ja muiden harteaineiden osalta.

8.2 Ilman ja vesien suojele kuparin tuotannossa

Rikkidioksidipitoisen kaasun puhdistukseen liittyvä pölyjen kierrätys ja talteenotto esitetään pääpiirteissään luvun 7.1 kuvassa 3. Kuivausuunilta tuleva kaasu puhdistetaan pölystä pussisuodattimella. Osa liekkisulatusuunin ja konvertterien pölystä otetaan talteen jäte-
lämpökattiloissa, mutta tarkempi erotus tapahtuu sähkösuodattimilla. Lopullinen kaasun puhdistus ennen rikkihappoprosessia tapahtuu vesipesureilla. Anodiuunin kaasut puhdistetaan pussisuodattimilla kuten myös hajakaasupäästöt liekkisulatusuunista ja konvertterilta ennen niiden johtamista piippuun. Taulukossa 3 on rikkidioksidipäästöt ja pölypäästöjen sisältämät raskasmetallit ja niiden määrät vuosina 1985–1997 (Helmisaari 1999).

Taulukko 3. Rikkidioksidi-, pöly- ja raskasmetallipäästöt vuosina 1985–1997 ja As- ja Hg-päästöt vuosina 1993–1997 Harjavallan kupari- ja nikkelisulatoista (Helmisaari 1999).

Vuosi	SO ₂	Pöly	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	As	Hg
	tonnia/vuosi								
1985	8000	1100	98	47	216	55	1,7		
1986	7500	1200	126	46	232	60	7,1		
1987	7000	1800	140	96	162	94	3,9		
1988	8000	1000	104	45	103	48	3,2		
1989	9500	1000	80	33	190	70	3,6		
1990	8800	960	80	31	160	80	4,2		
1991	5200	640	80	14	90	45	1,6		
1992	4800	280	60	10	12	9	1,0		
1993	4700	250	50	7	13	6	0,9	11	0,015
1994	5000	190	40	6	6	3	0,6	5	0,011
1995	3300	70	17	1,4	1,7	0,5	0,02	0,2	0,001
1996	3200	195	49	1,2	6,3	1,9	0,23	4,2	0,014
1997	3000	300	70	3	14	4	0,3	10	0,004

Pölyjen talteenotolla saadaan raaka-aineille parempi hyödyntämisaste, sillä ne sisältävät paljon myös kuparia. Suuri osa talteen saduista pölyistä johdetaan takaisin liekkisulatusuunin syötteenä. Pölyjen talteenotolla on suuri vaikutus raskasmetallipäästöihin, koska raskasmetallit muodostavat merkittävän osan pölyistä. Kokonaispölypäästöt ovat vuoden 1985 arvosta 1100 t pudonneet vuoden 1998 arvoon 100 t (Outokumpu 1999a).

Prosessiparannusten ansiosta rikkidioksidin ominaispäästöt ovat laskeneet Harjavallassa 50 vuodessa jyrkästi. Vuonna 1950 rikkidioksidia pääsi karkuun yksi tonni valmistettua kuparitonnia kohden. 2000-luvun taitteessa ominaispäästö oli 16 kg SO₂/1 t Cu.

Kuparitehtaan metallipäästöt veteen ovat pudonneet merkittävästi systemaattisen työn tuloksena. Jätevesiä tulee rikkihappotehtaiden ja anodivalimon jäähdytysjärjestelmästä sekä kuonarikastamosta. Osa vesistä kierrätetään puhdistuksen jälkeen, mutta osa päästetään takaisin jokeen (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 36). Kokemäenjokeen päässeiden metallien kokonaismäärät ovat pudonneet vuoden 1975 luvusta 60 t vuoden 1998 lukuun 10 t (Outokumpu 1999a).

Putkivuotojen, valumavesien ja patomurtuman takia luontoon joutuneet jätevedet ovat myös saastuttaneet pohja- ja pintavesiä (Vasken Viesti 1996 ja Vasken Viesti 1998). Pääs-

töt ovat tapahtuneet joko vahingon tai onnettomuuden takia, jonka takia niitä ei käsitelty tässä. Määrien arviointikin on jälkikäteen hyvin hankalaa.

Harjavallan alueelta Kokemäenjokeen johdetusta metallikuormituksesta suuri osa sedimentoituu Harjavallan patoaltaan alaosan sekä patoaltaan alapuolisiin pohjakerrostumiin. Loppuosa kulkeutuu lähes kokonaisuudessaan joen suistoalueelle ja sedimentoituu sinne. Patoaltaan sedimenttiprofiilitutkimukset ovat osoittaneet, että suurimmillaan metallipitoisuudet ovat olleet 1960- ja 1970-luvuilla syntyneissä sedimenteissä. 1980-luvulta lähtien sedimentin metallipitoisuudet ovat pienentyneet merkittävästi. Harjavallan patoaltaan alapuolella kadmiumin pitoisuudet ovat tosin edellisestä seurannasta nousseet. (Tammiranta 2000, s. 42–43)

8.3 Päästöjen kertymä ja vaikutus Harjavallan kuparitehtaan ympäristöön

Raskasmetallit ja rikkidioksidi ovat saastuttaneet Harjavallan ympäristöä yli 50 vuoden ajan. Alkuaikoina ilman laatua ja lähialueen pilaantumista lisäsi se, että matalista piipuisista johtuen valtaosa päästöistä levisi suppealle alueelle, alle 5 km:n etäisyydelle tehtaasta (Helmisaari 1999). Suuri määrä pölypitoisia kaasuja tuli tehtaan alkuaikoina myös suoraan ns. konvertteripuhallusten ”maakaasuina” kulkeutumatta piipun kautta. Niiden määrää on vaikea arvioida.

Vaikka raskasmetallipäästöjen leikkaaminen näkyy erityisesti tehtaan lähialueella, niiden haittavaikutuksia on vaikea korjata, koska niitä on kertynyt maaperään vuosikymmenien ajan (Reinikainen 2000). Metsämaahan kertyneillä raskasmetalleilla on myrkkyyvaikutuksia maaperän eliöstöön, aluskasvillisuuteen ja puustoon. Ne myös syrjäyttävät maasta kasveille tärkeitä ravinteita. (Helmisaari 1999)

Sulaton lähialueella (0,5 km:n etäisyydellä) aluskasvillisuus puuttuu lähes kokonaan (Salemaa, ym. 1999). Puusto on pahoin vaurioitunutta, ja kasvu on pysähdyksissä (Kukkola & Helmisaari 1999). Selvästi se on nähtävissä Torttilan kankaalla. Syynä ovat maaperään kertyneiden raskasmetallien myrkkyyvaikutukset puiden juuriin ja maaperäeliöihin sekä raskasmetallien aiheuttama ravinteiden puute (Helmisaari 1999). Taulukossa 4 on esitetty raskasmetallien kokonaispitoisuudet metsämaan humuskerroksessa (Derome 1998).

Taulukko 4. Raskasmetallien kokonaispitoisuudet metsämaan humuskerroksessa vuonna 1991 eri etäisyyksillä Harjavallan sulatosta (Derome 1998).

Etäisyys		0,5	2	4	8
Kupari	mg/kg	5800	1650	660	150
Nikkeli,	„	460	220	120	40
Sinkki,	„	520	160	140	60
Lyijy,	„	310	130	95	65
Kadmium,	„	5	2	3	0,7

Maanpinnalle kertyy hajoamatonta orgaanista ainetta, koska kuollut kasviaines eli karike hajoaa hyvin hitaasti, sillä hajottajamikrobien kokonaismäärä on vähentynyt ja niiden elinkyky heikentynyt (Fritze, ym. 1999). Tämän takia maaperä on ravinnepöyhää ja raskasmetallit ovat syrjäyttäneet emäsravinteita maan pintakerroksessa. Aluskasvillisuus on vielä 2 km:n etäisyydellä sulatoista hyvin vähäistä, ja puuston kasvu on vähentynyt. Päästövähennyksistä huolimatta maaperään vuosikymmenien aikana kertyneet raskasmetallit vähenevät hitaasti ilman ennallistamistoimenpiteitä. (Helmisaari 1999)

Raskasmetallien kertymä sulaton ympäristöön on aiheuttanut kroonisia häiriöitä ekosysteemeissä estäen kasviyhteisöjen normaalin sukkession. Maaperän siemenvaranto on pienentynyt, ja nuoret siementaimet kuolevat usein saastuneessa maaperässä. Kasvustojen uusiutuminen on hidas prosessi, vaikka päästöt ovat vähentyneet. (Salemaa 2003, s. 36)

Rikkidioksidin päästövähennykset ovat parantaneet Harjavallan lähimetsien kuntoa. Maaperän pintaosan happamoitumisesta sulattojen rikkidioksidipäästöjen seurauksena ei ole merkkejä havaittavissa. Maaperän puskurikyky hapanta laskeumaa vastaan on tosin alentunut sulattojen lähiympäristössä (0,5 km), koska humuskerros on köyhtynyt emäsravinteista (kalsiumista, magnesiumista ja kaliumista). (Derome 1999)

Käsiteltäessä poistokaasut rikkihappotehtaassa päästään integroidulla ratkaisulla niin alhaisiin rikkidioksidipitoisuuksiin, että on kyseenalaista, kannattaako ulkoisella puhdistussysteemillä rikkihappotehtaan poistokaasun SO₂-pitoisuutta enää pienentää vai onko hyödyllisempää kohdentaa kehityspanostukset muihin kohteisiin. Asiaa tarkastellaan luvussa 8.5.

8.4 Liekkisulatusmenetelmän energiatehokkuuden parantaminen

Gössling (2001) on väitöskirjatyön ”*Entropian tuotanto luonnonvarojen käytön mittarina*” päätavoite oli käyttää entropian tuotantoa mittaamaan aineen ja energian tuotantoa. Sen yhtenä sovellutuskohteena oli kuparin valmistaminen liekkisulatusmenetelmällä sekä rikaste- että kierrätysraaka-aineesta (Gössling 2001, s. 59–92).

Työssä todettiin, että kuparirikasteen liekkisulatusmenetelmässä voidaan ekologista tehokkuutta parantaa estämällä vuotoilman virtaus liekkisulatusuuniin ja Peirce-Smith-konvertteriin sekä parantamalla molempien em. reaktoreiden lämmöneristystä lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Käytettäessä korkeatasoista kierrätysraaka-ainetta romun lisäyksen optimaaliseksi yksikköprosessiksi todettiin anodiuuni. Alhaisen kuparipitoisuuden romun (Cu < 30 %) todettiin vievän yhtä paljon luonnonvaroja kuin rikastepohjaisenkin kuparin valmistuksen. (Gössling 2001, s. 102)

Liekkisulatusmenetelmän exergia- ja entropia -analyysien ekotehokkuuserot ovat erittäin suuret, vaikka tulokset käytännössä ovat samalla alueella (Gössling 2001, s. 102–103). Entropia-analyysillä voidaan määrittää kuitenkin kierrätysmateriaalin puhtausraja, jonka yläpuolella kierrätys vielä kannattaa ekologisesti (Gössling 2001, s. 59–92). Entropia-analyysimenetelmän soveltamisen heikkoutena on se, ettei monimutkaisille prosesseille ole tarpeeksi luotettavaa teoreettisia lähtöainetietoja. Laskentamalli ei sisällä myöskään kaivostointia, malmin rikastusta ja rikasteen kuljetusta. Vertailu MIPS:iin ja CED:iin voidaan tehdä vain kvalitatiivisesti (Gössling 2001, s. 93).

8.5 SO₂ -päästöjen pienentäminen ulkoisella menetelmällä

Kuparin liekkisulatusmenetelmän nykyisellä prosessikonseptilla tuskin päästään rikkidioksidipäästöissä yhtään alemmaksi, joten mahdollinen päästöjen leikkaaminen pitää tehdä ulkoisella puhdistusprosessilla. Teollisen ekologian periaatteita noudattavat rikkidioksidin hyötymenetelmät voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: katalyyttisiin poistotekniikoihin, regeneratiivisiin ja ei-regeneratiivisiin hyötymenetelmiin.

Rikille ja sen yhdisteille löytyy menekkiä, ja näin on mahdollista ehkäistä myös rikki-kaivosten aiheuttamat ympäristöhaitat. Kokonaiselinkaareissa on kuitenkin huomioitava kuljetuksen aiheuttamat ekorasitteet, jolloin bulkkikemikaalin maantieteellinen hyötykäyttöalue pienenee merkittävästi (Torvela & Heino 1994, s. 39).

Rikinpoistojärjestelmien valintaan vaikuttavia keskeisimpiä tekijöitä ovat olleet järjestelmän käyttövarmuus, käytettävyys, rikinpoistoaste sekä investointi- ja käyttökustannukset (Koponen, ym. 1990, s. 12). Muita tärkeitä valintaperusteita ovat olleet rikinpoistotuotteen hyötykäyttömahdollisuudet, reaktiokemikaalien hyötykäyttöaste, laitoksen soveltuvuus tulevaisuuden tiukentuviin normeihin sekä tila- ja työnjärjestelykysymykset. Tavoitteena on ollut, että menetelmä on tekniikaltaan yksinkertainen ja hankintahinnaltaan edullinen.

Regeneratiivisten hyötymenetelmien investointi- ja käyttökustannukset ovat huomattavasti korkeammat kuin jätemenetelmien vastaavat (Hämälä 1991 ja Vataavuk 1990, s. 199). Jätehuolto ei ole tähän mennessä ollut kovinkaan tärkeä valintaperuste, mutta sen merkitys kasvanut ollen nykyään merkittävä valintaperuste (Hay, ym. 2003).

Jätemenetelmiä on muutettu hyötymenetelmiksi kehittämällä poisteille uusia käyttömahdollisuuksia. Esimerkiksi Suomessa kaikki rikinpoistokipsi käytetään rakennuslevyteollisuuden raaka-aineena (Heino 2001, s. 8). Tärkeä rikinpoistojärjestelmän talouteen vaikuttava tekijä on kaasun SO₂-pitoisuus; mitä väkevämpi kaasu sitä taloudellisempi talteenottomenetelmä on.

Merkittävä talteenottomenetelmien leviämisen este on ollut niiden monimutkaisuus (Slack & Hollinden 1975, s. 135). Yleensä SO₂:n poiston lisäksi on tarvittu myös sorbentin regenerointilaitos ja lopputuotteen talteenottoyksikkö. Tähän voi lisätä tuotannon kapasiteettivaihtelut, koska sillä on merkittävä vaikutus hyötymenetelmän taloudellisuuteen. Mitä monimutkaisempi rikinpoistoyksikkö on ylös- ja alasajoineen, sitä hankalampi sitä on sopeuttaa kapasiteetin vaihteluihin.

8.5.1 Rikin raaka-aineet ja käyttö

Maailman tämänhetkiseksi rikkivarannoksi arvioidaan 25·10⁹ t, joka on jakautunut seuraavasti: 4,0 % alkuainerikkinä, 4,1 % sulfidimalmina, 83,6 % sitoutuneena hiileen, 3,0 % raakaöljyssä ja 5,3 % maakaasussa (Nehb & Vydra 1994, s. 513). Rikin ja rikkiyhdisteidен merkittävä raaka-ainevaranto on siis hiili- ja öljyvoimalaitosten savukaasut sekä rauta- että ei-rautamalmien pasuttamoiden ja sulattamoiden laimeat jätekaasut. Rikki ja sen yhdisteet ovat tärkeä kemian teollisuuden raaka-aine.

Alkuainerikkiä käytetään vulkanoinnissa, torjunta-aineiden valmistuksessa, pehmentimenä muovien valmistuksessa, rikkiitiilien rakenneaineena, muurauslaastin jäykistimenä ja rikkiasfaltin valmistusaineena. Noin 10 % rikkiituotteiden kokonaismäärästä käytetään alkuainerikkinä. Alkuainerikin tärkein käyttömuoto onkin rikkidioksidin ja rikkihapon valmistus. (More 1984, s. 7–8)

Rikkidioksidia (SO_2) ja edelleen *rikkihappoa* (H_2SO_4) hyödynnetään esimerkiksi maaleissa ja paperin pinnoituksessa käytettävässä titaanioksidissa, alumiinisulfaatin valmistuksessa tai fosforihapon, kaliumkloridin, typpihapon ja ammoniakkin kanssa mm. ohran viljelyssä käytettävissä lannoitteissa. (Keiski, ym. 2002, s. 96, Müller 1994, s. 607–608 ja Müller 1994, s. 636)

Kalsiumsulfaatin eli *kidevedellisen kipsin* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) potentiaalisia käyttömahdollisuuksia ovat mm. rakennusaineteollisuus, geotekniset sovellutuskohdeet, tierakentaminen ja erilaiset täyttömäet sekä kaivosten täytöt (Ranta, ym. 1987, s. 63). Hyödyntäminen riippuu siitä, miten hyvin myrkylliset kemikaalit (kloridit, vesiliukoinen natrium- ja magnesium- sekä kalsiumsulfatti) voidaan poistaa (Wirshing & Knaut 1985, s. 820).

Ammoniumsulfaatti ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) on valkoinen, liukoinen ja kiteinen suola, jota käytetään enimmäkseen lannoiteteollisuuden raaka-aineena (Slack & Hollinden 1975, s. 172). Siinä oleva typpi on sellaisessa muodossa, että kasvit voivat käyttää sitä ravinteenaan. Rikki on myös helposti kasvien käytettävissä (Zapp 1985, s. 707). Ammoniumsulfaatin pienempiä käyttökohteita ovat ruoka-aineteollisuus, nahan parkkaus ja karjan ravinto.

8.5.2 Katalyyttiset rikkidioksidin poistotekniikat

Kaksoiskontaktimenetelmän perusvaatimuksena on kaasun riittävä SO_2 -pitoisuus, jotta se toimisi taloudellisesti kannattavasti. Pääoma- ja käyttökustannukset kasvavat jyrkästi, kun tulevan kaasun rikkidioksidipitoisuus laskee alle 8 %:iin (Hiltunen & Jokelainen 1993, s. 127).

Monsanto-yhtiön kehittämässä *Cat-Ox-prosessissa* kaasu puhdistetaan pölystä, minkä jälkeen vanadiinipentoksidikatalyytin avulla SO_2 hapetetaan SO_3 :ksi 510 °C:n lämpötilassa (Kohl & Riesenfeld 1985, s. 410). Saatu kaasu kulkee sitten täytekappaleabsorberin läpi, jossa SO_3 absorboituu väkevään rikkihappoon.

Haldor Topsøen märkäkatalyyttisessä menetelmässä rikkidioksidi hapetetaan katalyyttisesti rikkiatrioksidiksi (Durrani 1994). Korkeammassa lämpötilassa tapahtuvan hapetusprosessin jälkeen kaasu jäähdytetään, jolloin SO_3 hydratoituu rikkihapoksi (Ranta 1991). Kaasun lämpötila jää edelleen rikkihappokastepistelämpötilan yläpuolelle, mistä se jäähdytetään WSA (märkärikkihappo) -lauhduttimessa rikkihapoksi. Tuotteena saatavan rikkihapon väkevyys on 93 %.

8.5.3 Regeneratiiviset hyötymenetelmät

Lähes kaikille regeneratiivisille menetelmille on yhteistä se, että savu- tai jätekaasujen kiinteät komponentit pitää poistaa ennen varsinaista rikinpoistoprosessia. Myös kaasujen

vetykloridit ja muut halogeeniyhdisteet on poistettava, jos halutaan tuotteen olevan puhdasta jatkojalostettavaksi jonkin kemiallisen prosessin raaka-aineena. Tuotteina saadaan rikkidioksidia, alkuainerikkiä tai rikkihappoa.

Wellman-Lord on regeneratiivisista prosesseista laajimmin käytössä oleva puhdistusmenetelmä (Hämälä, ym., s. 119, Klingspor & Cope 1987, s. 28 ja Kohl & Riesenfeld 1985, s. 353). Sen lisäksi teollisen mittakaavan kynnyksen ylittäneitä sovellutuksia ovat magnesiumoksidiprosessi ja aktiivihiliadsorptio (Vatavuk 1990, s. 197, Klingspor & Cope 1987, s. 28 ja Kohl & Riesenfeld 1985, s. 403).

Vähemmän käytettyjä tai kehityksen alla olevia prosesseja ovat natriumkarbonaatti-, sitraatti- ja Conosox-prosessit (Vatavuk 1990, s. 197–198, Klingspor & Cope 1987, s. 35, Sporer 1992, Nissen, ym. 1985, s. 1 ja Kohl & Riesenfeld 1985, s. 356 ja 390). Outokummun Sulfred-prosessilla ei ole kaupallisia sovellutuksia (Tinnis 1991, Hämälä, ym. 1992, s. 120 ja Heino 1994, s. 21).

8.5.4 Ei-regeneratiiviset hyötymenetelmät

Ei-regeneratiivisille talteenottoprosesseille on yhteistä se, että savu- tai jätkeasujen kiinteät komponentit pitää poistaa ennen varsinaista rikinpoistoprosessia. Yleensä myös savu- tai jätkeasujen vetykloridit on poistettava.

Kalkkikiviabsorptiossa poistettavan kaasukomponentin ja kiintoaineen välinen reaktio tapahtuu nestefaasissa ja lopputuotteena saatava kidevedellinen kipsi jää märeksi (Bleym 1991, s. 205–206). Suurin osa märkäpesureista käyttää kalsiumkarbonaattia reagenssina (Vernon & Soud 1990, s. 29). *Walther-menetelmässä* rikkidioksidin sitominen kaasusta tapahtuu ammoniakkin vesiliuoksella, ja lopputuotteena on kiteinen ammoniumsulfaatti (Hämälä, ym. 1992, s. 121).

Vetyperoksidiabsorptiossa rikkidioksidi absorboituu vetyperoksidin vesiliuokseen, jolloin syntyy laimeaa rikkihappoa (Fabio & Deo 1996, Degussa 2004 ja Outokumpu 2004). Rikkihappotehtaan poistokaasun puhdistuksessa rikkidioksidin poistamisen sivutuote rikkihappo voidaan laittaa tehtaan päätuotteen joukkoon (Satta, ym. 1994a, s. 6–10.). Investointikustannukset jäävät melko alhaisiksi, mutta niiden vastapainona ovat käyttökustannukset, jotka aiheutuvat vetyperoksidin melko korkeasta hinnasta.

Toisin kuin monien muiden hapettavien tekijöiden vetyperoksidin hajoamistuotteena ei synny mitään varsinaista jätettä, vaan se hajoaa happamissa olosuhteissa aktiiviseksi hapeksi ja vedeksi. Kun rikkidioksidi absorboituu vetyperoksidin vesiliuokseen, tapahtuu liuoksessa rikkidioksidin ja vetyperoksidin välinen erittäin nopea reaktio (Fabio & Deo 1996):



Prosessi- ja ympäristötekniikan osastolla tehtyjen tutkimusten perusteella hyväksi ratkaisuksi rikkihappotehtaan poistokaasun puhdistukseen havaittiin vetyperoksidiabsorptio, sillä rikkidioksidin poistamisen sivutuote rikkihappo voidaan laittaa tehtaan päätuotteen joukkoon (Nelo 1993 ja Satta, ym. 1994a, s. 6–10.). Laimeuskaan ei näin ollen haittaa, koska imeytystapahtuman jälkeen rikkihappoa (98 p-%) joudutaan muutenkin laimentamaan ennen kuin se myydään tuotehappona (93–95 p-%).

Vetyperoksidiabsorption muita etuja ovat yksinkertaisuus ja helppokäyttöisyys. Investointikustannukset jäävät melko alhaisiksi, mutta niiden vastapainona ovat käyttökustannukset, jotka aiheutuvat vetyperoksidin melko korkeasta hinnasta.

Soldavinin, ym. (1989) mukaan reaktio on hyvin "tehokas". Vaikka rikkidioksidin osapaine kaasufaasissa olisi pieni, vetyperoksidin väkevyys liuoksessa hyvin alhainen (10–40 g/l) tai rikkihapon konsentraatio liuoksessa korkea (30–70 p-%), tapahtuu reaktio hyvin nopeasti. 0,5–1 sekunnin kuluessa on mahdollista saada aikaan täydellinen absorptio rikkihapoksi.

Pilot-mittakaavan kokeissa saadut tulokset ovat osoittautuneet erittäin hyviksi eikä teknisiä ongelmia vetyperoksidiabsorption hyödyntämiseksi havaittu (Satta, ym. 1994b, s. 27). Kokeet suoritettiin vastavirtaisesti toimivalla täytekappalekolonnilla. Koeajoilla tutkittiin kaasukuormitusalue 0,9–2,4 kg/(m²s) ja nestekuormitusalue 2,4–3,9 kg/(m²s), jolloin L/V-suhde oli välillä 1,2–4,2. Kaasun lineaarinopeus laskettuna tyhjälle kolonnille vaihteli välillä 0,8–1,8 m/s, jolloin kaasun viipymäaika täytekappalepatjassa oli 0,7–1,7 s. Kaasun rikkidioksidipitoisuus oli 350–600 ppm ja H₂O₂/SO₂-moolisuhde n. 1. Kolonniin tulevan kaasun ja nesteen lämpötila oli n. 30 °C.

Koko täytekappalepatjan korkeutta hyväksi käyttäen päästiin jo pienimmällä käytetyllä L/V-suhteella 95 %:n SO₂-reduktioon. Suuremmilla L/V-suhteilla saavutettiin jopa 98 %:n reduktio. Korkean reduktion ansiosta myös H₂O₂-konversio oli korkea, jolloin lähes kaikki absorbentti tuli käytettyä hyödyksi. Tämä on erityisen tärkeää vetyperoksidin korkean hinnan takia.

8.6 Rikin luonnolliset päästölähteet ja kriittinen kuormitus

Rikkiä pääsee ilmaan myös luonnollisista lähteistä, joita ovat mm. tulivuorenpurkaukset ja geoterminen toiminta yleensä. Yleisesti ottaen luonnolliset päästölähteet eivät ole teollistuneilla alueilla, mutta kaukokulkeutumisen takia myös niiden merkitystä pitää tarkastella. Toinen syy tarkasteluun on se, että luonto sietää jonkin verran rikkiä, koska se on luontoperäinen aine.

Kriittisellä kuormituksella tarkoitetaan suurinta epäpuhtauksien aiheuttamaa kuormitusta, jonka tarkasteltava kohde-ekosysteemi pitkällä aikavälillä sietää vaurioitumatta. Tähän mennessä on Euroopassa parhaiten kartoitettu happamoittavan ja rehevöittävän laskeuman kriittiset kuormitukset järville, metsämaille, luontaisille ekosysteemeille sekä muille mahdollisille kohteille. (Kriittinen kuormitus)

Freedmanin (1995, s. 13) mukaan suurimmat luonnolliset rikkilähteet ovat tulivuorenpurkaukset ja metsäpalot. Metsäpalojen aiheuttamia rikkipäästöjä ei ole pystytty määrittämään, mutta tulivuorenpurkauksista tulee vuodessa keskimäärin 12 miljoonaa tonnia rikkiä laskettuna. N. 90 % rikistä tulee rikkidioksidin muodossa ja n. 10 % rikkivetynä.

Verrattaessa ihmisen aiheuttamiin rikkidioksidipäästöihin, jotka ovat vuositasona 63–72 miljoonaa tonnia, luonnolliset päästöt ovat huomattavasti pienempiä. Vielä 1980-luvun puolessa välissä ihmisen aiheuttamat rikkipäästöt olivat luokkaa 130 miljoonaa tonnia, joista n. 94 % on peräisin maapallon pohjoiselta puoliskolta (Freedman 1995, s. 13–15). EU-maiden rikkidioksidipäästöt vuonna 1996 olivat 9 396 000 t, josta Suomen osuus oli 105 000 t (Luonnonvarat ja ympäristö 2000 -katsaus).

Tulivuorenpurkauksia paljon enemmän rikkivetyä vapautuu matalista rannikko- ja sisämaan vesien anaerobisista sedimenteistä. Dimetyylisulfidia purkautuu meren planktonista. Rikkiyhdisteiden luontopohjainen kokonaismäärä on luokkaa 100 miljoona tonnia rikiksi laskettuna. Ihmisen aiheuttamat rikkivetypäästöt ovat luokkaa 3 miljoona tonnia rikkinä laskettuna. (Freedman 1995, s. 15)

Rikkipohjaisten yhdisteiden globaalit päästöt rikiksi laskettuna ovat n. 251 miljoonaa tonnia, josta 59 % on luonnollisista lähteistä. Luontopohjaiset päästöt, jotka jakautuvat kutakuinkin tasan eteläisen ja pohjoisen pallonpuoliskon välille, osoittavat siis sen, että biosfääri kestää jonkin verran rikkiä (Freedman 1995, s. 15).

Ihmisen aiheuttamista rikkipäästöistä sen sijaan n. 94 % on peräisin pohjoiselta maapallon puoliskolta. Harjavallan kuparitehtaan rikkidioksidin kokonaispäästö määrä on tällä hetkellä n. 3000 tonnia vuodessa. Rikiksi laskettuna määrä on n. 1450 tonnia. Kuparitehtaan piippu on nykyään 140 metriä korkea, joten haitalliset kaasut leviävät melko kauas, jolloin herkeimmässä tilassa oleva lähialueen luonto saa olla rauhassa. Harjavallan kuparitehtaan päästöt ovat pohjoisen pallonpuoliskon päästöistä n. 0,007 promillea.

8.7 Johtopäätökset ja ympäristömyönteisyyden jatkokehitys

Kuparin liekkisulatusmenetelmän ympäristömyönteisyyden todentaminen tieteellisesti on vaikea tehtävä. Analyysit rajoittuvat yleensä yksittäistapauksiin, eivätkä ne pyri yleistyksiin (Schmidt-Bleek 2000, s. 106). Monimutkaisten ekologisten yhteyksien ja vaikutusten selvittäminen on vielä lähes mahdotonta (Wahlström 1994, s. 24).

Jotain välillisiä johtopäätöksiä liekkisulatusprosessin ympäristömyönteisyydestä voidaan esittää. Liekkisulatus teknologian kehittyminen maailman johtavaksi kuparinvalmistusmenetelmäksi perustuu menetelmän alhaisempiin käyttö- ja investointikustannuksiin sekä joustavuuteen raaka-aineiden suhteen. Kilpailukykyä on pidetty yllä jatkuvalla tuotekehitystyöllä (Juutinen & Viitanen 2000).

Yksi liekkisulatusmenetelmän etu on hyvä sivutuotetehokkuus lähtien liikkeelle siitä joustavuudesta, mikä liittyy raaka-ainepohjan kirjoon. Worldwatch-instituutin mukaan kulta on ehkäpä pahimmin ympäristöä vahingoittava kaivannainen, kun sitä tuotetaan jo 1800-luvulta peräisin olevalla syanidimenetelmällä (Järventaus 2003). Kun kultaa valmistetaan liekkisulatusmenetelmän sivutuotteena, ei tällaisia vaikutuksia ole. Kehitettyyn sivutuotevalikoimaan kuuluvat myös seleeni, telluuri, hopea, platina ja palladium (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 65).

Tarkasteltaessa Harjavallan kuparitehtaan ympäristökehitystä, voidaan todeta liekkisulatusmenetelmän jatkuvan parantamisen ansiosta tapahtunut kehitys, jolla on ollut jopa globaalia merkitystä ko. menetelmän yleisen käytön johdosta. Aiemmin Harjavallan kuparitehtaan aiheuttama kuormitus on heikentänyt tehtaan lähiympäristön metsäekosysteemin terveydentilaa, pohjaveden sekä maatalous- ja puutarhatuotteiden laatua. Viime vuosina kuormitus on kuitenkin merkittävästi pienentynyt ja ympäristön tilassa on tapahtunut merkittävää parantumista. (Tammiranta 2000, s. 85)

Erilaisten sulattojen ominais- ja kokonaisrikkidioksidipäästöjä vertailtaessa huomataan, että erot sulattojen välillä ovat todella suuret. Parhaat sulatat tänä päivänä sitovat yli 99,98 % tuottamastaan rikkidioksidista, jolloin rikkidioksidin ominaispäästöt jäävät alle

20 kg:aan tuotettua kuparitonnia kohden. Harjavallan kuparitehtaan liekkisulatusmenetelmän ominaispäästöarvo 16 kg SO₂/1000 kg Cu. Pienin ominaispäästöarvo (2,7 kg SO₂/1000 kg Cu) on saavutettu Outokummun liekkikonvertointimenetelmällä, joka on liekkisulatusmenetelmän evoluutioversio (Hanniala, ym. 2000). Sulattojen suurimmat ominaispäästöarvot ovat 800–4800 kg SO₂/1000 kg Cu (Lybeck, ym. 1999).

Globaalissa vertailussa savukaasujen puhdistus ja rikkidioksidin talteenotto sekä hyödyntäminen muiden prosessien raaka-aineena näkyvät erittäin selvästi. Vastaavan teollisuudenalan ympärillä Kuolan niemimaalla Venäjällä on maailman suurin raskasmetallien ja osin myös rikkidioksidin aiheuttama metsäkuolema-alue, joka on 600–1000 km². Toinen suuri alue löytyy Kanadan Sudburyssa, jossa metsäkuolema-alueen pinta-ala on n. 170 km². Harjavallan sulaton ympärillä oleva alue on alle 1 km², ja sekin on syntynyt tehtaan alkuaikoina. (Kilkkilä 2003)

Vetyperoksidiabsorptio täyttää hyvin monet rikinpoiston hyötymenetelmän ehdot. Siitä huolimatta sen käyttöön ottaminen liekkisulatusmenetelmää seuraavan rikkihappotehtaan poistokaasun puhdistamiseksi ei liene suositeltavaa taloudellisista eikä ekologisista syistä. Tällöin siihen menevät varat voitaisiin kohdentaa johonkin muuhun luonnon ja edelleen ihmisten kannalta tärkeämpään kohteeseen. Yksi merkittävimmistä ongelmista on hienorakeisen rikastushiekan hyötykäyttö. Kehitystyö ei ole mikään helppo tehtävä, sillä ongelma on yleismaailmallinen (Nurmi, ym. 1995, s. 22–23).

9 Harjavallan suurteollisuuspuisto teollisena ekosysteeminä

”Liekkisulatus kertoo historiallaan, kuinka innovaatio muovautuu yhteiskunnan muutosten mukana. Raamatun ajan vaskesta kupariin on pitkä matka, mutta molemmat todistavat materiaalisen tekniikan ja henkisen kulttuurin kulkevan rinnan. Aivan erityisellä tavalla liekkisulatus osoittaa, kuinka tärkeä teknologian muutoksen aikaansaaja ja kulttuurin muovaaja voima, energia on”.

- Tuomo Särkikoski

Outokummun kupari- ja nikkelisulattojen sekä Kemiran rikkihappotehtaan ympärille muodostunut Harjavallan Suurteollisuuspuisto koostuu kolmestatoista eri prosessi-, energia-, kuljetus-, jätehuolto-, korjaus-, vartiointi- ja turvallisuus- sekä ravitsemusalan yrityksestä. Noin 300 ha:n teollisuusalueella työskentelee yli tuhat henkilöä. Suurteollisuuspuistossa toimii myös yli sata alihankkijayritystä (Kemira GrowHow 2003).

Harjavallan Suurteollisuuspuisto arvioidaan Teollisena ekosysteeminä perustuen Korhosen (2001), Peckin (2002) sekä Lowen, Moranin sekä Holmesin (1997) teollisen ekosysteemin määritelmiin. Tehdasaluetta koskevan arvioinnin tietopohjana käytetään teollisuusalueen ja ympäristön kehityshistoriaa, prosessikuvauksia sekä tehdyn haastattelututkimuksen tietoja (Heino & Koskenkari 2004, s. 15–36).

Teollisia toimintoja koskenut haastattelututkimus suunnattiin viidelle eri prosessitekniikan alan yritykselle ((Boliden Harjavalta Oy (n. 320 työntekijää), OMG Harjavalta Nickel Oy (n. 200 työntekijää), Kemira GrowHow Oy Harjavalta (n. 140 työntekijää), Kemira Oyj Harjavalta (n. 20 työntekijää), Oy AGA Ab (n. 23 työntekijää)) sekä yhdelle energia-alan yritykselle Porin lämpövoimalaitos Harjavalta (n. 14 työntekijää)). Harjavallan kaupungille esitetyillä kysymyksillä kartoitettiin yhteiskunnan roolia ja suhtautumista suurteollisuuspuiston kehittämisessä. (Heino & Koskenkari 2004, s. 30–36).

Liitteessä 5 on esitetty osin kirjallisuuteen ja aiempiin tutkimuksiin perustuvat julkaisut ja oppimateriaalit, jotka muodostavat tämän tarkastelun kokemuspohjan ja syvyyden.

9.1 Harjavallan suurteollisuuspuiston kehitys

Harjavallan tehdasalueen alkuvaiheita ja ympäristökehitystä on aiemmin esitetty tarkemmin luvuissa 6, 7 ja 8. Taulukossa 5 on esitetty tärkeimpiä virstanpylväitä Harjavallan Suurteollisuuspuiston teollisessa kehityksessä. Kehityksen tärkein vuosiluku on 1949, jolloin kuparin liekkisulatusmenetelmä otettiin virallisesti käyttöön täydessä mittakaavassaan.

Kyseisen kuparinvalmistusmenetelmän positiiviset vaikutukset ovat olleet merkittäviä myös globaalissa mitassa suoden siten myös hyvät edellytykset teollisuusalueen jatkokehittämiselle. Suurteollisuuspuiston varsinaisen kehityksen kohti moni-ilmeistä yritys- ja tuotevalikoimaa voidaan sanoa lähteneen liikkeelle 1990 -luvun puolesta välistä.

Taulukko 5. Harjavallan Suurteollisuuspuiston historiaa (Tiirinen 1997 & Tammi 1998).

1944	Outokummun kuparitehdas siirretään Imatralta Harjavaltaan
1945	Outokummun kuparisulaton käynnistys Harjavallassa
1947	Kemiran rikkihappotuotanto aloitetaan Harjavallassa
1949	Outokummun kuparirikasteen liekkisulatus aloitetaan
1955	Kemiran tornirikkihappotehdas otetaan käyttöön
1959	Outokummun nikkelirikasteen liekkisulatus aloitetaan
1960	Outokummun nikkelikatodien tuotanto aloitetaan
1971	Outokummun happitehdas otetaan käyttöön
1975	Kemiran nestemäisen rikkidioksidin tuotanto aloitetaan
1976	Outokummun nestemäisen argonin tuotanto aloitetaan
1984	AGA:n kaasumaisen typen sekä nestemäisen hapen ja typen tuotanto aloitetaan
1987	Outokumpu ostaa rikkihappotehtaat Kemiralta
1990	Outokumpu Harjavalta Metals Oy yhtiötetään
1995	AGA:n vetytehdas otetaan käyttöön
1995	Ni:n valmistuksen DON-menetelmä käyttöön ja Ni-brikettien tuotanto aloitetaan
1998	Oy AGA Ab ostaa Outokummun omistuksessa olleet ilmakaasujen tuotantoyksiköt
2000	OMG ostaa Ni-tuotannon Outokummulta, OMG Harjavalta Nickel Oy perustetaan
2000	Porin Lämpövoima Oy:lle Outokummun Harjavallan tehtaiden voimalaitos
2002	OMG:n nikkelikemikaalituotanto aloitetaan
2004	Outokumpu Harjavalta Metals Oy osaksi uutta New Boliden -yhtiötä
2004	Boliden Harjavalta Oy aloittaa toimintansa

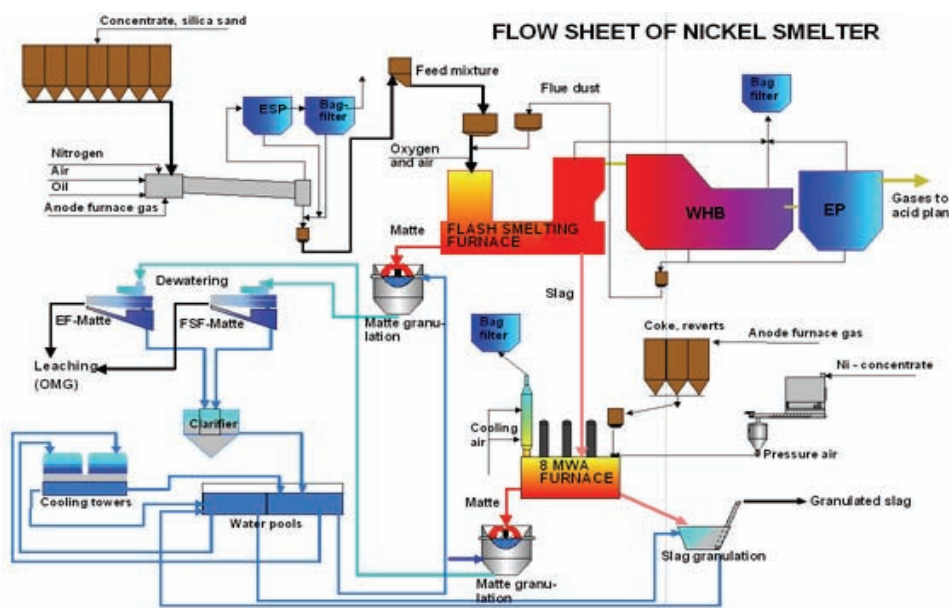
9.2 Boliden Harjavalta Oy

Boliden Harjavalta Oy:n Harjavallan tehtaiden päätuotteet ovat anodikupari ja sulatuspalvelut, joiden avulla valmistetaan nikkelikiveä. Sen lisäksi tuotetaan sivutuotteita ja lämpöenergiaa. Kuparianodien valmistus on selitetty tarkemmin jo luvussa 7.1.

Nikkelikivi valmistetaan Outokummun kehittämällä DON-menetelmällä (Heino 2002a & Knuuttila 1996). Tärkein nikkelimineraali on rautasulfidi, pentlandiitti, $((\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8)$,

jota useimmiten tavataan magnetiittikiisun (FeS) ja kuparikiisun (CuFeS_2) yhteydessä. Raaka-aineena käytettävä rikaste sisältää usein myös rautaa, kuparia ja kobolttia.

Nikkelisulaton raaka-aine on sekoitus nikkelirikasteita, kuonamuodostajana käytettävää kvartsihiekkää, pölypoistosta tulevaa kierrätysmateriaalia sekä sekundäärejä raaka-aineita. Seos kuivataan rumpukuivaajassa. Syöttöseos ja hapella rikastettu ilma syötetään liekkisulatusuunin reaktiokuihuun. Boliden Harjavalta Oy:n nikkelirikasteen DON-prosessi on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Boliden Harjavalta Oy:n nikkelisulaton prosessikaavio (Kotala 2004, s. 15).

Hapetus liekkiuunissa viedään niin pitkälle, että nikkelikiven rautapitoisuus on 2–4 %. Nikkeli ja kupari reagoivat edelleen sulassa vähemmän jalojen jäännössulfidien, kuten esimerkiksi raudan kanssa, muodostaen kiveä ja kuonaa. Saatu nikkelikivi granuloidaan liekkisulatuksen jälkeen ja toimitetaan hydrometallurgiseen vaiheeseen OMG Harjavalta Nickel Oy:lle. Nikkelikiven korkea nikkelipitoisuus aiheuttaa myös sen, että kuonan nikkelipitoisuus nousee ja sähköuunin pelkistystarve kasvaa. (Taskinen & Mäkinen 1996)

Samalla kun rikkipitoinen korkeanikkelinen kivi muodostuu, vapautuu myös rikkidioksidi. Prosessin lähes täysi autogeenisuus perustuu rikin ja raudan palamiseen. Liekkisulatusuunin kaasut jäähdytetään jätelämpökattilassa, jossa niiden lämpöenergia otetaan talteen. Rikkidioksidipitoinen kaasu käytetään joko rikkihapon tai nestemäisen rikkidioksidin valmistamiseen kuparivalmistuslinjan kanssa yhteisessä rikkihappotehtaassa, mistä kerrotaan lisää luvussa 9.3.

Sähköuuniin sulana laskettu liekkisulatusuunikuona pelkistetään koksilla. Rikkipitoinisuuden ylläpitämiseksi sähköuunin kivifaasiin injektoidaan nikkelirikastetta. Sähköuunin kivi granuloidaan veden avulla ja kuljetetaan nikkelitehtaan liuottamoon jalostettavaksi nikkeliä ja muiksi tuotteiksi OMG Harjavalta Nickel Oy:n tehdasyksikössä. Boliden Harjavalta Oy:n Harjavallan tehtaiden pää- ja sivutuotteet sekä niiden määrät vuonna

1997 (silloin Outokumpu Harjavalta Metals Oy) on esitetty taulukossa 6 (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 31 ja 39).

Taulukko 6. Boliden Harjavalta Oy:n Harjavallan tehtaiden pää- ja sivutuotteet ja niiden määrät vuonna 1997 (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 31 ja 39).

Aine	Määrä
Kuparianodit	159 300 t
Nikkeli ^(*)	35 000 t
Rikkihappo	582 000 t
Rikkidioksidi (nestemäinen)	35 900 t
Kaukolämpö	52230 MWh

^(*)Nyttemmin nikkeli-tuote on muuttunut nikkelikiveksi, jonka määrä on n. 75 000 t. Nikkelikivi menee OMG:lle jalostettavaksi nikkelituotteiksi.

Taulukossa 7 on esitetty Boliden Harjavalta Oy:n kierrätetyt tai hyödyntämättömät poisteet (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 39, Riekkola-Vanhanen 1999b, s. 30 ja Pienimäki & Kuisma 2002).

Taulukko 7. Boliden Harjavalta Oy:n Harjavallan tehtaiden kierrätetyt tai hyödyntämättömät poisteet vuonna 1997 (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 39, Riekkola-Vanhanen 1999b, s. 30 ja Pienimäki & Kuisma 2002).

Aine	Määrä	Kierrätyskohde tai käsittely
Kuonarikaste	46000 t	Cu-liekkisuuni
Laimea pesuhappo (n. 35 %)	33000 t	Ni-liekkisuuni ja Boliden Kokkola Oy
Kipsiferriarsenaatti	2000 t	Varastoallas
Elohopearikaste	50 t	Boliden Kokkola Oy
Rikastushiekka	350000 t	Varastoallas
Nikkelikuona	150000 t	Osin hiekkapuhallus ja maantäyttö sekä loppu varastokasaan

Harjavallan sulaton anodikupari jatkojalostetaan kuparikatodeiksi Porissa sijaitsevassa kuparielektrolyysissä. Elektrolyysiprosessin sivutuotteina saadaan kultaa, hopeaa, kupari- ja nikkelisulfaattia, seleeniä, platina- ja palladiumrikastetta, CCA-puunsuoja-ainetta sekä kuparitelluridia. Liukenematon osio anodeista palautetaan Harjavallan sulaton konverterivaiheeseen (Riekkola-Vanhanen 1999a, s. 31).

9.3 Porin Lämpövoima Oy:n Harjavallan yksikkö

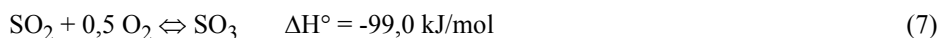
Sekä kupari- että nikkeliliekkisulatusuunien poistokaasut johdetaan jätelämpökattilaan eli lämmöntalteenottokattilaan ja sieltä edelleen sähkösuodattimen kautta rikkihappotehtaal-le (Riihilahti 1996, s. 12). Liekkisulatusuunin kaasu sisältää myös kiintoainepartikkeleita sekä höyrystyneitä yhdisteitä. (Luomala 2002 & Heino 2002b)

Lämmöntalteenottokattila koostuu säteily- ja konvektio-osista, joissa hyödynnetään kaasujen ja kaasussa olevien pölypartikkelien lämpö. Kaasun lämpötila sen saapuessa

jätelämpökattilaan on 1200–1400 °C. Kattilan säteilyosan tarkoitus on jäähdyttää kaasu alle pölyn sintraantumislämpötilan (n. 650 °C), jolloin partikkelit jähmettyvät, mutta eivät sintraudu ja tuki putkistoja. Konvektio-osassa kaasut jäähdytetään 350–450 °C:een. (Luumala 2002)

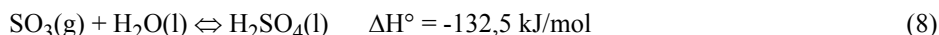
Porin Lämpövoima Oy:n Harjavallan voimalaitos toimittaa jätelämpökattiloille syöttöveden. Kattiloiden kehittämä höyry johdetaan voimalaitokselle jaettavaksi tehdasalueen yrityksille. Lisähöyry alueelle tuotetaan voimalaitoksen höyrystyskattilassa. Ylijäämähöyry on mahdollista tulistaa ja kehittää sähköksi 6,3 MW:n lauhdeturbiinilla (PLV 2003a). Rikkihapon valmistusprosessi kuuluu Boliden Harjavalta Oy:lle, mutta Porin Lämpövoima Oy toimittaa vapautuvan lämmön prosessi- ja kaukolämpönä tehdasalueen kuluttajille sekä Harjavallan kaupungille.

Rikkidioksidipitoiset kaasut puhdistetaan pesuhapon ja sähkösuodattimien avulla pölystä. Näin saatu kaasu kuivataan väkevän rikkihapon avulla ennen sen johtamista vanadiinipentoksidi-katalyytillä täytettyyn kontaktilaitteeseen. Kontaktilaitteessa tapahtuu rikkidioksidin hapetus rikkitrioksidiksi (Heino 2002b):



450–590 °C:n lämpötilassa tapahtuva hapetusreaktio on voimakkaasti eksoterminen, joten prosessilämpöä voidaan hyödyntää mm. korkeapainehöyryn tuottamisessa.

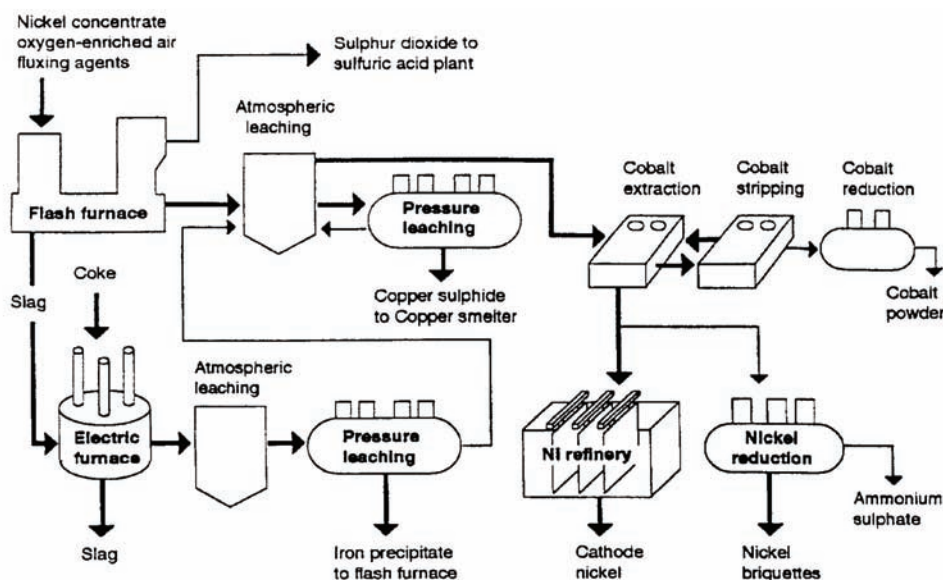
Kontaktilaitteesta tuleva SO₃ imeytetään rikkihappoon, jonka väkevyys on 98,5 %. Väkevän imeytyshapon käytöllä ehkäistään rikkihapposumun syntyminen. Myös voimakkaasti eksotermisestä imeytysprosessista saadaan energiaa talteen:



Porin Lämpövoima Oy:n tuotteita ovat myös suolaton ja saostettu vesi sekä talousvesi. Voimalaitoksella tuotetaan myös tehdasalueella tarvittava paineilma. (PLV 2003a)

9.4 OMG Harjavalta Nickel Oy

OMG-yhtymä osti Outokummulta nikkelin tuotannon vuonna 2000. Sen takia esitettävät vuoden 2002 tuotantoluvut ovat ristiriidassa taulukon 2 lukujen kanssa. Vuonna 2003 nikkelikemikaalien osuus nousi hiukan, koska nikkelikemikaalitehdas käynnistettiin vasta vuoden 2002 puolessa välissä, mutta muuten tuotantotaso vastaa vuoden 2002 tasoa. OMG Harjavalta Nickel Oy:n pääprosessi on esitetty kuvassa 6 (Heino 2002a).



Kuva 6. Nikkelikiven valmistuksen DON-prosessi ja nikkelin hydrometallurginen talteenotto (Heino 2002a).

Sekä liekkiuuni- että sähköuunikivi jauhetaan erikseen kuulamylyissä märkäjauhatuksena, jonka jälkeen ne liuotetaan sekä atmosfääri-liuotuksessa että autoklaaviliuotuksessa rikkihapon vesiliuokseen happikaasun avulla.

Sähköuunikiven liuotuksesta saatava tuoteliuos yhdistetään liekkiuunikiven liuotuksen tuoteliuokseen. Liuotuksen jälkeen nikkelisulfaattiliuos johdetaan neste-neste -uutolla tapahtuvaan kobolttin poistoon. Koboltti siirtyy orgaaniseen liuokseen neljässä vastavirtaan tapahtuvassa uuttovaiheessa (Knuutila, ym. 1996). Orgaanisesta uuttoliuoksesta koboltti stripataan happoliuoksella vesifaasiin, josta koboltti saadaan talteen kobolttisulfaattiliuoksena. Liuos toimitetaan jatkojalostettavaksi OMG Kokkola Chemicals Oy:lle.

Liuoksesta, josta koboltti on poistettu, nikkeli voidaan pelkistää joko elektrolyytisesti tai vetypelkistyksellä. Elektrolyytisessä pelkistyksessä nikkelisulfaatti pelkistetään sähkövirran avulla liukenemattomia lyijyanodeja käyttäen metalliseksi nikkelikatodiksi. Anodisena reaktiona on hapen muodostuminen, jolloin rikkihappoa muodostuu ekvivalentti määrä saostettua nikkeliä kohden. Kokonaisreaktio on (Heino 2002a):



Toinen osa nikkeli-liuoksesta johdetaan pelkistysprosessiin, jossa nikkelin talteenotto tapahtuu suoralla vetypelkistyksellä ammonidusta sulfaattiliuoksesta. Vetykaasu pelkistää nikkelin metallipulveriksi korkeassa lämpötilassa ja paineessa (Heino 2002a):



Vetypelkistyksestä saatava nikkeli-pulveri pestään, kuivataan ja briketöidään. Sivutuotteenä syntyvä ammoniumsulfaatti kiteytetään pelkistyksen lopputuoteliuoksesta neljässä tyhjäkiteytymässä. Noin puolet kiteytetystä ammoniumsulfaatista kierrätetään takaisin vety-

pelkistykseen syöttöliuoksen valmistukseen, ja toinen puoli kuivataan myytäväksi tuotteeksi. Ammoniumsulfaatin mukana poistuu suurin osa nikkelitehtaan rikistä. Taulukossa 8 on esitetty vuoden 2002 tuotantoluvut (Haapala 2003). Taulukossa 9 on esitetty vuoden 2002 hyödyntämättömät poisteet (Hämäläinen 2003).

Taulukko 8. OMG Harjavalta Nickel Oy:n tuotantoluvut vuonna 2002 (Haapala 2003).

Aine	Määrä
Nikkelikatodit	18500 t
Nikkelibriketti ja -pulveri	31300 t
Nikkelihienopulveri	280 t
Nikkeli-liuos	3400 t
Nikkelikemikaalit	1847 t

Lisäksi tuotetaan ammoniumsulfaattia.

Taulukko 9. OMG Harjavalta Nickel Oy:n hyödyntämättömät tai kierrätetyt poisteet vuodelta 2002 (Hämäläinen 2003).

Aine	Määrä	Kierrätyskohde tai käsittely
Autoklaaviliuotusjäähennös	19000 t	Cu-liekkiiuuni
Rautasaoste	19300 t	Varastoallas

9.5 Kemira GrowHow Oy:n ja Kemira Oyj:n Harjavallan tehtaat

Kemira GrowHow Oy:n Harjavallan tehdasalue muodostuu Kemiran GrowHow Oy:n ja Kemira Oyj:n Harjavallan tehdasyksiköistä. Kemira Oyj:n Harjavallan yksikön päätuote on alumiinisulfaatti. Alumiinisulfaatin valmistus tapahtuu antamalla alumiinihydroksidin ja rikkihapon reagoida keskenään. Alumiinisulfaattia valmistettaessa alumiinihydroksidi $\text{Al}(\text{OH})_3$ syötetään reaktoriin, jossa on laimennettua rikkihappoa. Reaktorista sula alumiinisulfaattimassa valutetaan teräksiselle jäähdytysihnnalle, jolla alumiinisulfaatti kiteytyy. (Hase, ym. 1998, s. 106–107)

Suurin osa alumiinisulfaatista käytetään paperiteollisuudessa paperimassan peittä-aineena ja juomavesien käsittelyyn. Myös nahka- ja väriaineteollisuus käyttävät alumiinisulfaattia. Tehtaassa voidaan valmistaa myös rauta- ja silikapitoista alumiinisulfaattia, jonka pääkäyttö on jätevedenpuhdistuksessa (Hase, ym. 1998, s. 106)

Alumiinisulfaatin valmistuksen ja toimituksen lisäksi Harjavallan Kemira Oyj:n vastualueeseen kuuluu rikkihapon ja rikkidioksidin välitystoiminta. Vuoden 2002 toimitusmäärät on esitetty taulukossa 10. (Kemira 2003)

Taulukko 10. Kemira Oyj:n Harjavallan yksikön toimitusmäärät vuonna 2002 (Kemira 2003).

Alumiini-suolat	68 000 t/a
Rikkidioksidi	40 000 t/a
Rikkihappo	356 000 t/a

Kemira GrowHow Oy:n Harjavallan tehtaas valmistavat ureafosfaattia, metyleeniureaa, kompaktoimalla rakeistettuja lannoitteita sekä vesiliukoisia kasvihuonelannoitteita. Erikoislannoitteet toimitetaan elintarvikeketjuun kuuluville asiakkaille sekä kotimaan että viennin tarpeisiin. Eri lannoitelajikkeet ja pakkauskoot laskien toimipaikalla tuotetaan yli 400 tuotetta, ja pienin toimitettava erikoislannoite-erä on 500 kg. Lannoitteiden kokonais-tuotanto on 70 000 t/a. Lisäksi tehtaalla alueella varastoidaan ja toimitetaan edelleen ammoniakkia. (Kemira 2003)

9.6 Oy AGA Ab:n Harjavallan yksikkö

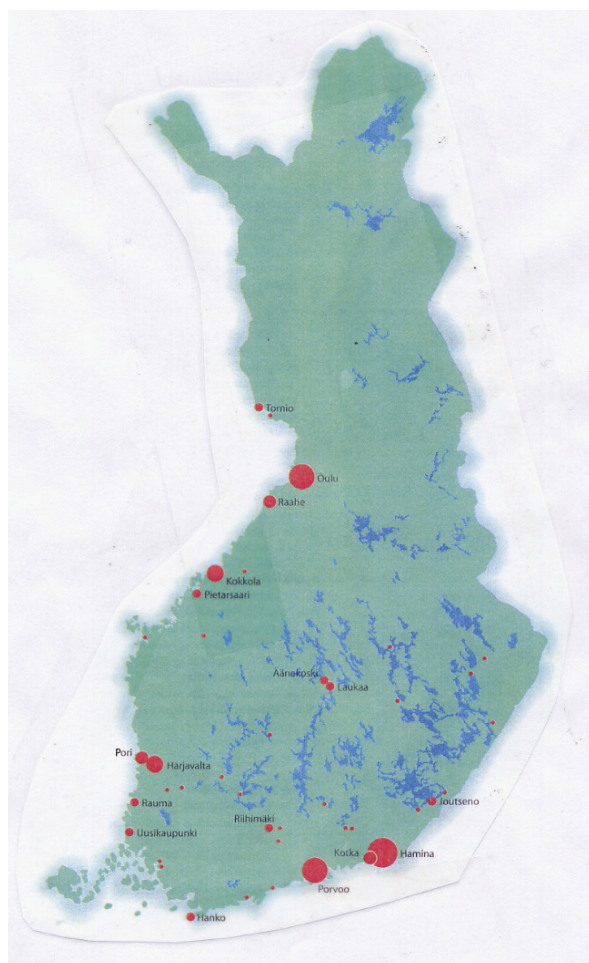
Oy AGA Ab:n Harjavallan yksikkö valmistaa kaasumaista happea, typpeä ja vetyä Outokummun kupari- ja nikkelituotannon sekä OMG:n nikkelituotannon tarpeisiin. Sen lisäksi yksikkö valmistaa ja toimittaa sekä nestemäisiä ilmakaasuja happea, typpeä ja argonia että kaasumaista vetyä yhtiön muille asiakkaille. Oy AGA Ab:lla on Harjavallassa kolme ilmakaasu- ja kaksi vetytehdasta. (Tammi 1998)

Ilmakaasutehtaan raaka-aineena on ilma, joka monimutkaisten suodatus-, paineistus- ja jäähdytysvaiheiden jälkeen saadaan nesteytymään. Tislaus erotusmenetelmänä perustuu nesteytettyjen kaasujen kiehumispiste-eroihin. Typen kiehumispiste on -196 C, joten se höyrystyy ensimmäisenä. Seuraavaksi höyrystyy argon (-186 C) ja jäljelle jää nestemäinen happi, jonka kiehumispiste on vain hieman argonia korkeampi (-183 C). (Ilmakaasujen valmistus 2003)

Vedyn valmistusprosessi perustuu teollisuusbensiniin hajottamiseen höyryreformointitekniikalla. Tulistettu syöte johdetaan reformeriuuniin, jossa syöte hajoaa korkeassa lämpötilassa nikkelipohjaisten katalyyttien vaikutuksesta. Näin saatu, runsaasti vetyä sisältävä kaasu puhdistetaan molekyylliseulatyypissä adsorberissa. Reformeriuunin lämmityksen savukaasuja käytetään hyväksi syötteen, veden ja polttoilman esilämmitykseen sekä höyryn tuottamiseen ja tulistukseen, ennen kuin savukaasut johdetaan ulos. Suurteollisuuspuistoalueen käyttöpaikoille happi, typpi ja vety kuljetetaan kaasumaisina putkilinjoja pitkin. (Turvallisuusohje)

9.7 Suurteollisuuspuiston onnettomuus- ja suuronnettomuusriskejä

Turvatekniikan keskuksen mukaan Suomessa on 79 teollisuuslaitosta, joita valvotaan suuren onnettomuusriskin takia. Kuvassa 7 on esitetty vaarallisten aineiden valmistuksen, varastoinnin, käytön ja kuljetusten riskilaitosten sijainti Suomessa. Haminassa on seitsemän riskilaitosta, kun taas Porvoossa ja Oulussa on kuusi riskilaitosta. Muita vähintään kolmen riskilaitoksen paikkakuntia ovat Harjavalta, Kokkola ja Raase. (Repo 2001 & Pihlava 2006)



Kuva 7. Riskilaitosten sijainti Suomessa (Repo 2001).

Harjavallan Suurteollisuuspuiston alueella valmistetaan, käytetään ja varastoidaan sekä kuljetetaan isoja määriä vaarallisia aineita, joista mainittakoon mm. sula kupari ja sula kuona, nestemäinen ja kaasumainen happi, teollisuusbensiini, vety, rikkidioksidi, rikkivety, rikkihappo, oleum, rikkitrioksidi ja ammoniakki (Turvallisuustiedote 2001). Tehdasalueen riskikohteita ovat (Heino & Koskenkari 2004, s. 27–28):

- Liekkisulatusuunit, Peirce-Smith-konvertteri, anodiuuni ja sähköuuni,
- Sula kuparimetalli, nikkelikivi ja kuona,
- Ilmakaasutehtaat,
- Hapen valmistus, varastointi, käyttö, putki-, auto- ja junakuljetus nestemäisenä,
- Teollisuusbensiinin kuljetus tehtaalle, purku, varastointi ja käyttö,
- Vedyn valmistus, varastointi, putkikuljetus, käyttö sekä autokuljetus,
- Ammoniakin junakuljetus tehtaalle, purku, varastointi, putkikuljetus ja käyttö,
- Nikkelisulfaatin vetypelkistys,
- rikkihapon valmistus, varastointi, käyttö, lastaus, putki-, auto- ja junakuljetus,

- Rikkidioksidin valmistus, putkikuljetus, varastointi, lastaus, auto- ja junakuljetus,
- Rikkitrioksidin valmistus rikkihapon valmistuksen välituotteena,
- Oleumin valmistus, varastointi, lastaus ja kuljetus,
- Kuparin hienokuonan eli rikastushiekan varastointi.

9.8 Harjavallan Suurteollisuuspuisto teollisena ekosysteeminä

Kohdeyrityksille suunnatun haastattelulomakkeen kysymykset koskien Harjavallan Suurteollisuuspuistoa ja sen toimintaa ovat liitteessä 6. Kyselyn vastaukset on esitetty yhteenvedonomaaisesti liitteessä 7. Harjavallan kaupungille suunnatun haastattelulomakkeen kysymykset ovat vastaavasti liitteessä 8 ja kyselyn vastaukset on esitetty yhteenvedonomaaisesti liitteessä 9.

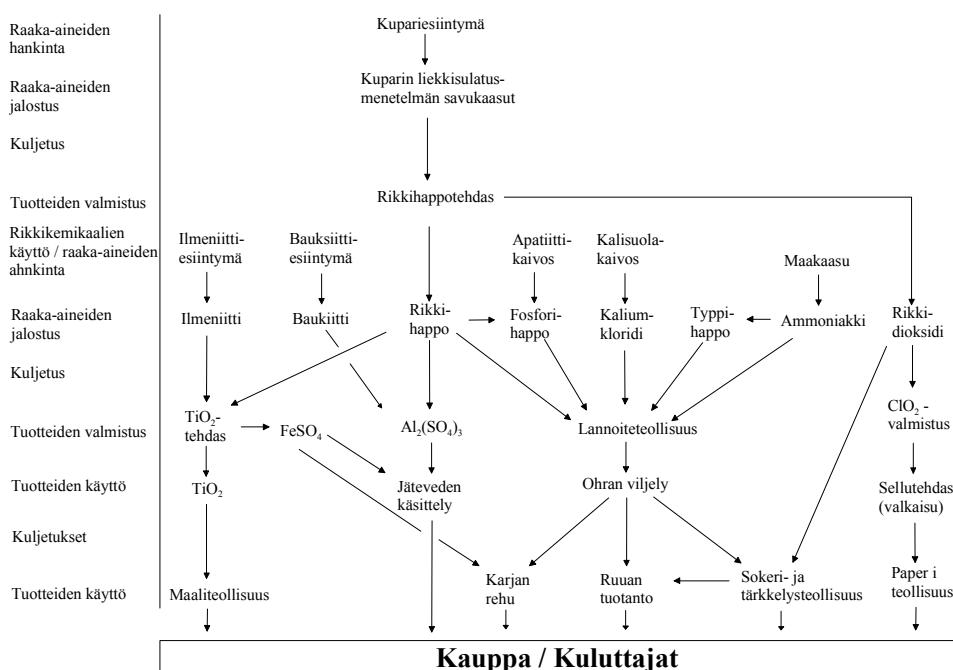
Haastattelututkimuksesta, teollisuusalueen ja ympäristön kehityshistoriasta sekä prosessikuvauksista saatu tieto on jaoteltu neljään alalukuun, jotka perustuvat Korhosen (2001) neljään teollisen ekosysteemin periaatteeseen.

9.8.1 Suurteollisuuspuiston materiaalin ja energian hyötykäyttö

Suurteollisuuspuiston yksi parhaimmista ominaispiirteistä on sekä kupari- että nikkelirikasteen liekkisulatusmenetelmässä ja edelleen rikkihapon valmistuksessa syntyvän ylijäämälämpöenergian hyödyntäminen. Vuonna 2002 Porin Lämpövoima Oy:n tuottama prosessiylijäämälämpöenergian määrä oli 443 GWh (PLV 2003b, s. 13).

Merkittäväksi asiaksi on osoittautunut liekkisulatusmenetelmän poistokaasun puhdistaminen ja rikkidioksidin talteenoton parantuminen. Kuvassa 8 on esitetty kuparimalmin sisältämän rikin elinkaari, minkä mahdollistaa poistokaasusta puhtaana talteen saadun rikin hyödyntäminen muiden prosessien raaka-aineena myös suurteollisuuspuiston ulkopuolella (Heino & Koskenkari 2004, s. 7).

Rikkidioksidi on erittäin monipuolinen raaka-aine useissa kemian teollisuuden prosesseissa. Lopputuotteita tarkastellessa voi todeta rikin kulkevan maasta maahan eli pitkän tien louhokselta peltoon, jonka kautta se vaikuttaa välillisesti myös ruokapöydän antiimiin (Keiski, ym. 2002, s. 96).



Kuva 8. Savukaasun rikkidioksidin jalostus ja käyttö (Heino & Koskenkari 2004, s. 7).

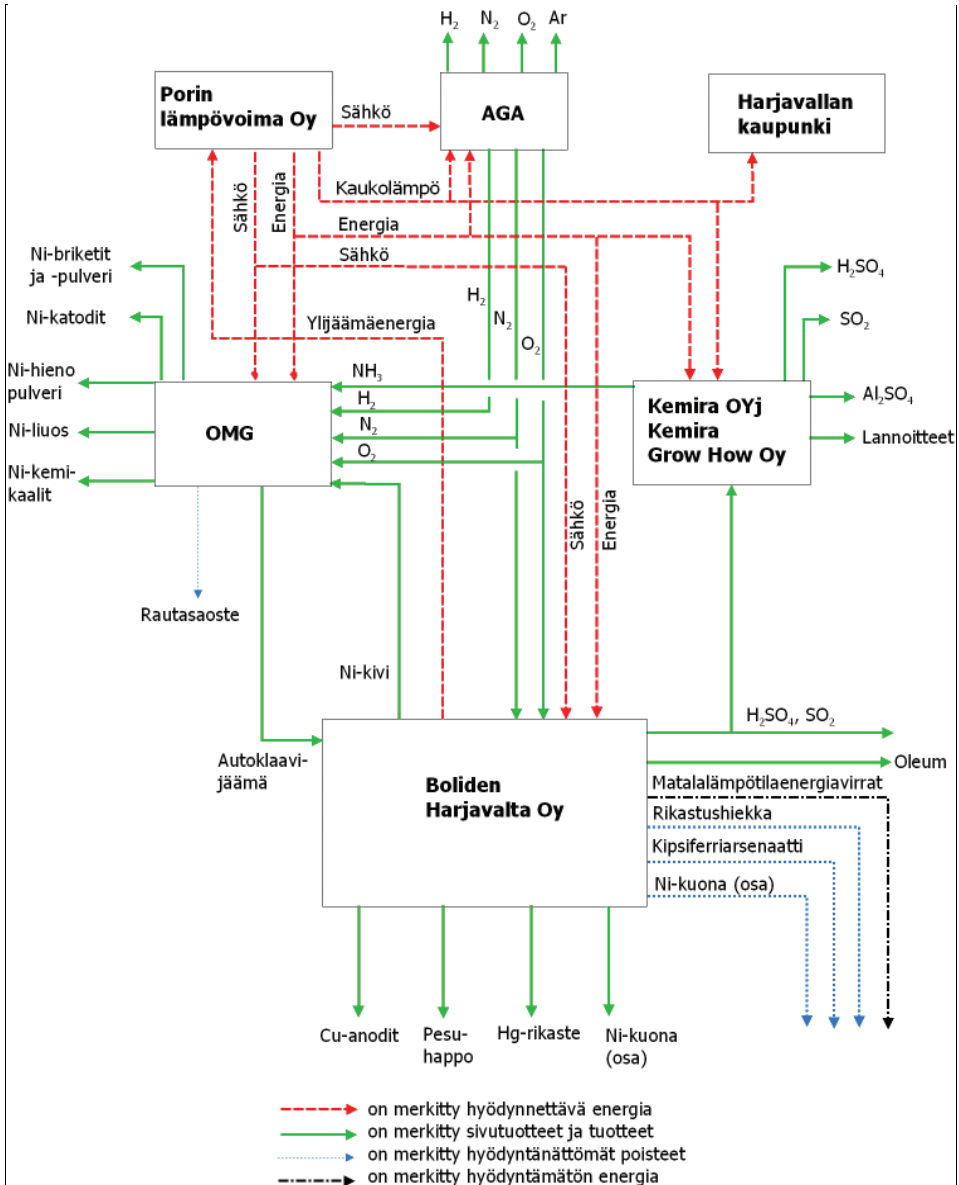
Kierrättämällä sekä Boliden Harjavalta Oy:n omia että OMG:n hankalia poisteita kuparin ja nikkelin liekkisulatusuuneihin, pystytään tehostamaan raaka-ainetehokkuutta ja pienentämään jätteen määrää. Suurteollisuuspuiston ulkopuolelta Boliden Kokkola Oy:n sinkkitehtaan liuospuhdistuksessa talteen otettavat koboltti- ja kuparisakka kierrätetään Boliden Harjavalta Oy:n prosessiin (Rytioja 2002). Myös Bolidenin Porin elektrolyysiyksikön anodiromu on merkittävä konvetterin uusioraaka-aine.

Nikkelikiven valmistusprosessista saatavaa raekuonaa hyödynnetään SP Mineralsin toimesta vuositason n. 45 000 t hiekkapuhalluksen ja kattohuopateollisuuden raaka-aineena. Tuotteen jalostaminen tapahtuu n. 10 km:n päässä tehdasalueelta, mutta raekuonan seulonta suoritetaan läjityskasan vieressä. Käyttämällä nikkeliraekuonaa raaka-aineenaan säästää SP Minerals merkittävästi myös uusiutumattomia luonnonvaroja. Kertaluonteisia raekuonan hyödyntämiskohteita ovat olleet tie- ja ylikäytävä rakentaminen Suurteollisuuspuiston alueella sekä läheisellä Torttilan rautatieylikäytävällä.

9.8.2 Suurteollisuuspuiston osakasyritysten vuorovaikutusten monimuotoisuus

Harjavallan Suurteollisuuspuiston osakasyritysten vuorovaikutusten moninaisuutta kuvaa niiden välinen aineen- ja energianvaihto, joka on esitetty kuvassa 9. Merkittävimmäksi

yhdistäväksi tekijäksi nousee prosessien ylijäämäenergia, jota hyödynnetään joko sähkö-
nä, höyrynä tai lämmitysenergiana Suurteollisuuspuiston eri yrityksissä.



Kuva 9. Harjavalta Suurteollisuuspuiston sisäinen ja ympäröivän yhteiskunnan välinen aine- ja energian vaihto (Heino & Koskenkari 2004, s. 31).

Tehostuneen energiankäytön ansiosta Harjavalta Suurteollisuuspuisto sai Motivan Energiansäästöviikon kunniamaininnan vuonna 2003. Perusteluissa mainittiin mm., että Suur-

teollisuuspuisto laajensi menestyksekkäästi yhden yrityksen kehittämän mallin koko puiston kattavaksi yhteiseksi toiminnaksi. (Motiva 2003)

Suurteollisuuspuiston sisällä on mahdollista siirtää vaarallisia aineita putkikuljetuksina, mikä ehkäisee onnettomuusriskiä. Maantie- ja rautatiekuljetusten vähentymisen myötä liikenneturvallisuus paranee ja liikenteen päästöt pienenevät. Suurteollisuuspuiston ja edelleen lähialueen turvallisuustoimi on monipuolisen ja säännöllisen yritysten sekä yhteiskunnan edustajien välisen yhteistyön kohteena. Hyvien suhteiden ja laaja-alaisen ainetietämyksen takia pystytään ennaltaehkäisemään tehokkaalla tavalla mahdollisia onnettomuuksia, ja niiden sattuesssa nopeasti ja asiantuntevasti rajoittamaan tuhoja.

9.8.3 Suurteollisuuspuiston paikallisten resurssien hyödyntäminen

Aineellisella tasolla hyödynnetään paikallisesti ensisijaisesti alueen kvartsihiekkaa kuonanmuodostajana ja Kokemäenjoen vettä sekä prosessi- että jäähdytysvetenä. Merkitäväksi yhdistäväksi tekijäksi nousee prosessien ylijäämäenergia, jota käytetään Harjavallan kaukolämpöverkostossa, jossa prosessilämmön osuus on 93,9 % (PLV 2003b, s. 13). Tierakentamisessa on hyödynnetty nikkelinvalmistuksen sivutuotetta nikkelifaakua, joka on myös lähialueella Nakkilan puolella toimivan SP Mineralsin merkittävä raaka-aine.

Harjavallan kaupungin tärkein rooli Suurteollisuuspuistossa ja sen edelleen kehittämisessä on kaavoittajan tehtävät, tiedotus, yhteydenpito muihin viranomaisiin ja valtion hallintoon. Myös ympäristökysymykset ovat tärkeä osa kaupungin toimintaa. Suurteollisuuspuiston ja lähialueen turvallisuustoimi on monipuolisen ja säännöllisen yritysten ja yhteiskunnan edustajien välisen yhteistyön kohteena. Paikallista ja alueellista hyödyntämistä on myös Satakunnan alueen monien alihankkijoiden toiminta Suurteollisuuspuiston alueella.

Suurteollisuuspuiston positiivisia paikallisia vaikutuksia ovat välittömät ja välilliset työllistämisaikutukset, kansainvälinen ulottuvuus, paikkakunnan henkisen pääoman lisääntyminen sekä teollisuuskeskittymän myötä tullut tunnettavuus. Myös koulutus ja matkailu hyötyvät alueella sijaitsevasta teollisuusintegraatista.

9.8.4 Suurteollisuuspuiston monimuotoisuuden asteittainen kehittäminen

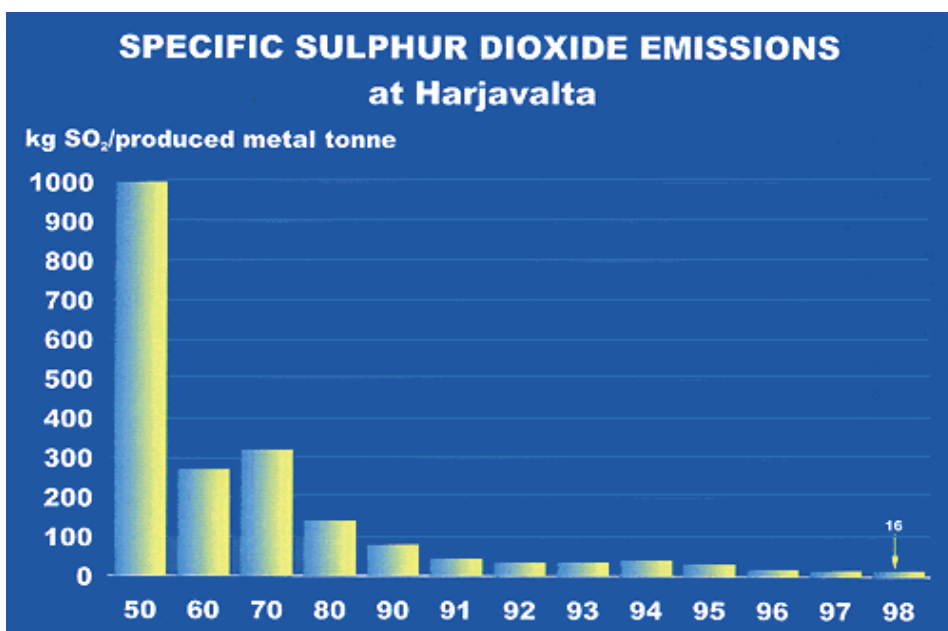
Harjavallan tehdasalueen teollinen toiminta alkoi keväällä 1945, jolloin alueen ainoa yritys oli Outokumpu, joka teki sähkösulatukseen perustuen anodikuparia. Taulukossa 11 on esitetty 60 vuoden aikana tapahtunut yritysten lisääntyminen ja tuotevalikoiman monimuotoisuuden kehittyminen.

Taulukko 11. Suurteollisuuspuiston prosessitekniset yritykset ja niiden tuotevalikoima vuosina 1945 ja 2005.

Vuosi	Yritys	Tuotteet
1945	Outokumpu	Anodikupari
2005	Boliden	Anodikupari, nikkelikivi, rikkihappo, rikkidioksidi, oleum, nikkeliraekuona, pesuhappo, Hg-rikaste
	OMG	Nikkelikatodit, nikkelibriketit, nikkelipulverit, nikkelihienopulveri, nikkeliliuos, nikkelikemikaalit, ammoniumsulfaatti, kobolttisulfaattiliuos
	Kemira Oyj	Alumiinisulfaatti
	Kemira GrowHow	Ureafosfaatti, metyleeniurea, rakeistettut lannoitteet, vesiliukoiset kasviuonelannoitteet
	AGA	Kaasumainen happi, typpi ja vety, nestemäinen happi, typpi ja argon
	Porin Lämpövoima	Prosessihöyry, korkeapainehöyry, prosessilämpö, kaukolämpö, raakavesi, suolaton ja saostettu vesi, sähkö ja paineilma

Taulukon 11 tuotteet eivät sellaisenaan kerro monimuotoisuuden vaikutusta ympäristön hyvinvointiin. Koska suurteollisuuspuiston ydinprosessien raaka-aineet ovat sulfidisia kupari- ja nikkelirikasteita, on yksi tärkeimmistä ympäristöön kohdistuneista mittareista rikkidioksidipäästöt. Kuvassa 10 on Harjavallan kuparin liekkisulatusprosessin SO₂-ominaispäästöjen kehitys vuosien 1950 ja 1998 välillä (Outokumpu 1999b). 1940-luvun lopulta kyseisiä tietoja ei ole, mutta helposti on pääteltävissä, että päästöt olivat kupari-tehtaan alkuaikoina vieläkin suuremmat, sillä rikkihappotehdas rakennettiin vasta kaksi vuotta sähkösulatukseen perustuneen kuparisulaton käyntiinlähdon jälkeen.

Ominaispäästöjen pienentymisen seurauksena myös pölypäästöt ja niiden sisältämien raskasmetallien päästöt ovat pienentyneet, koska rikkidioksidikaasu pitää puhdistaa tarkasti ennen sen prosessointia rikkitrioksidiksi ja edelleen rikkihapoksi. Kehitys on numeerisesti nähtävissä luvun 8.2 taulukossa 3. Myös raskasmetallien vesipäästöt ovat pienentyneet, koska SO₂-kaasun pesussa muodostuvan pesuhapon kiintoaineet otetaan talteen ja varastoidaan kipsiferriarsenaattisakaksi tiivisaltaalle. Pesuhaposta n. 90 % injektoidaan nikkeliliekkiuunin nousukuiluun jäähdyttämään kaasua sekä samalla lisäämään kaasun SO₂-pitoisuutta. Osa pesuhaposta viedään Bolidenin Kokkolan sinkkitehtaalalle.



Kuva 10. Harjavallan kuparin liekkisulatusprosessin ominaispäästöjen (kg SO₂/t Cu) kehitys (Outokumpu 1999b).

Kuvan 10 kuvaajasta voidaan välillisesti päätellä myös se, että 1980-luvulta lähtien rikkihapon valmistusprosessin kahdessa eri vaiheessa (SO₂:n hapetus ja SO₃:n imeytys) talteen otettavan ja ympäröivän yhteiskunnan kaukolämmityksessä hyödynnettävä prosessiylijäämäenergian määrä on kasvanut. Kuvassa 10 esitetyn kehityksen vaikutus luonnossa näkyy myös visuaalisesti tehtaan lähiympäristöstä kahdesta 50 vuoden välein otetuissa kuvissa 2 (luku 6.3) ja 4 (luku 7.8).

Vielä hyödyntämättä olevaa matalalämpötilaisen energian myyntiä on suunniteltu Harjavallan kaukolämpöverkon lisäksi myös Nakkilan kunnan kaukolämpöverkkoon. Meneillään on myös selvitysprojekti, jossa alueen yritykset ja Harjavallan kaupunki yhteistyössä etsivät potentiaalisia energian käyttäjiä Harjavaltaan (Motiva 2003). Yhtenä vaihtoehtona on tarkasteltu kasvihuoneyrittäjien houkuttelemista Suurteollisuuspuiston läheisyydessä sijaitsevalle Sievarin teollisuusalueelle, johon ollaan perustamassa suurkasvihuonepuistoa (Virtanen 2004).

Harjavallan Suurteollisuuspuistossa on tehty selvityksiä ja laadittu suunnitelmia energiahuollon monimuotoisuuden edelleen kehittämiseksi. Alueen energiantuotantoon liittyvissä selvityksissä on mietitty, miten alueen energiahuolto voidaan järjestää taloudellisesti ja ympäristönäkökohdat huomioiden optimaalisella tavalla. Tämä tarkoittaa vielä öljyn käytön oleellista vähentämistä ja siirtymistä esimerkiksi paikallisiin kotimaisiin uusiutuihin luonnonvaroihin (Motiva 2003).

Kupari- ja nikkeli- ja muiden vielä hyödyntämättömien poisteiden tuotteistamista ja sisäisen kierrätyksen tehostamista tutkitaan tällä hetkellä yhdessä Oulun yliopiston prosessi- ja ympäristötekniikan osaston ja Outokummun tutkimuskeskuksen kanssa (Dahl & Härkki 2003). Nikkelin ja kuparin valmistuksen kuonia voidaan hyödyntää sopi-

vasti käsiteltynä maa- ja tierakentamisessa, kaatopaikkojen peitosteena sekä muissa vastaavissa kohteissa (Leinonen 2005).

Sekä kuparin että nikkelin valmistuksen rikasteraaka-aineet tuodaan hyvinkin kaukaa laivakuljetuksina ja edelleen juna- tai kuorma-autokuljetuksina Mäntyluodon satamasta. Sekä kupari- että nikkeli-kuona sisältää rautaa n. 40–45 %. Teollinen ekologia -mallin mukainen kiinnostava ajatus on raudan hyödyntäminen teräksen valmistuksen raaka-aineena. Mahdollinen valmistusprosessi voisi tapahtua integroidusti käsittelemällä rautapitoista kuonaa jatkaen sulasta olotilasta, jolloin välttyttäisiin isojen materiaalimäärien jäädyttämisestä ja uudelleen lämmittämisestä.

Lähialueiden uusioraaka-aineiden hyödyntämistä voidaan edelleen lisätä, sillä Boliden Harjavalta Oy:n ympäristölupa sisältää mahdollisuus käyttää kuonanmuodostajina neutraalisen kvartsihiekan sijasta raaka-aineita, jotka ovat joko jätteitä tai ongelmajätteitä. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi valimoissa käytetyt valuhiekat, jotka muuten joudutaan kuljettamaan kaatopaikalle. Myös kvartsipitoisia metalleja ja prosessissa polttoaineena hyödynnettäviä aineita sisältäviä maa-aineksia voidaan käyttää liekkisulatusprosessien uusioraaka-aineina. (Boliden Harjavalta Oy 2004, s. 51)

9.8.5 Harjavallan Suurteollisuuspuisto teollisena ekosysteeminä

Tarkasteltaessa Harjavallan Suurteollisuuspuistoa teollisena ekosysteeminä voidaan sen todeta sen täyttävän Korhosen (2001) neljä ekosysteemin periaatetta: *materiaalin ja energian hyötykäyttö, osakasyritysten vuorovaikutusten monimuotoisuus, paikallisuus käsittelen paikallisten resurssien hyödyntämisen ja yhteistyön ympäröivän yhteiskunnan kanssa sekä integraatin monimuotoisuuden asteittaisen kehittämisen.*

Teollisuusalue täyttää myös Lowen, Moranin ja Holmesin (1997) teollisen ekosysteemin määritelmän kriteerit: *“Teollinen ekosysteemi on valmistus- ja palveluyritysten yhteisö, joka pyrkii parantamaan sekä ekologialla että taloudellista tulosta verkottamalla energian, veden sekä kiintoaineiden keskinäisellä käytöllä. Työskentelemällä yhdessä yhteisön edut ovat suuremmat kuin yksittäisten yritysten etujen summa.”*

Peckin (2002) määritelmän mukaan teollinen ekosysteemi on *liikeyritysten yhteisö, joka tekee yhteistyötä keskenään ja ympärillä olevan yhteiskunnan kanssa jakaakseen tehokkaasti resurssit (tieto, materiaalit, energia, infrastruktuuri ja luonnollinen elinpiiri) saavuttaakseen parannuksia ympäristön laadussa, taloudellisuudessa ja henkilöstön voimavarojen hyödyntämisessä sekä yrityksissä että ympäröivässä yhteiskunnassa.* Harjavallan Suurteollisuuspuisto toteuttaa myös Peckin (2002) määritelmän mukaiset teollisen ekosysteemin periaatteet.

Arvioinnin pohjana olleissa kriteereissä ei suoranaisesti tuoda esille tämän kaltaisissa teollisissa systeemeissä tärkeää työturvallisuustyötä ajatellen mahdollisten suuronnettomuuksien ehkäisyä. Teolliset ekosysteemit voivat olla vaarallisten aineiden isoja valmistus- ja varastoalueita. Välillisesti kyseinen kriteeri sisältyy Korhosen (2001) teollisen ekosysteemin ominaispiirteeseen *osakasyritysten vuorovaikutusten monimuotoisuus*, mutta sekään ei kiinnitä huomiota yksittäisen yrityksen työturvallisuustyöhön.

Voidaan kuitenkin todeta, että Harjavallan Suurteollisuuspuiston turvallisuus on yritysten yhteinen ja keskeinen teema, mikä tarkoittaa mm. sitä, että harjoituksia järjestetään

säännöllisesti, puhumattakaan ennaltaehkäisevästä toiminnasta. Turvallisuustoiminnassa otetaan huomioon myös suuronnettomuuden uhka. Harjoituksissa on mukana myös alueen ulkopuolisia pelastusviranomaisia.

9.9 Yhteenveto ja jatkokehityksen kriittinen pohdinta

Harjavallan Suurteollisuuspuiston yksi parhaimmista ominaispiirteistä on sekä kupari-että nikkeli-rikasteen liekkisulatusmenetelmässä ja edelleen rikkihapon valmistuksessa syntyvän ylijäämälämpöenergian hyödyntäminen alueen yrityksissä ja Harjavallan kaupungin kaukolämpöverkossa. Merkittäväksi asiaksi on osoittautunut liekkisulatusmenetelmän poistokaasun puhdistaminen ja rikkidioksidin talteenoton parantuminen sekä edelleen tehokas käyttö.

Harjavallan Suurteollisuuspuiston lopullinen kehitys kohti moni-ilmeistä ja -muotoista teollista ekosysteemiä on kuitenkin tapahtunut viimeisen 10 vuoden aikana perustuen ensisijaisesti taloudellisiin syihin. Kehityskulun myötä tehdasalueen tuotevalikoima on kasvanut aikaisemmasta bulkkituotannosta hyvin erikoistuneisiin tuotteisiin. Yksi syy menestykseen on ollut se, että yritykset toimivat erikoistumisen takia omilla ydinosaamisalueillaan.

Erilaisten yrityskulttuurien aiheuttamat yhteentörmäykset ovat jääneet melko pieniksi, koska yrityskauppojen takia myös työntekijät ovat siirtyneet vanhoina työntekijöinä uusiin yrityksiin. Rajapinnan yli tapahtuvat toiminnot ovat näin ollen tapahtuneet aiemmalta ajalta tuttujen henkilöiden kanssa. Uudet yritykset ovat kuitenkin tuoneet uusia tuulia toimintakulttuureihin.

Harjavallan Suurteollisuuspuisto ja sen teollisuusyritykset sekä niiden menestyminen on avainasemassa, kun tarkastellaan ympäröivän yhteiskunnan hyvinvointia, sillä käyhän alueella päivittäin töissä yli 1000 ihmistä. Harjavallan kaupunki yhteiskunnan edustajana on suhtautunut hyvin joustavasti ja ymmärtäväisesti suurteollisuuden tarpeisiin. Tiedonkulku ja luottamus kaupungin ja suurteollisuuden yritysten välillä on toiminut hyvin.

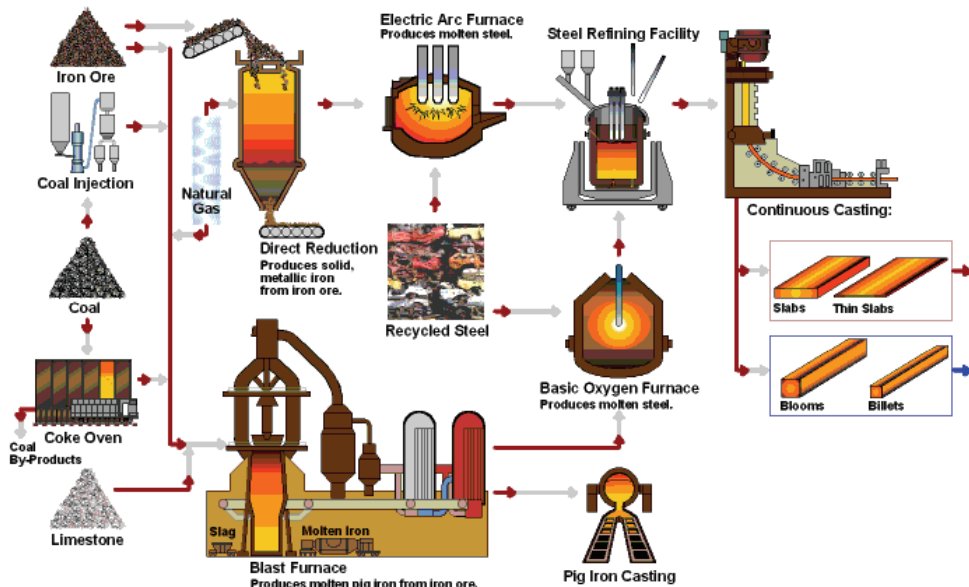
Harjavallan suurteollisuuspuisto voidaan arvottaa teolliseksi ekosysteemiksi Korhosen (2001), Peckin (2002) sekä Lowen, Moranin ja Holmesin (1997) kriteereillä. Em. kriteerien täyttymisen lisäksi Harjavallan Suurteollisuuspuiston ennaltaehkäisevä turvallisuus-toiminta on monipuolisen, säännöllisen ja virallisesti organisoidun yhteistyön kohteena. Lisääntyvällä tietämyksellä ja jatkuvan harjoittelun ansiosta pystytään mahdollisessa onnettomuustilanteessa rajoittamaan vaarallisten aineiden tai prosessien tuhovaikutuksia.

Harjavallan Suurteollisuuspuiston kehitystä on kuvattu osin kvantitatiivisesti ja osin kvalitatiivisesti. Suurteollisuuspuiston kehityksen pohjana olevien taloudellisten ja mahdollisten ekologisten perusteiden ja niiden pohjalta kehitettävien tunnuslukujen avulla voitaisiin mahdollisesti varioida myös niin hiiliteräksen valmistuksen ja sen eri liitännäistoimintojen kuin myös muiden vastaavien teollisuusintegraattien taloudellisuutta sekä kehittämismahdollisuuksia sekä taloudellisessa että ekologisessa mielessä (Angerman 2005). Taloudellisten tunnuslukujen luotettavaan määrittämiseen tarvittavan tietopohjan hankkiminen voi kuitenkin olla vaikeaa ja osin mahdotontakin, sillä se menee kovassa kilpailutilanteessa olevien yritysten yrityssalaisuuksien puolelle.

10 Hiiliteräksen valmistus ja sen ympäristöhaasteet

*"Tuon seppo tulehen tunki, alle ahjonsa ajeli.
Lietsoi kerran, lietsoi toisen, lietsoi kerran kolmannenki:
rauta vellingä viruvi, kuonana kohaelevi,
venyi vehnäisnä tahasna, rukihisna taikinana."*
– Kalevala

Hiiliterästä valmistetaan kolmella pääperiaatteella: malmipohjaisilla masuuni (Blast furnace)-konvertteri (Basic Oxygen Furnace) -yhdistelmällä ja suorapelkistyksellä (Direct Reduction) sekä romupohjaisella valokaariuuniprosessilla (Electric Arc Furnace).



Kuva 11. Erilaisia teräksenvalmistusmahdollisuuksia (Steel Org).

Suomessa hiiliterästä valmistetaan malmipohjaisissa Fundian Koverharin ja Rautaruukin Raahen sekä romupohjaisessa Imatra Steelin terästehtaissa. Pienessä mittakaavassa valokaariuuniprosessi on käytössä kahdessa teräsvalimossa. Suorapelkistysmenetelmällä valmistettiin vuonna 2002 rautaa maailmassa 40 miljoona tonnia, mikä vastaa 7 % maailman raakarautatutuotannosta. Tuotanto keskittyy alueille, joissa on käytettävissä halpaa maakaasua. Suomessa ei suorapelkistysprosesseja ole. (Teräskirja 2003, s. 23–28)

10.1 Hiiliteräs

Eri rautatyyppejen jako hiilipitoisuuteen perustuen on tapahtunut alun perin muovautuvuuden perusteella (Miekk-oja 1965, s. 207). Valurautojen kehitys on johtanut kuitenkin sellaisiin laatuihin, joita voidaan jonkin verran muovata sekä kuumana että kylmänä. Raaka- tai valuraudoista puhutaan hiilipitoisuuden ollessa yli 1,7 %, ja hiilipitoisuuden ollessa tätä matalampi puhutaan puolestaan teräksistä (Heikkinen & Paananen 2002).

Hiilipitoisuus on hyvä lähtökohta terästen perusluokitteluun ennen jalostamista yhä monipuolisemmiksi terästuotteiksi (Miekk-oja 1965, s. 300). Teräksen ominaisuuksiin vaikuttavat myös monet seosaineet sekä teräksen käsittelymenetelmät, minkä takia luokitteluperusteet voivat olla ristiriitaisia. Pääominaisuudet määräytyvät kuitenkin ensisijaisesti hiilipitoisuuden mukaan (Valorinta 1985, s. 139).

Niukkahiilisten terästen hiilipitoisuus vaihtelee välillä 0,05 %–0,25 %. Koko teräksen tuotannosta niukkahiilisiä teräslatuja on yli puolet. Tärkeimpiä käyttötarkoituksia ovat kuumamuokatut, ja erityisesti kuuvalssatut muotovalmisteet, kuten laivalevyt, tangot ja profiilit. Sen lisäksi niukkahiilisiä terästuotteita ovat erilaiset koneenosat, pultit, naulat, ruuvit, putket, langat sekä ketju- ja hammaspyörät jne. (Miekk-oja 1965, s. 309–310)

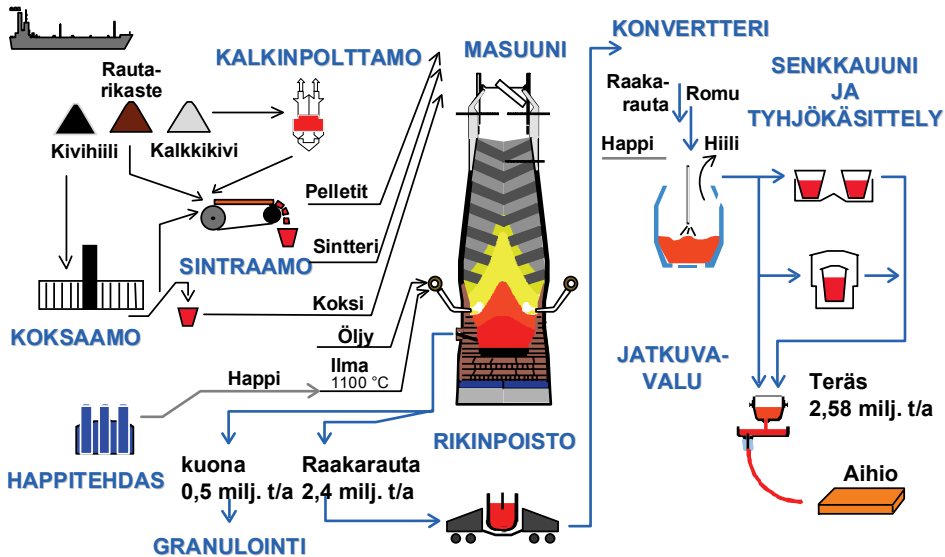
Keskihiilisten terästen hiilipitoisuus vaihtelee välillä 0,25 %–0,60 %. Rakenneteräksinä ne soveltuvat käytettäväksi kuumavalssattuina ja -taottuina. Tärkeimpiä käyttötarkoituksia ovat rasituksen alaiset koneenosat, kuten esim. hammaspyörät ja kampiakselit, ratakiskot, jouset, pyörän vanteet jne. (Miekk-oja 1965, s. 310–312)

Runsashiilisten terästen hiilipitoisuus vaihtelee välillä 0,6 %–1,7 %. Runsashiilisiä teräksiä käytetään työkaluteräksinä, minkä lisäksi niitä voidaan hyödyntää myös rakenne-teräksinä keskihiilisten tapaan, kunhan hiilipitoisuus ei ylitä 0,8 %:a. Tärkeimpiä käyttötarkoituksia ovat vasarat, moukarit, alasimet, kirveet, taltat, veitset, viilat, parranajoterät. (Miekk-oja 1965, s. 312–313)

Sopivilla seostuksilla pystytään vaikuttamaan terästen sitkeyteen, lujuuteen, kuumalujuuteen ja työstettävyyteen. Hiiliteräksessä on yleensä mangaania 0,2–1 %, piitä 0,1–0,5 %, fosforia n. 0,05 % ja rikkiä n. 0,05 %. Seosteräksistä puhutaan vasta, kun mangaani- ja piipitoisuudet ylittävät em. rajat liittyen myös siihen, että teräkseen on lisätty eri tavoin nikkeliä, kromia, volframia, molybdeeniä, vanadiinia, kobolttia, alumiinia tai kuparia sekä alkuaineina että yhdisteinä (Miekk-oja 1965, s. 207). Seostamalla teräkseen yli 12 % kromia saadaan korroosiokestävyyttä parannettua huomattavasti (Teräskirja 2003, s. 7). Tällöin terästä kutsutaan ruostumattomaksi teräkseksi.

10.2 Malmipohjaisen hiiliteräksen valmistus

Malmipohjaisella eli integroidulla terästehtaalla tarkoitetaan pääasiassa rautarikastetta sekä jonkin verran romua rautaraaka-aineenaan käyttävää teräksenvalmistusyksikköä, joka tuottaa valssattuja tuotteita. Tehtaaseen kuuluu raaka-aineiden esikäsittely, sintraamo tai pelletointi, masuuni, sulatto sekä valssaamo. Teräksen lisäksi tuotetaan monia hyödyllisiä sivutuotteita. Terästehtaaseen voi kuulua myös oma koksaaamo ja kalkin polttamo. Rautaruukin Raahen integroidun terästehtaan valmistusprosessi on esitetty kuvassa 12 (Rautaruukki 2001).



Kuva 12. Malmipohjaisen terästehtaan prosessikaavio (Rautaruukki 2001).

10.2.1 Malmipohjaisen teräksenvalmistuksen kiinteät raaka-aineet

Malmipohjaisen teräksenvalmistuksen tärkeimmät kiinteät raaka-aineet ovat rautarikaste, koksi ja kalkki. Koksen valmistus kivihiilestä kuivatislaamalla tapahtuu koksaukammioissa, joita lämmitetään kammioiden välissä olevilla lämmityshormeilla. Tarvittava lämpöenergia saadaan aikaan polttamalla koksi- ja masuunikaasua lämmityshormeissa. Kivihiilen koksautuessa vapautuva kaasu imetään sivutuotelaitokselle, jossa saadaan talteen hyödynnettävinä tuotteina kivihiilitervaa, rikkiä ja bentseeniä. Puhdistettu koksikaasu käytetään tehtaan sisäisenä energiantuottajana. (Heino & Kaisto 2002)

Rautarikasteen rautaraaka-aineena käytettävä malmi koostuu pääasiassa (n. 83 %) rautaoksidoista Fe_3O_4 tai Fe_2O_3 sekä sivukivestä (n. 17 %). Rautarikaste pitää agglomeroitua joko pellettoimalla tai sintraamalla, jotta se on riittävän lujaa ja sen kappalekoko on tarpeeksi iso masuunissa prosessoitavaksi. Pelletointi tapahtuu yleensä heti rautakaivoksen yhteydessä sijaitsevan rikastusprosessin jälkeen.

Rautarikasteen sintrausprosessi alkaa petauskasasta. Petauskasaa tehtäessä erilaisen kemiallisen, mineralogisen ja fysikaalisen koostumuksen omaavat rikasteet, kuonanmuodostajat sekä sekundäärraaka-aineet homogenisoidaan (Heikkinen 2000, s. 15–16). Petauskasasta materiaali kuljetetaan annostelulaitokselle, jossa se seostetaan polttoaineen, lisäaineiden ja sintteripalautteen kanssa. Sintrauksessa hienoa materiaalia lämmitetään korkeaan lämpötilaan ilman täydellistä sulattamista, jolloin pienet partikkelit agglomeroituvat isommiksi kappaleiksi. (Heino & Kaisto 2002)

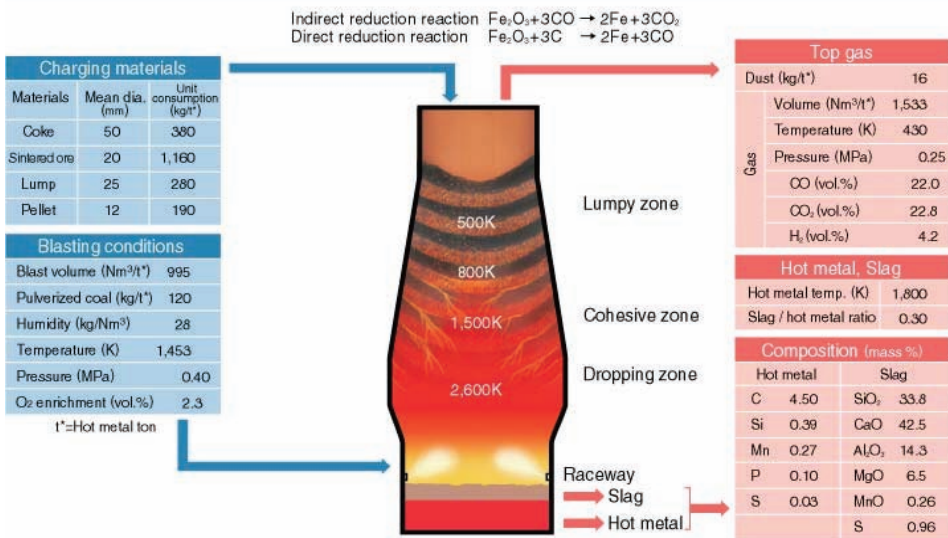
Teräksen valmistuksen eri prosessivaiheissa tarvittavan poltetun kalkin (CaO) valmistusyksiköitä ovat jatkuva- tai puolijatkuvatoimiset pystykuilu-uunit. Murskattu kalkkikivi (CaCO_3) syötetään pystyuuniin yläosasta, josta se laskeutuu hitaasti esilämmityksen, polton ja jäähtymisen läpi. Kalsinointivyöhykkeellä tapahtuu kalkkikiven terminen hajoaminen kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi (Boynton 1966, s. 132–164). Lopputuotteena saatava poltettu kalkki murskataan ja seulotaan. (Heino & Kaisto 2002)

Poltetun kalkin raaka-ainetta kalkkikiveä voidaan myös sellaisenaan panostaa raudan- ja teräksen valmistuksen eri prosessivaiheisiin. Panostusta rajoittaa joko energiatalous tai kalkkikiven hajoamisessa syntyvän kaasumaisen hiilidioksidin prosessia haittaava vaikutus. (Heino & Kaisto 2002)

10.2.2 Raakaraudan valmistus masuunissa

Raakaraudan masuunipohjainen valmistusprosessi on esitetty kuvassa 13 (Kawasaki Steel 2002). Masuunin yläosaan panostetaan rautarikasteita sintteriä (Sintered ore), pellettejä (Pellets) ja mahdollisesti myös palamalmia (Lump), kalkkikiveä kuonanmuodostajaksi sekä koksia (Coke) polttoaineeksi ja pelkistimeksi. Masuunin alaosaan puhalletaan happirikastettua ilmaa sekä injektoidaan joko hiiltä tai öljyä lisäpolttoaineeksi (Heikkinen 2002).

2D(2) Operating Conditions in Large Blast Furnace (BF)



Kuva 13. Masuuni ja masuunin toiminta (Kawasaki Steel 2002).

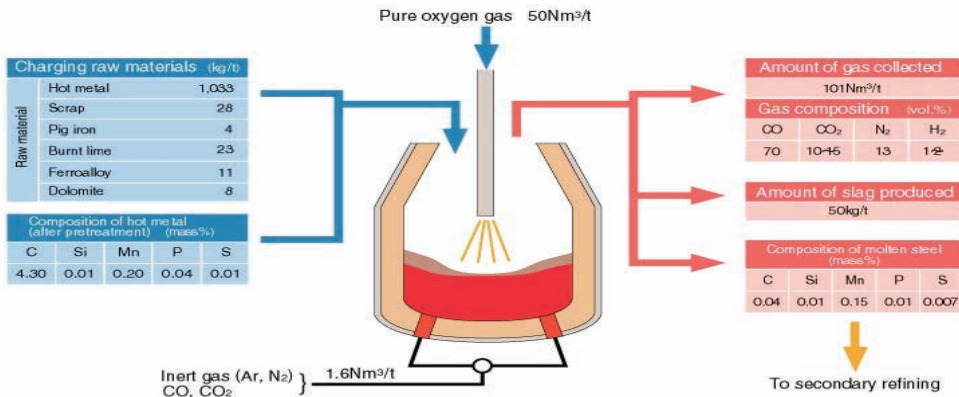
Rautaoksidien pelkistyminen tapahtuu masuunin yläosassa epäsuoralla mekanismilla ja alaosan kuumemmissa olosuhteissa suoralla mekanismilla. Masuuniprosessin tarvitsema lämpöenergia saadaan koksien, öljyn tai hiilen palaessa hormien edessä. Syntyvät pelkistyskaasut nousevat masuunissa ylöspäin siirtäen lämpöä masuunin muihin osiin pelkistämisen laskeutuvia raudan oksideja raudaksi. Pääosa raudasta syntyy jähmeänä, mutta laskeutuessaan uunin alaosaan se liuottaa itseensä runsaasti hiiltä, jolloin se sulaa osin sulamispisteen putoamisen ja osin lämpötilan nousun takia.

Raakaraudan lisäksi masuuniprosessin tuotteita ovat masuunikuona ja -kaasu sekä kaasun sisältämä lämpöenergia. Kuvassa 12 on esitetty myös kuonan (Slag) ja kaasun (Top gas) koostumukset (Kawasaki Steel 2002). Masuunikaasun puhdistuksessa saadaan talteen myös pölyä, joka sisältää mm. rautaa oksidisessa muodossa (Makkonen, ym. 2002 & Lohi, ym. 1997, s. 39–40).

10.2.3 Teräksen valmistus konvertterissa

Kuvassa 14 esitetyn konvertteriprosessin raaka-aineet ovat masuuniraakarauta (Hot metal), romu (Scrap), kuonanmuodostajat (Burnt lime) sekä lisäaineet ja happikaasu (Pure oxygen) (Kawasaki Steel 2002).

2F(2) BOF Operation for Top & Bottom Blown Vessel



Kuva 14. Konvertterin toiminta (Kawasaki Steel 2002).

Konvertteri on raakateräksen valmistukseen käytettävä, tulenkestävällä materiaalilla varustettu reaktori, jonka tarkoituksena on saada korkeahiilisestä (yli 4 %) raakaraudasta matalahiilistä (noin 0,05 %) raakaterästä hapella mellottamalla (Heikkinen & Paananen 2002):



Osa teräkseen liuenneesta hapesta reagoi edelleen hiilimonoksidin kanssa hiilidioksidiksi. Hiilen polttamisen lisäksi konvertteriprosessissa alennetaan pii-, fosfori- ja rikki- ja rikkipitoisuuksia halutulle tasolle. Hiilen, piin, rikin ja fosforin palamisreaktioissa syntyvällä lämmöllä sulatetaan romua sekä nostetaan sulan lämpötilaa riittävän korkeaksi, jotta teräs pysyisi sulana konvertterin seuraavien jatkokäsittelyjen ajan. Konvertterin tuotteita ovat raakateräs, teräskuona ja konvertterikaasu (Heikkinen & Paananen 2002). Happipuhalluksen yhteydessä syntyy rauta- ja kalkkipitoista pölyä, joka saadaan talteen konvertterikaasun puhdistusprosessissa (Laitila 2000, s. 25).

10.2.4 Teräksen senkkäkäsittely, jatkuvavalu ja valssa

Konvertterista teräs kaadetaan senkkaan kuljetusta sekä jatkokäsittelyä (Steel Refining Facility) ja valua (Continuous Casting) tai pelkästään valua varten (kuva 11). Seostamattomat ns. massateräskset voidaan valaa suoraan konvertterivaiheen jälkeen. Yhdistämällä LD-konvertteri senkassa suoritettaviin deoksidaatioon ja seosainelisäykseen voidaan valmistaa laajempi valikoima teräslajeja, joiden laatu on parempi (Heino 2002d).

Teräs on senkkäkäsittelyjen ja seostuksen jälkeen tiivistetty, jos siinä on niin vähän happea sisältäviä aineita, että kaasunhaloita ei teräkseen valussa tapahtuvan jäähmettymisen aikana synny. Niukkahiilisten terästen tiivistykseen käytetään piitä ja alumiinia. Tii-

vistäjäntömmästä teräksellä vapautuu jähmettymisen aikana CO-kaasua, ja teräs jää huokoiseksi.

LD-konvertterin ja senkkäkäsittelyn jälkeisessä jatkuvavalussa valetaan yhtäjaksoisesti yksi tai useampi senkallinen sulaa terästä valunauhaksi, joka leikataan valukoneen päässä sopivan mittaisiksi aihioiksi. Kunnostetut esiaihiot voidaan kuumavalssata joko kvarttolevyiksi tai keloiksi, jotka ovat malmipohjaisen terästehtaan päätuotteet. Valssauksen pääta-voitteita ovat edullisen kiderakenteen saaminen teräkseen sekä halutun muodon ja oikeiden mittojen antaminen aihiolle.

10.2.5 Malmipohjaisen teräksenvalmistuksen tuotteet ja poisteet

Malmipohjaisen terästehtaan pääraaka-aineet, väli-, sivu- ja lopputuotteet ja niiden määrät esitetään Rautaruukin Raahen terästehtaan vuoden 2004 tuotantolukujen perusteella taulukossa 12 (Paldanius, ym. 2004, s. 8). Raahen terästehtaan päätuotteet ovat levyt ja kelat. Ulos myytävistä sivutuotteista määrällisesti tärkeimmät ovat raudan ja teräksen valmistuksen kuonat. Ympäristöä ajatellen tervan, bentseenin sekä rikin talteenoton ja hyödyntämisen merkitys on suuri.

Määrältään merkittävimmät hyödyntämättömät poisteet Rautaruukin Raahen tehtaalla ovat konvertteriliete (n. 40 000 t/a), masuuniliete (n. 7 700 t/a) ja sulaton sekundääripöly (n. 2 500 t/a). Varastointi tehtaan alueelle johtuu siitä, että ne sisältävät liikaa jotain teräksen valmistusprosessille tai laadulle haitallista ainetta, joita ovat mm. Na, K, Zn, Pb, Cd, S, öljy tai humus. Osin myös liika hienojakoisuus tai raudan vähäinen määrä on estänyt taloudellisen hyödyntämisen. (Makkonen, ym. 2002 ja Pöyliö, ym. 2002)

Taulukko 12. Rautaruukin Raahen malmipohjaisen terästehtaan pääraaka-aineet, väli-, sivu- ja lopputuotteet vuonna 2004 (Paldanius, ym. 2004, s. 8).

Pääraaka-aineet	t/a
Rautarikasteet	2 305 000
Pelletit	991 000
Kalkkikivi ja poltettu kalkki	393 000
Kivihiili	1 275 000
Kierrätysteräs	687 000
Erikoisraskas polttoöljy	286 000
Välituotteet	
Sintteri	2 782 000
Koksi	904 000
Raakarauta	2 467 000
Raakateräs	2 562 000
Sivutuotteet	
Masuunikuona	571 000
Terässulaton kuona	302 000
Terva	39 000
Bentseeni	11 000
Rikki	2 000
Lopputuotteet	
Kuumavalssatut levyt	617 000
Kuumavalssatut kelat	2 172 000

10.3 Romupohjainen teräksenvalmistus

Romupohjainen teräksenvalmistus perustuu romun sulatukseen valokaariuunissa (EAF). Vahvana vaikuttajana romupohjaisten terästehtaiden yleistymiseen on ollut ns. minimill-valmistusperiaate, jonka investointikustannukset ovat hyvin edulliset verrattuna integroituun terästehtaaseen. Minimill-valmistus sisältää tehokkaan valokaariuunin romun sulatukseen, yksinkertaisen senkkakäsittelyn, ohutaihiovalukoneen ja valssauslinjan. Malmipohjaisen teräksenvalmistuksen yhteydessä esitettyjen senkkakäsittelyvaiheiden ja jatkuvavalun eroilla romupohjaisen vastaaviin ei ole tarkastelunäkökulman takia suurta merkitystä (Heino 2002d ja Heino 2002e)

Käytettäessä 50 % romua teräksen valmistuksen raaka-aineena säästetään energiaa puhtaaseen malmipohjaiseen valmistukseen verrattuna 50 %. Nostettaessa romun määrä 100 %:iin, voidaan odottaa 80 % säästöjä energian kulutuksessa. Energian säästön lisäksi romun käyttö vähentää neitseellisten malmivarojen tarvetta ja ehkäisee kaivostoiminnan aiheuttamia ympäristöhaittoja. (Viklund-White & Menad 1999, s. 73)

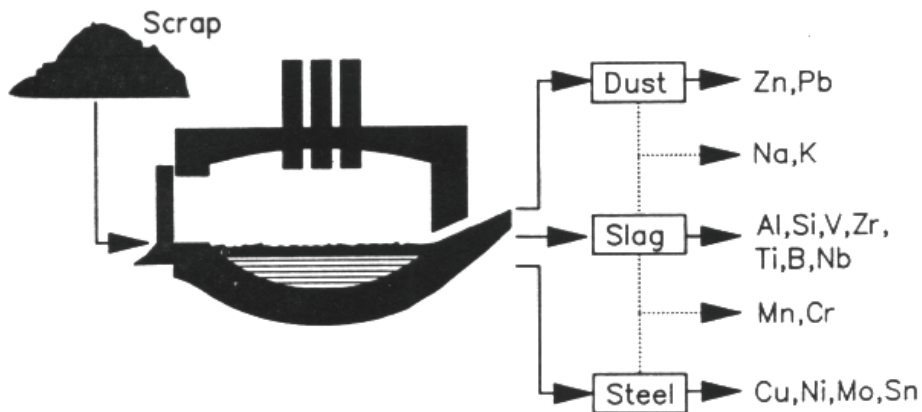
10.3.1 Romupohjaisen teräksenvalmistuksen romuraaka-aine

Terästeollisuudessa romua syntyy prosessin eri vaiheissa olosuhteiden pakosta tai muiden tekijöiden vaikutuksesta. Tällainen romu on laadunvarmistuksen hylkäämiä aihioita tai teelmiä, valssaamon puhdistusleikkauspäitä, senkkojen ja välialtaiden reunaskollaa (senkkoihin tai välialtaaseen jäänyt teräs) tai kuonaromua (raudan- ja teräksenvalmistuskuonasta erotettu metallinen fraktio). Osa teollisesta romusta on myös peräisin terästä työstävistä teollisuuslaitoksista tai konepajoista. (Heino 2002c ja Viklund-White & Menad 1999, s. 63)

Merkittävämpi osa raaka-aineromusta tulee terästehtaalte ns. keräysromuna, jota ovat koneet, laitteet, rakennus- ja maatalousromu, autot, kodinkoneet yms. Terästä ja valurautaa saadaan myös purettavista rakennuskohteista. Yrityksen sisältä tulevan romun koostumus ja muoto on yleensä tarkoin tiedossa, mutta ulkopuolelta tuodulle romulle on kehitetty tiukat laatuluokitukset (Heino 2002c ja Viklund-White & Menad 1999, s. 63). Romu ei saa sisältää seuraavia ominaisuuksia tai aineita (Peltola 1996):

- Räjähdysvaarallista romua kuten tiiviitä astioita, päistään yhteenlitistettyjä putkia, suljettuja iskunvaimentimia jne.,
- Myrkkijä,
- Radioaktiivisia aineita,
- Romua, jossa on haitallinen pinnoitus,
- Ei-rautametalleja tai metalliseoksia,
- Muovia, puuta, kumia ym.

Romuluokkien sotkeutumisesta voivat aikaansaada valmistuksessa hyvin vakavia taloudellisia seuraamuksia romutettuina sulatuksina, uudelleen suunnitteluina, kalliiden seosainien hävikkeinä jne. Romu pitää koko ajan olla ohjattuna oikeaan paikkaan eikä eri romulaatua saa sekoittaa keskenään. Harmeaineet ovat haitallisia joko teräksen valmistusprosessille tai laadulle. Harmeaineita ovat mm. kromi, molybdeen, nikkeli, kupari, sinkki, kadmium, tina, lyijy, arseeni, antimoni ja vismutti (Viklund-White & Menad 1999, s. 11). Romusta peräisin olevien aineiden poistuminen kuona-, pöly- ja teräsvirtojen mukana on esitetty kuvassa 15 (Lilja 1992, s. 57).



Kuva 15. Romusta (Scrap) peräisin olevien aineiden poistuminen kuonan (Slag), pölyn (Dust) ja teräksen (Steel) mukana (Lilja 1992, s. 57).

Metallisten epäpuhtauksien poistoon on kehitetty erilaisia käsittelyjä, mutta ne eivät yleensä ole taloudellisia suuressa mittakaavassa. Romun lisäksi haitalliset aineet voivat olla peräisin myös malmista, käytetyistä kaasuista, kuonanmuodostajista, senkkavaiheen lisäaineista sekä tulenkestävistä vuorausmateriaaleista.

10.3.2 Teräksen valmistus valokaariuunissa

Valokaariuunin lieriömäinen matala uunitila on suljettu kannella, jonka läpi kulkevat kolme grafiittielektrodia. Sähköenergia muuttuu lämpöenergiaksi synnyttämällä korkealämpötilaisen (2000–3000 °C) valokaaren grafiittielektrodien ja raaka-aineena käytettävän teräsromun välille (Pulkkinen 2002).

Romun sulamista voidaan edistää kiinteillä polttimeilla tai käyttämällä happilanssia romujen polttoleikkaukseen. Romua panostetaan uuniin useita korillisia, jotka sulatetaan yksi kerrallaan. Viimeisen romukorin panostuksen jälkeen ryhdytään uuniin injektoimaan hapetta piin polttamiseksi pois. Piin ja muiden metallisten komponenttien palamisen seurauksena uuniin saadaan lisäksi kemiallista energiaa, mikä osaltaan vähentää sähköenergian tarvetta. (Holappa 1996)

Romun sulatusprosesseissa käytetään yleisesti happipuhallusta tehostamaan sulatusta. Hapenkäytön perusidea on polttaa panoksessa olevaa hiiltä. Hiili voi olla teräsromun, harkkoraudan tai sulan raakauraudan sisältämää hiiltä tai panokseen lisättyä hiilipitoista materiaalia, koksia, hiilipulveria tai antrasiittia. Nykyaikaisessa sulatuspraktiikassa hiilipulveria lisätään myös sulatuksen aikana, jolloin saadaan jatkuva hiilen hapetusreaktio. Näin syntyvä hiilimonoksidikaasu saa aikaan kuonan kuohumisen uunissa. Kuohuva kuona suojaa uunin vuorausta elektrodien aiheuttamalta kulumiselta. Nykyisessä kuohuvan kuonan praktiikassa poltettavan hiilen määrä on tyypillisesti 1–1,5 % panoksen painosta. (Pulkkinen 2002)

10.3.3 Romupohjaisen teräksenvalmistuksen tuotteet ja poisteet

Imatra Steelin vuoden 2003 tuotanto oli 218 000 t terästä. Teräskuonaa muodostui n. 40 000 t/a. Kuonasta erotettu teräs palautetaan valokaariuuniin, kun taas kuonamurske käytetään tienrakennukseen. Valssihilse, jota syntyi 6600 t, toimitetaan kokonaisuudessaan raaka-aineeksi sementtiteollisuuteen ja raudanvalmistukseen. Valokaariuunipölyä otetaan talteen 2400 t sulaton savukaasujen puhdistuksessa. Sen sisältämät sinkki ja lyijy erotetaan saksalaisessa käsittelylaitoksessa. Imatra Steelin poisteiden kierrätysaste on yli 90 %. (Imatra Steel 2004)

10.4 Hiiliteräksen valmistuksen ympäristöhaasteet

Hiilidioksidi muodostaa tällä hetkellä teräsentuotannon suurimman haasteen. Valmistettaessa tonni terästä koksipohjaisella masuuniprosessi-konvertteri -yhdistelmällä jokaista terästonnia kohden vapautuu n. kaksi tonnia hiilidioksidia. Käytettäessä teräksen valmistukseen romupohjaista sähköuuniprosessia jokaista terästonnia kohden vapautuu 0,4–0,8 tonnia hiilidioksidia riippuen tuotetun sähkön valmistustavasta. (Christmas 2000)

Suomen teräsyrietykset ovat maailman kärkeä käytetyn raaka-aineen ja ominaispäästöjen alhaisuudessa. Hiilidioksidipäästöjen minimoimiseen terästuotetonna kohti laskettuna on päästy (Teknologiateollisuus 2005):

- Valitsemalla energiankäyttöään tehokkaat, parasta saatavilla olevaa tekniikkaa edustavat prosessit,
- Prosesseissa syntyvien kaasujen ja höyryjen hyötykäytöllä,
- Energian käytön jatkuvalla tehostamisella,
- Tuotantoprosessien sivutuotteiden hyötykäytöllä.

Hiiliteräksen valmistuksessa muita ympäristöhaittoja aiheuttavat mm. sintraamojen pöly- ja SO₂-päästöt, eri raaka-ainearastokasojen hajapölypäästöt, koksamon VOC-päästöt, masuunin ja konvertterin sinkkipohjaiset pölyt ja lietteet, valokaariuunin sinkkipohjaiset pölyt ja peittaushappojen käsittely.

11 Teollinen ekologia ja hiiliteräksen valmistus

*”Ajatukset, käsitteet rajoittavat,
mutta idea on aistittavamman muodon saanut äärettömyys,
jonka syvyyteen ihminen saattaa ikään kuin hävitä
ja vapautua yksilöllisen rajoittuneisuutensa kahleista.”*
- Lauri Viljanen

Verrattaessa sulfidisiin raaka-aineisiin perustuvan kuparin ja nikkelin valmistuksen raaka-aineita oksidipohjaisiin hiiliteräksen lähtöaineisiin havaitaan, että ne poikkeavat melkoisesti, mikä näkyy mm. kaasumaisten reaktiotuotteiden erona. Kuparin ja nikkelin valmistuksen suurimman ongelman aiheuttivat rikkidioksidipäästöt, kun taas hiiliteräksen valmistuksen suurimman ympäristöhaasteen muodostaa hiilidioksidipäästöt, joista 90 % on lähtöisin hiilipitoisista raaka-aineista.

Värimetallien valmistusprosessista talteen saadulle rikkidioksidille on onnistuttu kehittämään teollisia hyötykäyttökohteita. Hiilidioksidin päästöjen pienentämiseen liittyvä kehitystyö on vasta alussa. Työn johtava teema on ottaa oppia kuparin ja nikkelin valmistuksen ympärille muodostuneen Harjavallan suurteollisuuspuiston kokemuksista kehitettävässä hiiliteräksen valmistuksen ja edelleen hiiliteräksen ympäristömyönteisyyttä.

Teollisen ekologian soveltamisessa pitää ottaa huomioon seuraavat varaukset (Simola 2005, s. 49 ja Pitkänen 2000): *”Ajatellaan, että on olemassa menestyksen kaava. Ei nähdä toisen yrityksen tietä menestykseen, osaamista, kulttuurihistoriaa tai yhteisen vision ja motivaatiotekijöiden merkitystä. Ei nähdä todellisia menestystekijöitä eikä menestyksen itseään tuhoavia mekanismeja. Menestystä ei voi hyllystä ottaa käyttöön.”*

Liitteessä 10 on esitetty tekijän aihepiiriin liittyvät julkaisut.

11.1 Innovatiivisuus ja sen kehittäminen metallurgisessa teollisuudessa

Innovaatioiden luominen edellyttää, että organisaatio kyseenalaistaa vallitsevat ideat ja niiden takana vallitsevan ajattelun perustat (Saari 2003). Miten valmis on nykyinen metallurginen teollisuus reagoimaan hyvin ilmeisille muutostarpeille, jotka heijastuvat

yhteiskunnan muutostarpeista edelleen metallurgiseen teollisuuteen? Voidaankin esittää seuraavia kysymyksiä ajatellen hiiliteräksen valmistuksen ja hiiliteräksen ominaisuuksien ympäristömyönteisyyden kokonaisvaltaista kehittämistä:

1. Mitä hyvä idea vaatii toteutuakseen metallurgisessa teollisuudessa?
2. Miten tieteellisyys auttaa läpimurtoteknologian innovoinnissa ja kehityksessä?
3. Missä ovat suurien poistemäärien tuotteistamisen ja harmittomaksi tekemisen suurimmat esteet ja suurin kitka?
 - metallurgisen teollisuuden sisällä?
 - metallurgisen teollisuuden asiakkaiden ja tuotteiden käyttäjien vaatimuksissa?
 - viranomaisissa?
 - eri sidosryhmien välisessä yhteistyössä?
 - riittämättömässä taloudellisessa panostuksessa, mikä näkyy esim. henkilö- ja materiaaliresurssien puutteena?
4. Miten pystytään takaamaan luovuuden ja innostuksen säilyminen metallurgisen teollisuuden työntekijöiden ja tutkijoiden keskuudessa, jos tehtävän tutkimus- ja kehitystyön vaikutukset näkyvät vasta vuosien jälkeen tai ei ehkä sittenkään?
5. Mitä pitäisi tehdä, että esteet voitaisiin joko poistaa tai niiden vaikutusta ehkäistä?
6. Onko kaikkia esteitä tai hidasteita syytä poistaakaan? Jähmeyden voi nähdä haittana, mutta myös turvamekanismina, joka estää menemästä ojasta allikkoon.
7. Miten saadaan käyntiin rakentava yhteistyö muun teollisuuden kanssa?

Poisteiden tuotteistamiseen tai harmittomaksi saattamiseen sekä edelleen teolliseen ekologian kehittämiseen liittyvien ongelmien ratkaisu ei ole yhden ihmisen eikä yhden ammattialueen edustajien mahdollista tehdä. Se vaatii samanlaista monen ihmisen yhteen hiileen puhaltamista kuin kuparin liekkisulatusmenetelmää kehitettäessä. Keskeisin asia on työpaikan henkilöstön ammattitaito, korkea työmoraali ja avoin tiedonkulku sekä hyvä yhteisöllisyys. Jatkuva kehitys perustuu pitkäaikaiselle ja rakentavalle yhteistyölle sekä ajassa että sen kulkusuunnassa.

Pelkkä tuotteiden ja tuotantoprosessien kehittäminen ei riitä, vaan yritysten on myös pystyttävä suunnitelmallisesti kehittämään teollisuuden organisaatorakenteita ja toimintakulttuuria sekä yhteistyötä sidosryhmien kanssa. Ympäristömyönteisen suunnittelun tulee kattaa tuotekehittelyn ohella myös organisatoristen ja kulutustottumusten muutosten toteuttamisen. (Honkasalo 2002)

Tulevaisuuden toiminnan hengen on kiteyttänyt Luulajassa sijaitsevan MEFOS-tutkimusyksikön tutkimuspäällikkö Burström (2003) seuraavasti: *”Ympäristöasioiden oikeudenmukainen globaali hoitaminen vaatii ensisijaisesti valtiomiehiltä, poliitikoilta ja viranomaisilta realistisia, järkeviä ja tasapuolisia valtioiden välisiä sopimuksia ja maiden sisäisiä lakeja. Luonnontieteilijöiden, insinöörien, ym. haastava tehtävä on löytää em. strategian mukaiset ratkaisut ja panna ne täytäntöön.”*

11.2 Teollinen ekologia hiiliteräksen valmistuksessa

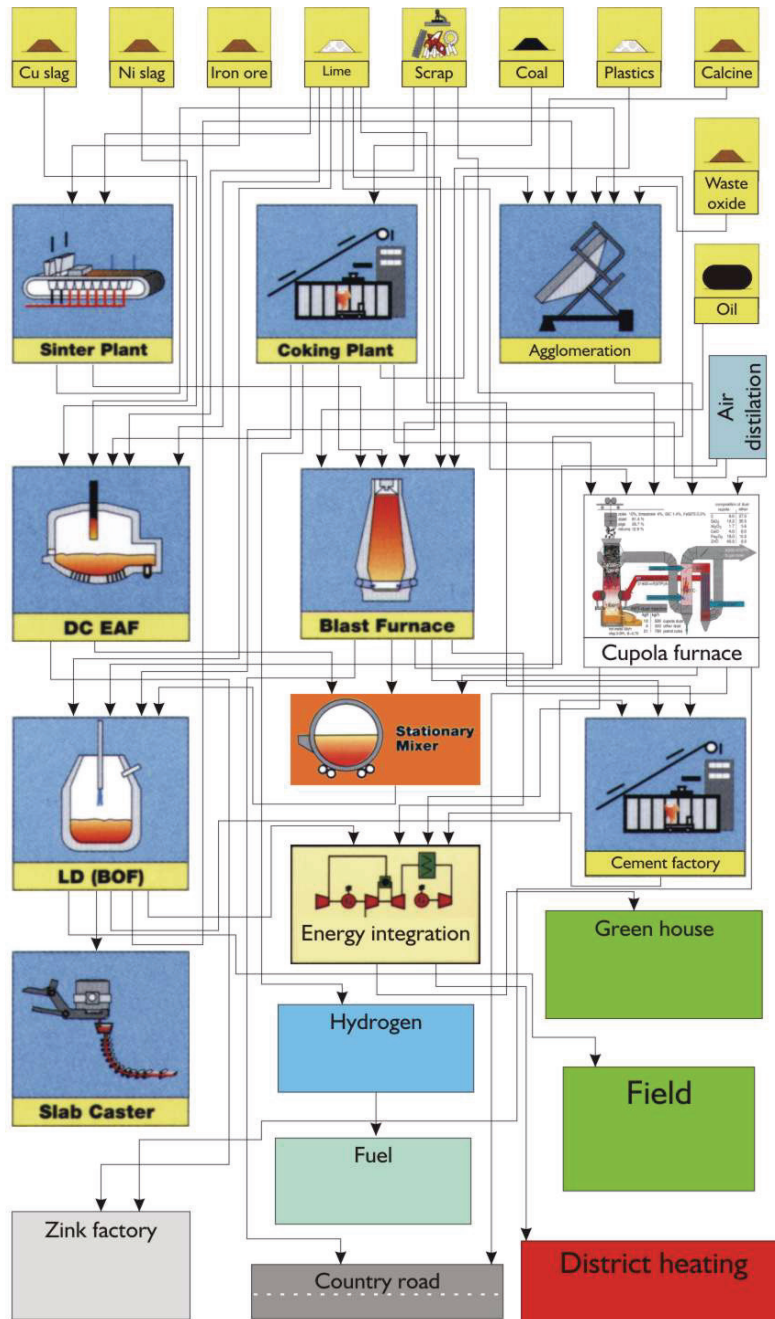
Suunnittelutyön ydinajatus pohjautuu OPTIDUST-projektin loppuyhteenvetoon, jossa todettiin, että *integroidun terästehtaan lietteiden, hilseiden ja pölyjen kierrätysmahdolli-*

suudet suoraan johonkin integroidun terästehtaan yksikköprosessiin lukuun ottamatta konvertterita ovat lähinnä marginaalisia, joten uusioraaka-aineet pyritään hyödyntämään siten, etteivät ne häiritse perusprosessia (Pöyliö, ym. 2002). Edellä esitettyyn lähtökohtaan perustuen teollisen ekologian hahmotelma sovellettuna hiiliteräksen valmistukseen on esitetty kuvassa 16.

Masuunin neitseelliset raaka-aineet ovat rautarikaste (Iron ore), kuonanmuodostajana kalkki (Lime), pelkistimenä ja energialähteenä hiili (Coal) ja palamisen tehostamiseen tarvittava happi, joka saadaan ilmakaasutehtaalta (Air distillation). Kalkki on kuvaan piirretty valmiina kalkkina, eikä yleensä integroidun terästehtaan kalkinpolttamossa prosessoitavana kalkkikivenä. Kierrätysraaka-aineiksi luettavia raskasta polttoöljyä (Oil) ja muovia (Plastics) voidaan käyttää sekä pelkistimenä että energiantuojana masuunissa.

Uusioraaka-aineiksi luettavia pasutetta (Calcine), romua (Scrap) sekä raudan- ja teräksenvalmistuksen pölyjä, lietteitä ja hilseitä (Waste oxides) voidaan prosessoida raudaksi kupoliuunissa. Sekä masuunista (Blast Furnace) että kupoliuunista (Cupola furnace) saatava raakarauta voidaan sekoittaa mikserissä (Stationary Mixer). Mikseristä saatava rauta viedään konvertteriin (LD (BOF)), jossa se mellotetaan teräkseksi hapen avulla. Konvertteriin panostetaan myös jonkin verran romua jäähdykkeeksi ja raudanlähteeksi sekä kalkkia kuonanmuodostajaksi.

Hiiliteräksen valmistuksessa muodostuvien kiintoaineiden sisäisen kierrätyksen suurimman volyymin muodostavat masuunin ja konvertterin pölyt, lietteet ja hilseet sekä sintraamon hienoimmat fraktiot (Waste oxide). Ne kierrätetään agglomeroinnin (Agglomeration) kautta kupoliuuniin. Sekä kupoli- että sähköuunin pölyt pyritään rikastamaan sinkin suhteen sinkkitehtaan (Zinc factory) raaka-aineeksi.



Kuva 16. Yksinkertaistettu teollisen ekologian hahmotelma hiiliteräksen valmistuksessa.

Teräksen valmistuksen pääuusiokraaka-ainelähteinä valokaariuunissa (DC EAF) käytetään romua (Scrap). Valokaariuunissa voidaan myös prosessoida kuparin valmistuksen kuonaa (Cu slag) ja nikkelin valmistuksen kuonaa (Ni slag).

Valokaariuunin nikkeli- ja kuparikuonapohjainen teräs ei välttämättä ole riittävän puhdasta laitettavaksi muun teräksen joukkoon mikserissä. Onkin tarkoin mietittävä ja laskettava se, missä kuonapohjainen teräs kannattaa valmistaa. Jos teräksen valmistus jatketaan esimerkiksi suoraan kupari- ja nikkelikuonien sulasta olotilasta, säästytään jäähdyttämisen ja uudelleen sulattamisen prosessivaiheista ja energiahäviöistä.

Teräksen lisäksi tuotteina saadaan isoja määriä sähköuuni-, masuuni-, kupoliuuni- ja konvertterikuonia. Näiden lisäksi syntyy pieniä määriä senkkametallurgiavaiheiden kuonaa. Eri kuonia voidaan hyödyntää sementin valmistuksessa (Cement factory), maanparannuksessa (Field) ja tienrakentamisessa (Country road), betonin tekemisessä ja lämmöneristysaineena.

Koksaamosta (Coking plant) saatava kaasu voidaan käyttää osaksi vedyn (Hydrogen) ja edelleen metanolin (Fuel) valmistukseen. Loppu koksikaasusta sekä muut poltettavat kaasut ja ylijäämäenergia johdetaan energian tuotantoon (Energy integration), mistä se voidaan hyödyntää joko tehtaan sisäisessä käytössä tai ulkopuolisessa yhteiskunnassa (District heating) ja kasvihuoneviljelyssä (Green house).

Jatkossa käsitellään tarkemmin uusioraaka-aineiden käyttömahdollisuuksia sekä sivutuote- että energiatehokkuutta ja niiden tehostamismahdollisuuksia.

11.3 Hiiliteräksen valmistuksen potentiaaliset uusioraaka-aineet

Vuositain maailmassa tuotettavan n. 1000 milj. terästonnin valmistukseen käytetään n. 400 milj. tonnia uusioterästä. Suomessa teräksestä valmistetuista käytöstä poistetuista tuotteista yli 90 % saadaan kiertoon terästeollisuuden raaka-aineeksi (Teknologiateollisuus 2005).

Muita potentiaalisia mutta vielä hyödyntämättömiä uusioraaka-aineita Suomessa ovat hiiliterästeollisuudessa syntyvät pölyt, lietteet ja hilseet sekä muun teollisuuden rautapohjaiset poisteet, joita ovat mm. Siilinjärven Kemiran rikkikiisun pasutusprosessin rautapohjaiset poisteet, Boliden Harjavalta Oy:n nikkeli- ja kuparikuonat.

Uusioraaka-aineiksi voidaan lukea myös masuunin energiantuojana ja pelkistimenä jo käytettävä raskas pohjaöljy sekä tulevaisuuden potentiaalisena vaihtoehtona muovi.

11.3.1 Hiiliteräksen valmistuksen poisteet teräksen raaka-aineena

Oulun yliopiston Prosessimetallurgian laboratorion, Rautaruukki Oyj:n, SKJ-yhtiöiden, Imatra Steelin sekä Tekesin 2-vuotisen OPTIDUST-projektin tavoitteena oli löytää taloudellisimmat ja ekologisimmat käsittelymenetelmät Rautaruukin Raahan ja Fundian Koverharin malmipohjaisten sekä Fundian Mo i Ranan ja Smedjebackenin sekä Imatra Steelin romupohjaisten terästehtaiden hienojakoisille poisteille (Makkonen, ym. 2001).

Terästehtailla tehokkaasti talteen saatavien pölyjen, hilseiden ja lietteiden ongelman muodostaa niiden taloudellinen ja ekologinen hyödyntäminen. Johtoajatuksena oli löytää kullekin hienojakoiselle poisteelle optimaalinen takaisinkierrätysprosessi (Makkonen, ym. 2002). Todettiin mm., että valtaosa hyödyntämättömästä hienojakoisesta ylimääräaineksesta kannattaa käyttää uuden raudantuotantoyksikön raaka-aineena. Yhtenä vaihtoehtoisena poisteiden käsittely-yksikkönä päätettiin suosittaa kupoliuunua (Pöyliö, ym. 2002).

Kupoliuuni toimii lähes samaan tapaan kuin masuuni, mutta masuuniin verrattuna kupoliuunin toiminta on helpompi pysäyttää vähäksi aikaa ilman niin suuria tappioita kuin masuuniprosessin keskeytyksessä voi tulla. Kupoliuuniin syötetään koksia, briketointua rautaoksidia ja happea. Kupoliuuniprosessista saadaan raakarautaa, kuonaa sekä savukaasujen puhdistuksesta pölyä, jonka arvokomponentti on sinkki (Laitila 2000, s. 37–38, Blaz 2004 ja Still, ym. 2004).

Rautaruukin Raahan tehtaan kierrättämättömien poisteiden määrä (n. 57 000 t/a) on kuitenkin erittäin pieni mahdollisen kupoliuuniprosessin raaka-ainepohjaksi. Fundian Koverharin terästehtaan lisäksi Itämeren ympärillä on Ruotsissa Luulajan ja Oxelösundin yksiköt, jolloin ne ovat laivakuljetuksen vaikutuspiirissä. Käsitteltävän poisteen määrä nousisi jo selvästi korkeammaksi. Taulukossa 13 on esitetty em. tehtaiden yhteenlasketut hyödyntämättömät jäteoksidit (Samuelsson, ym. 2002, s. 12).

Taulukon 13 kertymään voidaan laskea lisäksi myös Rautaruukin Raahan terästehtaan sintraamon kiertokuorman hienojakoisimmat pölyt, jolloin raaka-ainepohja lisääntyy huomattavasti (Makkonen, ym. 2002). Käsittelemällä hienojakoisimmat palautepölyt erillisessä raudantuotantoyksikössä voitaisiin samalla vähentää sintraamon pölypäästöjä (Laitila 2000, s. 42–43, Laitila, ym. 2001 ja Makkonen, ym. 2002).

Taulukko 13. Ruotsin ja Suomen terästehtaiden hyödyntämättömät, hienojakoiset poisteet Itämeren ympärillä (Samuelsson, ym. 2002, s. 12).

Yritys	t/a
Rautaruukki Steel, Raahе	57 000
Fundia, Koverhar	22 000
SSAB Tunnpå AB, Luulaja	49 000
SSAB Oxelösund AB, Oxelösund	38 370
Yhteensä	166 370

11.3.2 Rautapasute teräksen raaka-aineena

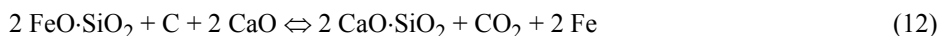
Tällä hetkellä rautapohjaista pyriittipasutetta syntyy Suomessa Kemira GrowHow Oy:n Siilinjärven tehtaiden rikkihapon tuotannon sivutuotteena (Riistama, ym. 2003, s. 112). Leijukerrosrasutusprosessissa syntyvä pasutuskuona sisältää enimmäkseen ferrioksidia (Fe_2O_3). Tärkeimmät pasutteen sisältämät alkuaineet ja yhdisteet on esitetty liitteen 11 taulukossa 1 (Makkonen 1993, s. 1). Yhteensä pasutetta on kertynyt Siilinjärvelle n. 7 milj. t vuosittaisen kertymän ollessa n. 350 000 t. Rautaa on n. 4,7 milj. t, ja vuosikertymä on n. 235 000 t.

Pasutetta on aiemmin käytetty raudan ja teräksen valmistuksen raaka-aineena (Poutanen & Kuisma 1994, s. 15–18 ja Grönblom 1938). Siilinjärven tehtailla syntyvä pasute ei sellaisenaan kelpaa terästeollisuuden raaka-aineeksi, koska pasutteen sisältämä sinkki rikastuu masuunikiertoon aiheuttaen ongelmia masuunin tasaiselle ajolle (Heinänen 2004 ja Raipala 1994, s. 28–29). Potentiaalinen vaihtoehto on käsitellä pasute kupoliuunissa, sillä sen koostumus muistuttaa malmipohjaisen teräksenvalmistuksen hienojakoisia poisteita (Laitila 2000, s. 42–43, Heikkinen, ym. 2003b, s. 5–6 ja Heikkinen, ym. 2005).

11.3.3 Kuparin valmistuksen kuona teräksen raaka-aineena

Kuparin valmistuksen liekkisulatusuunin ja konvertterin kuonan tehtävä on sitoa prosessin aikana syntyvät rautaoksidit sekä sivukiven silikaattiset ja oksidiset ainekset poislassettavaan muotoon (Palosaari 2004, s. 34–44). Liitteen 11 taulukossa 2 on esitetty kuparin hienokuonasta määriteltyjä alkuaineita ja niiden pitoisuuksia (Geoinsinöörit 1999). Kuparikuonaa on kertynyt Harjavaltaan n. 10–13 milj. t, ja sitä tulee joka vuosi hienokuonan muodossa lisää n. 350 000 t. Rautaa varastokasoista ja altaista löytyy arviolta n. 4–5 milj. t, ja joka vuosi kertyy lisää rautaa n. 150 000 t.

Raudan valmistaminen kuparikuonista masuunissa ei ole fajaliittisen kuonan alhaisen rautapitoisuuden takia vielä taloudellisesti kannattavaa (Nurmi, ym. 1995, s. 19). Outo-kumpu kehitti 1950 -luvun taitteessa valokaariuunipohjaista menetelmää raudan talteenottamiseksi kupari kuonasta. Kalkki ja hiili yhtyivät korkeassa lämpötilassa, jolloin syntyvaiheessa oleva kalsiumkarbidi pelkisti rautasilikaatin (Särkikoski 1999, s. 92.). Prosessin pääreaktio valokaariuunissa on (Raitasuo 1993, s. 22):



Laboratoriokokeet osoittivat ajatuksen toimivan, mutta lisäselvityksissä todettiin, ettei prosessi ollut tarpeeksi kehittynyt tuotantoon (Mäntymäki 1999, s. 21–22). Sanchez, ym. (2004) ovat myöhemmin tutkineet pelkistysulatuksen hyödyntämistä kuparikuonan raudan talteenotossa. Termodynaamisten laskelmien ja laboratoriokokeiden perusteella heidän saamansa tulokset ovat erittäin lupaavia. Korkeassa lämpötilassa tapahtuneen kuparikuonan suorapelkistysprosessin tuotteita olivat (Sanchez, ym. 2004):

- *Fe-Cu-C-seos, jota voi käyttää teräksen tuotantoon,*
- *Matalan metallipitoisuuden inertti kuona, joka soveltuu sementin tuotantoon,*
- *Korkean CO-pitoisuuden omaava pelkistyskaasu, joka soveltuu sekä sähkön- että lämmön tuotantoon.*

11.3.4 Nikkelin valmistuksen kuona teräksen raaka-aineena

Nikkelin valmistuksen liekkisulatusuunin kuonan tehtävänä on myös sitoa prosessin aikana syntyvät rautaoksidit sekä sivukiven silikaattiset ja oksidiset ainekset poislassettavaan muotoon (Kytö & Vartiainen 1993). Toisin kuin kuparin valmistuksessa nikkelin valmistuksen liekkisulatusuunikuona puhdistetaan sähköuunissa käyttämällä koksia pelkistäjä-

nä. Sähköuunin jälkeen veteen rakeistetun sähköuunin kuonan koostumus on esitetty liitteen 11 taulukossa 3. Nikkelikuonaa Harjavaltaan on kertynyt n. 3 milj. t, ja sitä tulee joka vuosi lisää n. 120 000 t (Kotala 2004, s. 54). Rautaa varastokasoista löytyy arviolta n. 1,3 milj. t, ja joka vuosi kertyy lisää rautaa n. 50 000 t.

Nurmen ym. (1995, s. 19) tekemän selvityksen mukaan raudan tekeminen nikkelikuonasta ei ollut masuunipohjaisella prosessilla taloudellisesti kannattavaa, koska rautapitoisuus fajaliittisessa kuonassa on liian alhainen. Em. valokaariuunipohjainen menetelmä on siis mahdollinen raudan talteen ottamiseksi myös silikaattisesta nikkelikuonasta (Raitasuo 1993, s. 22 ja Sanchez, ym. 2004).

11.3.5 Raskas polttoöljy ja muovi masuunin pelkistimenä ja energianlähteenä

Rautaruukin Raahan tehtaalla käytettiin vuonna 2004 korkean öljynjalostamon korkean rikkipitoisuuden pohjaöljyä 286 000 t (Paldanius, ym. 2004, s. 8). Esilämmitetty raskaöljy injektoidaan masuunin hormoneilta käytettäväksi sekä energian lähteenä että pelkistimenä. Öljyn rikki sitoutuu pysyvästi olotilaan masuunikuonaan, kun se esimerkiksi energiantuotantolaitoksella poltettaessa vaatisi ulkoiset rikinpoistolaitteet.

Uusioraaka-ainetehokkuutta voitaisiin parantaa käyttämällä jätemuovia masuunin raaka-aineena koksien sijasta (Tekniikka & Talous 1997). Poltettaessa muovin energiasisällöstä saadaan talteen n. 80 %. Masuunissa muovi toimii koksien tavoin ja vapauttaa vetyä sekä hiiltä malmin pelkistämiseen. Näin käytettynä muovi on arvokkaammassa käytössä kuin pelkässä poltossa (Emi 2004).

Öljyn ja muovin yhteiskäyttömäärässä on kuitenkin olemassa yläraja, koska termisen ja kemiallisen tehtävän lisäksi koksilla on masuunissa myös ns. mekaaninen tehtävä. Koksipatja toimii tukimateriaalina masuunin kuilussa sekä kuilun pitäminen riittävän avoimena alhaalta nouseville kaasuvirtauksille. Panoksen laskeutuessa masuunin pesään koko yllä olevan materiaalin paino on koksien varassa. (Heikkinen 2002)

11.3.6 Yhteenveto ja kriittinen pohdinta

Uusioraaka-aineiden käyttö ei suoranaisesti vähennä energiantarvetta ja kasvihuonekaasuja, vaikka niitä käyttämällä säästettäisiin neitseellisiä raaka-aineita sekä tietenkin ratkaistaan muiden yritysten poisteongelmia (Viklund-White 1999). Esimerkiksi kuparikuonassa olevan raudan hapetusaste on 2. Malmipohjaisessa raaka-aineessa hapetusaste on pääasiassa 3, vaikka magnetiitissa on jonkin verran kahden arvoista rautaa. Fajaliittisen sitoutumisen takia tämä hyöty kuitenkin menetetään, jos tarkastellaan asiaa energian kulutuksen kannalta (Pelton & Bale 1999).

Monet poistekasat voivat olla rikkaampia esiintymiä kuin luonnon malmiot (Szekely 1996). Niiden hyödyntämiseen liittyvät tekijät vaativat luovia ratkaisuja, sillä vielä ei ole pystytty kehittämään taloudellisia keinoja poistaa teräksen lujuutta haittaavia harmeai-

neita. Niitä kumuloituu teräkseen myös silloin, kun käytetään romua raaka-aineena (Emi 2004).

Uusioraaka-aineille on kehitettävä hiiliteräksen valmistuksen pääprosessin viereen omat käsittelyratkaisut, jolloin se voidaan hyödyntää optimaalisesti käyttötarkoituksen mukaan. Muuten rautapohjaisten poisteiden kierrätyksen ekologiset ja taloudelliset säästöt saatettaisiin menettää pääprosessin tuottavuuden laskuna tai lisääntyneenä energiankulutuksena (Pöyliö, ym. 2002).

Yksittäisen hiiliterästehtaan uusiorautaraaka-ainepoistekertymä on yleensä niin pieni, ettei sen takia kannata rakentaa käsittely-yksikköä. Tällöin voidaan yhdistää sekä maan sisäiset että mahdollisesti naapurimaiden poisteet, jolloin taloudellinen raaka-ainepohja saadaan aikaan (Samuelsson, ym. 2002, s. 12). Kupoliuunipohjaisessa käsittelyssä on mahdollista hyödyntää myös kemian teollisuudessa syntyviä pasutteita, jotka harmaainekoostumukseltaan muistuttavat hiiliterästeollisuuden jätöksideja (Riistama, ym. 2003, s. 112 ja Heikkinen, ym. 2005).

Uusioraaka-aineiden käytössä on muutenkin oltava tarkkana, sillä taloudellista ja ekologista lopputulosta ei takaa pelkästään materiaalin kemiallinen yhteensopivuus. Sekä fysikaalisilla (kosteus, partikkelikoko, kovuus, materiaalin lämpötila ja olomuoto) että mineralogisilla ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus materiaalin hyödynnettävyyteen. Materiaalin kuivaaminen, agglomerointi tai jauhatus sekä lämmittäminen ovat kaikki energiaa kuluttavia prosesseja, joihin vaikuttavat edellä luetellut fysikaaliset ja mineralogiset ominaisuudet.

Edellä esitetyn takia pitäisi pystyä menemään prosessia ylävirtaan aina siihen pisteeseen asti, jolloin materiaali on ideaalisinta hyödynnettäväksi. Erityisen tärkeää se on metallurgisessa teollisuudessa, jossa prosessimateriaalit joudutaan usein sulattamaan riittävän nopean prosessoinnin aikaansaamiseksi. Reunaehtona tällaisessa pääprosessin sisälle menevässä toiminnassa on edellä mainittu periaate olla häiritsemättä ydinprosessia.

Prosessoinnin avulla voidaan hyödyntää myös muita poisteissa olevia arvoaineita sekä saattaa lopuksi jäävä kuona sellaiseen muotoon, että se voidaan joko hyötykäyttää tai sijoittaa luontoon haitattomasti. Vaikeasti poistettavat harmaaineet voivat kuitenkin aiheuttaa sen, että poisteongelma tullaan ensi alkuun ratkaisemaan muilla keinoilla. Esimerkiksi nikkeli- ja kuparikuonien tapauksessa niitä voidaan hyödyntää sopivasti käsiteltynä maa- ja tierakentamisessa, kaatopaikkojen peitosteena, kattohuopateollisuudessa ja hiekkapuhalluksessa (Leinonen 2005).

11.4 Hiiliteräksen valmistuksen sivutuotetehokkuus ja sen kehittäminen

Tällä hetkellä Suomessa hiiliteräksen valmistuksen suurin ulos myytävä sivutuotevolyyymi muodostuu kuonatuotteista. Muita ulos myytäviä sivutuotteita ovat rikki, bentseeni ja terva. Sivutuotteiksi voidaan lukea myös koksi- ja masuunikaasut, jotka Rauraruukki käyttää omaan energian tuotantoon. Em. kaasujen lisäksi myös konvertterikaasu on potentiaalinen sivutuote.

11.4.1 Hiiliteräksen valmistuksen potentiaaliset kiinteät sivutuotteet

Malmipohjaisessa teräksenvalmistuksessa merkittävimmät kiinteät sivutuotteet ovat masuuni- ja teräskuona. Sen lisäksi syntyy pienempiä määriä rikinpoisto-, mikseri- ja jatkuvavalun välisenkkakuonaa. (Kuonankäytön käsikirja 1999)

Masuunikuonaa syntyy n. 300 kg raakaraudatonnia kohden. Masuunikuona erotetaan sulasta raakaraudasta laskukourussa ohjaamalla se omaa kouruaan pitkin kuonasenkkään. Masuunikuonan jäähdytys tapahtuu masuunin ulkopuolella joko ilma- tai vesijäähdytyksenä. Masuunikuonaa voidaan käyttää maa- ja tierakennukseen sekä rakennusaineteollisuudessa betonin lisäaineina. Maa- ja tierakennuksessa masuunikuonan etuja ovat hyvä lämmöneristyskyky sekä kantokyky. (Kuonankäytön käsikirja 1999)

LD-konverterterista saatava teräskuona sisältää kalsiumoksidin lisäksi myös jonkin verran magnesiumoksidia, piidioksidia, alumiinioksidia ja mangaanioksidia sekä fosforipentoksidia ja hiukan rautaa. Teräskuona voidaan ilmajäähdyttää, jolloin siitä saadaan joko kappalekuonaa tai jalostamalla murskauksen ja seulonnan avulla fraktioitua teräskuonamurskettä. Kuona voidaan jäädyttää myös vedellä. Teräskuonaa voidaan käyttää mm. peltojen kalkitukseen tai tierakennukseen. (Kuonankäytön käsikirja 1999)

Kuonien käyttöä voidaan lisätä sementin raaka-aineena ja maanparannuksessa, jolloin säästetään neitseellisiä raaka-aineita ja vähennetään hiilidioksidipäästöjä (Hiltunen & Hiltunen 2004b, von Gizycki, ym. 2004 ja Hemminki 2002). Teräskuonaa voidaan käyttää myös sementtiä korvaavana aineena, sillä sen mineraalikoostumus on sama kuin sementin. Ratkaisulla säästetään uusiutuvia luonnonvaroja ja pystytään vähentämään hiilidioksidipäästöjä (Mäkikyrö 2004, s. 129–130). Lisäämällä teräskuonien käyttöä maanparannusaineena säästetään myös huomattavasti energiaa ja hiilidioksidipäästöjä verrattuna siihen, jos samaan kalkitusvaikutukseen pyritään neitseellisen kalkkikiven avulla (Levonmäki & Hartikainen 2002).

Valokaariuunin kuonan ongelma sementin valmistuksessa on ollut sen hankala ja energiaa kuluttava jauhaminen. CemStar-yhtiö Yhdysvalloissa keksi, ettei teräskuonaa tarvinnut jauhaa kuin 5 cm:n raekokoon. Tällöin teräskuona toimii sekä CaO:n että tarvittavan kvartsin lähteenä unohtamatta niitä positiivisia vaikutuksia, jolla teräskuonan hematiitilla on sementin ominaisuuksiin. (Van Oss & Padovani 2003)

SKJ-yhtiöiden yhdessä Rautaruukin työntekijöiden kanssa tekemästä vahvasta perustyöstä on hyvä jatkaa ja kehittää moni-ilmeisempiä kuonatuotteita (Hiltunen & Hiltunen 2004a ja Hiltunen & Pöyliö 1998). Hyvänä esimerkkinä masuunikuonatuotteiden edelleen kehittamisestä on niiden jalostaminen geopolymeereiksi, joita voidaan käyttää tulenkestävyyttä vaativissa sovelluksissa (Cheng & Chiu 2003).

Sekä valokaari- että kupoliuunin savukaasun pölynpoistossa talteen saatava konsentroitunut sinkkiyhdiste voidaan käyttää sinkkiteollisuuden uusioraaka-aineena sinkkitehtaalla. Tällöin ei romussa oleva sinkki nouse raudan valmistuksen ongelmaksi, koska se voidaan poistaa kupoliuunissa. Esimerkiksi Boliden Kokkola Oy:n sinkkitehdas hyödyntää jo nyt Boliden Harjavalta Oy:n ventilaatiopölyä ja OMG Kokkola Chemicals Oy:ltä sinkkipitoisia sakkoja. Em. poisteiden lisäksi hyödynnetään sinkkipitoisia pesu- ja peittushappoja sekä muita liuoksia. (Rytioja 2002)

11.4.2 Hiiliteräksen valmistuksen potentiaaliset kaasumaiset sivutuotteet

Koksausprosessissa talteen saatava koksikaasu on merkittävä energialähde, sillä sen lämpöarvo $16,6 \text{ MJ/Nm}^3$. Koksikaasua syntyy vuositasolla n. 450 milj. Nm^3 (Tervonen, ym. 2002, s. 15). Puhdistetun koksikaasun keskimääräinen koostumus on esitetty taulukossa 14 (Heino & Kaisto 2002).

Taulukko 14. Puhdistetun koksikaasun koostumus (Heino & Kaisto 2002).

H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₆	N ₂	O ₂	H ₂ S	Naft.	Bent	NH ₃
%	%	%	%	%	%	%	%	g/m ³	g/m ³	g/m ³
58,7	23,9	5,9	1,7	0,7	6,8	0,15	0,02	0,02	0,65	0,003

Koksikaasun koostumuksessa on merkille pantavaa sen korkea vetypitoisuus. Yksi mahdollisuus olisi tehdä ainakin osasta koksikaasua vetyä, jolloin pystyttäisiin välttämään esimerkiksi veden elektrolyysiin perustuva tai teollisuusbensiini- ja maakaasupohjainen vedyn valmistus (Riistama, ym. 2003, s. 37 ja 244). Vety on joko auton moottorin saasteeton polttoaine tai kemian teollisuuden arvokas raaka-aine (Emi 2004).

Sekä masuuni- että koksikaasu sisältävät poltonkin jälkeen hiilidioksidia, jota on mahdollista hyödyntää joko kierrättämällä omassa prosessissa tai sitten muiden prosessien raaka-aineina (Härkki & Ruuska 2004 ja Raudaskoski, ym. 2004). Määrällisesti hiilidioksidin tämänhetkinen käyttö ei ole kovin korkea, jos se suhteutetaan hiiliteräksen valmistuksen päästöihin (Riistama, ym. 2003, s. 246 ja Hakola & Kinnunen, 2006, s. 62).

11.4.3 Synergia muiden teollisuuden alojen kanssa

Hiiliteräksen valmistuksen ympäristöongelmat on mahdollista kääntää myös mahdollisuuksiksi hyvällä synergialla muun teollisuuden kanssa. Sivutuotteiden hyötykäyttöä on tehostettu laajoilla tutkimusohjelmilla. Parhaimmillaan sivutuotteita voidaankin hyödyntää yli 90-prosenttisesti. Terästehtaiden kuonia käytetään maa- ja tierakentamisessa, sementin valmistuksessa ja maanparannusaineena. Kuonan käsittelyssä erottuva jäähmetynyt metalli palautetaan prosessiin. Kehitystyön onnistumisesta kertoo se, että Suomessa kehitettyä kuonien käsittelyprosessia on myyty myös muihin maihin. (Teknologiateollisuus 2003)

Raudan ja teräksen valmistuksen väli- ja sivutuotteet voivat toimia myös uuden teollisuusyrittäjyyden käynnistäjinä. Koksikaasun sisältämää vetyä voidaan käyttää ajoneuvojen energianlähteinä (Hakola & Kinnunen 2006, s. 45–48). Terästuotantoon näin jäänyt energiavaje voidaan korvata esim. uusituville puupohjaisilla polttoaineilla, koska niiden hyödyntäminen isossa mittakaavan laitoksissa on helpompaa ja tehokkaampaa. Myös metallurgisen teollisuuden poistokaasujen sisältämä hiilidioksidi voi olla muun teollisuuden uusiraaka-ainelähde (Hakola & Kinnunen 2006, s. 49–50).

Mahdollisuudet ovat moninaiset, mutta yksittäiset ekohyödyt eivät välttämättä ole kovin isot. Monien eri sivutuoteinnovaatioiden yhteenlasketulla määrällä voidaan kuitenkin

kin päästä riittäviin säästöihin. Tämä vaatii kuitenkin kokonaisvaltaista asennemuutosta bulkkituotantoon perustuvalla teollisuuden alalla.

Yhdessä muiden teollisuuden alojen kanssa saavutetut synergiaedut esim. hiilidioksidipäästöjen pienentämisessä on myös osattava jyvittää oikein. Jyvittämiseen on yhteiskunnan ohjaavien toimien suotava mahdollisuudet. Oksidisilla uusiorautaraaka-aineilla ei suoranaisesti pystytäkään vähentämään hiilidioksidipäästöjä, jolloin muiden teollisuuden alojen saamat ekohyödyt voitaisiin laskea osin hiiliterästeollisuuden eduksi ns. CO₂-ekvivalenttina, joka voidaan laskea käyttämällä esim. elinkaariarviointiohjelmiä.

11.5 Hiiliteräksen valmistuksen energiatehokkuus ja sen parantaminen

Terästehtaan ylijäämälämmön käytöllä ympäröivän yhdyskunnan kaukolämpönä on huomattava energiataloudellinen ja samalla ympäristömyönteinen merkitys Rautaruukin Raahen tehtaan ympäristökunnille (Teknologiateollisuus 2005). Tehtaan tarvitsemasta sähköenergiasta tuotetaan n. 60 % omassa voimalaitoksessa, jossa polttoaineena käytetään masuunikaasua (Tervonen, ym. 2002, s. 15).

Energiatehokkuutta pystytään parantamaan ottamalla käyttöön konverterrikaasun lämpösisältö kokonaisuudessaan käyttämällä se koksikaasuun sekoitettuna valssilaitoksen aihiouunien polttoaineena (Tervonen, ym. 2003, s. 15). Konverterrikaasun energiasisältö on mahdollista hyödyntää myös kombivoimalan avulla (Emi & Seetharaman 2000).

Usein suurten teollisten prosessien kehittyminen on tapahtunut pitkän ajan kuluessa suunnittelun, useiden evoluutioiden ja parannusten kautta. Soveltamalla niihin pinch-analyysiä voidaan yleensä osoittaa, että energian kulutusta voidaan edelleen alentaa (Muuri-nen 1993, s. 85). Prosessi-integraatiomenetelmien avulla voidaan löytää optimaalinen kokonaisratkaisu prosessille huomioon ottaen monitahoiset kriteerit, kuten energiatehokkuus, taloudellisuus, käytettävyyys ja joustavuus (Gundersen 2000).

Pienentämällä energia- ja vesikustannuksia, tehostamalla raaka-aineiden hyväksikäyttöä ja lisäämällä teollisuustuotannon ja yhdyskuntien välistä vuorovaikutusta voidaan teollisuuden kustannus- ja teknologiakilpailukykyä parantaa (Fogelhom 2005).

Lindbladin ym. (2004) mukaan integroidussa terästehtaassa on edelleen hyödyntämättä lämpöenergiaa, mutta sen exergia-arvo on erittäin alhainen. Hyödyntämistä haittaa myös lämmön talteenoton tekniset ongelmat. Edellä on jo esitetty, että matalalämpötilavirtoja voitaisiin mahdollisesti käyttää kasvihuoneiden lämmittämiseen. Muitakin ylijäämäenergian käyttökohteita on, mutta se vaatii laajempaa ja ennakkoluulottomampaa yhdyskuntasuunnittelua. Kasvihuoneviljelyllä voidaan parantaa ainakin osittain hiiliteräksen valmistuksen negatiivista hiilidioksiditasetta sekä energian käyttöä tehostamalla että myös kasveihin sitoutuvan hiilidioksidin muodossa.

11.5.1 Hiiliteräsekosysteemin onnettomuus- ja suuronnettomuusriskejä

Hiiliteräksen valmistus luetaan jo nyt onnettomuusriskialttiiksi, sillä kuuluuhan Rautaruukin Raahan malmipohjainen terästehdas Turvatekniikan keskuksen mukaan yhdeksi Suomen teolliseksi riskikohteeksi (Repo 2001). Teollisen ekosysteemin kehittämiseen liittyvä tuotetehokkuuden lisääminen ei suinkaan pienennä onnettomuuksien mahdollisuutta, sillä teollisissa prosesseissa saatetaan joutua ottamaan käyttöön yhä aggressiivisempaa kemiallisia yhdisteitä, korkeita lämpötiloja ja paineita (Honkasalo 1982a).

Hiiliteräksen valmistuksen ympärille syntyvä teollinen ekosysteemi saattaa myös olla vaarallisten aineiden iso ja yhtenäinen valmistus- ja varastoalue, jolloin ns. domino-efekti voi aiheuttaa kokonaisuusvaikutuksiltaan isoja onnettomuuksia (Tihinen, ym. 2003). Hiiliteräksen valmistuksen pohjalle suunnitellun teollisen yhteenliittymän alueella valmistetaan, käytetään ja varastoidaan sekä kuljetetaan isoja määriä vaarallisia aineita, joista mainittakoon mm. sula rauta ja teräs, sulat kuonat, nestemäinen ja kaasumainen happi, polttoöljy, vety, poltettu kalkki, masuunikaasu ja koksaaamokaasu.

Tehdasalueen riskikohteiksi voidaan luetella muun muassa:

- Masuuni, sähköuuni, kupoliuunirikinpoistoasema, mikseri, LD-konvetteri, senkkäkäsittelyvaiheet ja jatkuvavalu, sulan metallin ja kuonan kuljetus senkoissa, kuonan vesijähdytys,
- Masuunikaasukello, masuunikaasun putkikuljetus ja käyttö,
- Koksamo ja koksamon sivutuotelaitos,
- Koksikaasukello, koksikaasun putkikuljetus ja käyttö,
- Ilmakaasutehtaat,
- Hapen valmistus, varastointi, putkikuljetus ja käyttö,
- Vedin valmistus, varastointi, putkikuljetus ja autokuljetus,
- Hiilen ja koksen käsittelyn pölyräjähdysmahdollisuus.

Teknisten järjestelmien monimutkaistuminen sekä monien eri alan yritysten yhteen liittyminen pienelle alueelle asettaa kasvavia vaatimuksia riskien kartoittamiselle sekä edelleen turvallisuustekniikoille. Harjavallan Suurteollisuuspuistosta saatujen kokemusten perusteella voidaan sanoa, että paras ennaltaehkäisevä vaikutus saavutetaan, jos turvallisuuspuoli on monipuolisen, säännöllisen ja virallisesti organisoidun yhteistyön kohteena. Näin myös tieto vaarallisista aineista ja niiden käyttäytymisestä lisääntyy puhumattakaan siitä, että on aina hyväksi, kun toisen yrityksen edustaja katsoo asioita eri näkökulmasta.

11.6 Yhteenveto ja kriittinen pohdinta

Suomen terästeollisuuden hiilidioksidipäästöistä suurin osa syntyy koksen käytöstä masuunissa malmipohjaisen raudan valmistamiseksi. Koksen määrää voidaan jonkin verran pienentää käyttämällä korvaavina aineina öljyä tai muovia. Niiden yhteiskäyttämässä on kuitenkin olemassa yläraja, jonka määrää osaltaan masuunin häiriöttömän toimivuuden takaava koksen mekaaninen tehtävä. Koksipatja toimii tukimateriaalina masuunin kuilussa huolehtien samalla kaasuvirtausten mahdollisuudesta nousta ylös.

Pääomavaltaisuutensa takia suurten prosessimuutosten aikaansaanti on hyvin hidasta. Tämän takia on nähty varmemmaksi edetä isoa peruslinjaa, jota edelleen tehostetaan ja kehitetään. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä onkin käytettävä monia eri tehtaan sisäisiä että eri yritysten välisiä keinoja, joiden yhteisvirrasta tulee sitten riittävän iso päästövähenys. Tällä hetkellä vallitseva CO₂-vähennyssuhdanne ei saisi hämärryttää ja mitätöidä muuta arvokasta hiiliteräksen valmistuksen piirissä elinympäristön hyväksi tehtävää tuotekehitystyötä, jonka tuloksia voidaan hyödyntää myös muiden teollisuudenalojen ongelmien ratkaisussa.

Romua lukuun ottamatta muiden uusiorautaraaka-aineiden käyttö ei suoranaisesti vähennä energiantarvetta ja kasvihuonekaasuja, vaikka niitä käyttämällä säästetäänkin neitseellisiä raaka-aineita sekä tietenkin ratkaistaan omia ja muiden yritysten poisteongelmia. Uusioraaka-aineille on kehitettävä hiiliteräksen valmistuksen pääprosessin viereen omat käsittelyratkaisut, jolloin se voidaan hyödyntää optimaalisesti käyttötarkoituksen mukaan. Prosessoinnin avulla voidaan hyödyntää myös muita poisteissa olevia arvoaineita sekä saattaa lopuksi jäävä kuona sellaiseen muotoon, että se voidaan joko hyödyntää tai sijoittaa luontoon haitattomasti.

Uusioraaka-aineiden käytön taloudellista ja ekologista lopputulosta ei takaa pelkästään materiaalin kemiallinen yhteensopivuus. Sekä fysikaalisilla että mineralogisilla ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus materiaalin hyödynnettävyyteen. Edellä esitetyn takia pitäisi pystyä menemään prosessia ylävirtaan aina siihen pisteeseen asti, jolloin materiaali on ideaalisinta hyödynnettäväksi.

Hiiliteräksen valmistuksen ympärille syntyvillä teollisilla ekosysteemeillä on hyvät edellytykset reagoida tulevaisuuden kasvaviin haasteisiin koskien sekä taloudellisesti kannattavaa tuotantoa että ympäristöasiat huomioon ottavaa vastuullista toimintaa. Talouden ja ekologisuuden liitto voi toteutua vain, jos ekosfäärin arvo ja kantokyky saadaan esitettyä siten, että elinkeinoelämä ymmärtää ne ja kantaa niistä vastuun, puhumattakaan tietenkin yksittäisten ihmisten moraalista vastuusta (Schmidt-Bleek 2000, s. 106). ”Ekologisen valuutan” on vastattava ekosfäärin arvoa ja kantokykyä, jotta se olisi tarpeeksi käytännöllinen toimiakseen markkinoilla.

Tuotetehokkuutta parannettaessa joudutaan yleensä käyttämään korkeampia lämpötiloja ja paineita sekä mahdollisesti tuottamaan vaarallisia aineita. Tällöin hiiliteräksen valmistuksen ympärille syntyvä teollinen ekosysteemi saattaa olla vaarallisten aineiden iso ja yhtenäinen valmistus- ja varastoalue, mikä asettaa kasvavia vaatimuksia riskien kartoittamiselle sekä edelleen turvallisuustekniikoille.

12 Hiiliteräksen ympäristömyönteisyyden kehittäminen

"Learning and understanding require intensive study, detailed inquiry, careful thought, clear discernment and constant practice. Success comes from cumulative learning and practice."
Konfutse

Keitschin (2005) mukaan teollinen ekologia vaikuttaa ja sen kehittämiseen voidaan vaikuttaa samanaikaisesti kolmella eri tasolla:

- Mikrotaso, jolla parannetaan tuotteita ja tuotantoprosesseja,
- Mesotaso, jolla suunnitellaan uusia tuotteita ja prosesseja,
- Makrotaso, jolla suunnitellaan uusia toimenpiderakenteita.

Sivutuote- tai energiatehokkuuden parantamisen lisäksi merkittävä kehityspotentiaali löytyy myös päätuotteen ominaisuuksien parantamisesta. Teräksen ainutkertaiset käyttöominaisuudet ja kierrätettävyys tarjoaa hyvän lähtökohdan ekotehokkaiden tuotteiden suunnittelulle ja toteutukselle (Hemminki 2004). Teräksen iso käyttövolyymi tarkoittaa myös sitä, että myös sen käyttövaiheessa syntyy haitallisia kasvihuonepäästöjä, joiden pienentämiseen pystytään teräksen kehitystyöllä vaikuttamaan. Kestävää kehitystä tavoiteltaessa tullaan yhä enemmän täydentämään perinteistä prosessi- ja tuotantoyksikköperusteista ympäristölainsäädäntöä tuotelähtöisellä ympäristölainsäädännöllä.

Säädöksissä tullaan huomioimaan perinteistä tuotantoyksikkösäätelyä laajemmin koko tuotteen elinkaari. Vuonna 1992 on YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa Rio de Janeirossa määritelty ekotehokkuus seuraavasti (Hemminki 2004): *"Ekotehokkuus saavutetaan tarjoamalla kilpailukykyisesti hinnoiteltuja tuotteita ja palveluja siten, että inhimilliset tarpeet tyydytetään ja elämän laatu taataan, ja samalla lisääntyvässä määrin vähennetään tuotannon elinkaaren aikaisia ekologisia vaikutuksia ja tuotteiden resurssi-intensiivisyyttä vähintään tasolle, joka vastaa maapallon arvioitua kantokykyä."* Määritelmä edustaa teräksen tuotannon tulevaisuutta, jolloin pitää kiinnittää entistä enemmän huomiota materiaalikehitykseen, jotta päästään vähemmällä teräsmäärällä (Wanne & Kivivuori 2004).

Teollisen ekologian mallin soveltamisen tavoitteena on vapauttaa resursseja, jolloin teräsentekijät voivat keskittyä omalle ydinosaamisalueelleen ja kehittää entisestään teräksen ainutkertaisia ominaisuuksia. Hiiliteräksen valmistajan ydinosaamisalueeseen

kuuluvat teräksen tuottamisen lisäksi myös teräksen asiakastarpeen mukaiset räätälöidyt ratkaisut, jotka perustuvat osin jo itse teräksenvalmistusprosessiin. Samalla pystytään vaikuttamaan hukkamateriaalin syntyynkin.

Tällä hetkellä eletään kahden aikakauden rajapinnalla, jolloin on vaikea päättää, kumman aikakauden normeja käytetään. Jos lähdetään realiteeteista ja todetaan luvun 4 tarkasteluun perustuen, että iso osa tavaroista joutuu kierrätykseen riippumatta niiden laadusta. Pitää tarkoin miettiä myös sitä, kuinka paljon sellaisen materiaalin tekemiseen kannattaa investoida voimavaroja. Tavoitteena voi siis olla sekin, ettei tuoteta ylilaatua vaan mitoitetaan teräksen vaativuusmitoitus käyttötarkoituksen perusteella kyseisessä tapauksessa keskittyen enemmän kierrätettävyyteen.

Jos ajatellaan entistä pidemmälle ja päästään siihen, että tarvittava teräsmateriaalimäärä ei enää kasvakaan. Tällöin kierrätysromun suhteellinen osuus kasvaa entisestään. Neitseellisten raaka-aineiden käyttöä on puolustettu teräksen kokonaistarpeen kasvun lisäksi myös sillä, että puhtaita raaka-aineita tarvitaan puhtaiden ja kestävien terästen tekemisen takia. Kierrätettävyyttä tarkoittaa myös laatua ja kestävyyttä heikentävien harteaineiden poistamista joko mekaanisesti tai sitten sulafaasista uusilla menetelmillä. Romun puhtaus- tai harteaineiden poistovaatimukset lisääntyvät, jolloin niiden entistä tehokkaamman poistamisen eteen pitää tehdä tutkimusta. Tällöin myös harteaineita sisältävät uusioraaka-aineet ovat entistä varteenotettavampia uusioraaka-ainelähteitä.

Teräksen tuotekehitystyöllä kohti kevyempiä, mutta samalla lujempia tuoteominaisuuksia, on vaikutusta sekä suoranaisesti että välillisesti ympäristön tilaa parantaviin ominaisuuksiin. Osa säästöistä tulee energiankulutuksen pienenemisenä, kun taas välilliset vaikutukset kohdentuvat yhä parempaan työturvallisuuteen ja onnettomuuksien ehkäisyyn. Aggressiivisemmat kemialliset yhdisteet sekä korkeammat prosessilämpötilat että -paineet vaativat myös prosessiteollisuuden rakennemateriaaleilta parempia ominaisuuksia.

13 Yhteenveto

“Yhteiskunta on todella sopimus ... se on kumppanuutta kaikissa tieteissä, kaikessa taiteessa, kumppanuutta kaikissa hyveissä ja kaikessa täydellisyydessä. Koska sellaisen kumppanuuden tavoite voidaan saavuttaa vain monien sukupolvien aikana, siitä tulee kumppanuutta ei ainoastaan niiden välillä, jotka elävät, vaan myös niiden välillä, jotka ovat kuolleet ja jotka tulevat syntymään.”
- Edmund Burke

Ympäristömyönteisyyden todentaminen tieteellisesti on hyvin vaikeaa. Ympäristökehityksen havaitseminen on helpompaa, vaikka osa haittavaikutuksista voi olla niin peittyneitä, ettei niitä huomata. Vaikutus voi tulla esiin vasta pitkän ajan kuluessa sekoittuen muihin tai muista prosesseista tuleviin haittoihin. Monimutkaisten ekologisten yhteyksien ja vaikutusten selvittäminen on vielä lähes mahdotonta, mikä vaikeuttaa tulevaisuuden talousjärjestelmien kehittämistä luontopohjaisiksi.

Kuparin liekkisulatusmenetelmän kehitysvaiheen isossa mittakaavassa tehdyistä kokeiluista ja seuranneista vaikeuksista löytyy syy siihen, miksi metallurgisessa teollisuudessa ei mielellään tehdä suuria muutoksia, jos asioita ei ole tarkoin teoreettisesti tutkittu ja edelleen varmistettu pilot-kokeilla. Muutosten haittojen hinta voi äkkiä viedä taloudelliseen ahdinkoon puhumattakaan mahdollisten harmeainepäästöjen seurauksista ihmisille ja heidän terveydelleen. Metallurgisessa teollisuudessa käsitellään usein vaarallisia ja kuumia aineita, jolloin hallitsemattomien tilanteiden vaikutukset ympäristöön ovat kohutuuttoman suuret.

Liekkisulatusmenetelmän kehittämisen yksi onnistumisen edellytyksistä oli se, että yhteisössä otettiin käyttöön kaikki luovat henkiset voimavarat, jolloin päästiin hienoon lopputulokseen vaikeista olosuhteista huolimatta. Kehitystyössä loputtomien vaikeuksien kanssa taisteltaessa tuli selvästi ilmi ammattitaidon, viitseliäisyyden, peräänantamattomuuden ja ahkeruuden merkitys. Prosessien kehittämisen ansiosta myös työskentelyolosuhteita on pystytty parantamaan huomattavasti.

Kuparin ja nikkelinvalmistuksen ympärille muodostuneen Harjavallan Suurteollisuuspuiston tärkeimmiksi eduiksi yritysten kannalta nousivat ympäristösuojelu- ja kierrätys-hyödyt, imagotekijät ja markkinaedut sekä tietenkin logistiset edut. Myös verkottuminen ja sen myötä parantunut yhteistyö on osoittautunut positiiviseksi kehitystekijäksi. Kehi-

tystyön tuloksena on saatu jalostetumpia ja arvokkaampia tuotteita sekä parannettu raaka-ainetehokkuutta, koska kukin yritys voi keskittyä omalle ydinosaamisalueelleen.

Ympäröivän yhteiskunnan kannalta Harjavallan Suurteollisuuspuiston merkittävimpiä sosiaalisia vaikutuksia ovat välittömät ja välilliset työllistämisaikutukset, kansainvälinen ulottuvuus, paikkakunnan henkisen pääoman lisääntyminen sekä teollisuuskeskittymän myötä tullut tunnettavuus. Myös koulutus ja matkailu hyötyvät alueella sijaitsevasta teollisuusintegraatista.

Suomen hiiliteräksen valmistuksen suuren haasteen muodostaa hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Koksen käytölle pelkistäjänä ei ole nähtävissä suurimittakaavaista taloudellista vaihtoehtoa. Koksen määrää voidaan jonkin verran pienentää käyttämällä öljyä tai muovia. Niiden yhteiskäyttömäärässä on kuitenkin olemassa yläraja, koska koksipatja toimii tukimateriaalina masuunin kuilussa pitäen kuilun riittävän avoimena alhaalta nouseville kaasuvirtauksille.

Hiiliteräksen valmistuksen ominaispäästöjä voidaan kehitystyön avulla edelleen hie-
man pienentää. Ympäristötehokkuutta voidaan parantaa hyödyntämällä muiden teollisuuslaitosten poisteita tai kehittää omaa tuote- ja energiatehokkuutta. Integroitua terästehdasta ajetaan kuin ”ydinvoimalaa” maksimikapasiteetilla. Teräksen valmistuksen uusioraaka-aineille onkin kehitettävä pääprosessin viereen omat käsittelyratkaisut, sillä muuten poisteiden kierrätyksen ekologiset ja taloudelliset säästöt voitaisiin menettää pääprosessin häiriöistä johtuvana tuottavuuden laskuna tai lisääntyneenä energiankulutuksena. Uusioraaka-aineiden laatu ei yleensä ole niin tasainen kuin neitseellisen.

Uusioraaka-aineiden käytössä on oltava kuitenkin tarkkana, sillä taloudellista ja ekologista lopputulosta ei takaa pelkästään materiaalin kemiallinen yhteensopivuus. Sekä fysikaalisilla että mineralogisilla ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus materiaalin hyödynnettävyyteen. Materiaalin kuivaaminen, agglomerointi tai jauhatus sekä lämmittäminen ovat kaikki energiaa kuluttavia prosesseja, joihin materiaalin fysikaaliset ja mineralogiset ominaisuudet vaikuttavat. Pitäisi pystyä menemään prosessissa ylävirtaan siihen pisteeseen asti, jolloin materiaali on ideaalisinta hyödynnettäväksi. Reunaehtona tällaisessa pääprosessin sisälle menevässä toiminnassa on periaate olla häiritsemättä ydinprosessin toimintaa.

Teolliset ekosysteemit syntyvät usein jälkijättöisesti. Tällöin myös isojen poistemäärien välivarastointi voi tulla kysymykseen tapauksessa, jossa ei vielä ole kehitetty käyttökelpoista hyödyntämistapaa. Varastoinnille on kuitenkin syytä asettaa tiukat tekniset ja myös taloudelliset kriteerit, jolloin mahdolliselle hyötykäytölle on olemassa taloudelliset edellytykset lähtöpääoman takia. Välivarastoinnissa pitäisi ottaa huomioon kaukonäköisesti myös jatkokäyttö, jolloin eri poisteita ei kannattaisi turhaan sekoittaa keskenään, jos on nähtävissä, että ne on erotettava vielä toisistaan.

Viranomaisilla on raskas vastuu ja vaikea tehtävä huolehtia siitä, että teollisessa toiminnassa ja uusien innovaatioiden käyttöönotossa noudatetaan lain henkeä. Lainsäätäjien ja sitä valvovien viranomaisten tehtävän vaikeutta lisää se, että yritykset toimivat globaalissa viitekehyksessä, jolloin ohjeiston pitäisi olla yhteismitallinen ja tasapuolinen. Laadukkaan viranomaistoiminnan myötä teollisuuden asiantuntijat voivat keskittyä omalle ydinosaamisalueelleen, mikä tarkoittaa prosessien kehittämistä entistä ympäristömyönteisemmiksi.

Yhteiskunnan vaikutus kunnallisella, valtiollisella, EU- ja globaalitasolla on hyvin merkittävä, sillä ne ohjaavat niitä mekanismeja, joiden avulla luodaan uutta ja tehok-

kaampaa hiiliteräksen valmistusta, johon liittyy mahdollisimman tehokas liitännäistuotanto. Teollisten ekopuistojen perustaminen vaatii viranomaisilta laajempaa ja kokonaisvaltaisempaa näkemystä ympäristömääräyksiä ja lupahakemuksia käsiteltäessä.

Luonnon ekosysteemeillä on ollut runsaasti aikaa kehittyä nykyisen kaltaisiksi. Mikäli teollisuudelta tulevaisuudessa vaaditaan entistä voimakkaammin nopeaa taloudellista tuottoa, on riskinä se, että alkuvaiheissaan lähinnä kustannuksia aiheuttavan ympäristökehitystyön tuloksia ei malteta odottaa. Teollisen ekologian perimmäinen ajatus on kierrättää materiaalia, jolloin se muistuttaa luonnon materiaalikiertoa. Teollisessa ja luontokierrätyksessä on kuitenkin se olennainen ero, että edellistä kiertokulkua ohjaa ihminen, minkä vaikutus riippuukin tulevaisuudessa tehtävistä eettisistä päätöksistä ja niiden toteuttamisesta.

Talouden ja ekologisuuden liitto voi toteutua, jos ekosfäärin arvo ja kantokyky saadaan arvotettua siten, että elinkeinoelämä ja yksittäiset ihmiset ymmärtävät moraalisen vastuunsa. Ratkaisua pitkäjännitteeseen ympäristökehitystyöhön on yritettävä löytää yritysten yhteiskuntavastuun ja julkishallinnon taloudellisen tuen välimaastosta, jolloin pitkällä tähtäimellä alun isommat investoinnit kannattavat sekä taloudellisesti että ekologisesti.

Eri teollisuuden alojen ja yhteiskunnan välisellä vuorovaikutuksella pystytään tuote- ja energiatehokkuutta parantamaan. Tehokkuuden lisääminen ei aina ole haitatonta, sillä teollisissa prosesseissa saatetaan joutua käyttämään korkeampia lämpötiloja ja paineita. Hiiliteräksen valmistuksen ympärille syntyvät teolliset ekosysteemit voivat olla vaarallisten aineiden isoja valmistus- ja varastoalueita, jolloin suuronnettomuuksien vaara kasvaa. Niin kuin tässä, niin myös monessa muussa kohtaa perinteisen työturvallisuustoiminnan ja ympäristönsuojelun raja hämärtyy, ja loppujen lopuksi molempien tavoitteena onkin ihmisen hyvinvointi.

Harjavallan Suurteollisuuspuiston ennaltaehkäisevällä turvallisuustoiminnalla on myös onnettomuuksia ennaltaehkäisevä vaikutus, sillä turvallisuuspuoli on monipuolisen, säännöllisen ja virallisesti organisoidun yhteistyön kohteena. Lisääntyvän tietämyksen ja jatkuvan harjoittelun ansiosta pystytään mahdollisessa onnettomuustilanteessa rajoittamaan vaarallisten aineiden tai prosessien tuhovaikutuksia. Työturvallisuus ja teollisuusonnettomuuksia ehkäisevä turvallisuustyö on otettava teollisen ekologian viitekehykseen.

Teollisessa ekosysteemissä kukin yritys voi keskittyä omalle ydinosaaamisalueelleen. Hiiliteräksen valmistajan ydinosaaamisalueeseen kuuluvat teräksen tuottamisen lisäksi myös teräksen asiakastarpeen mukaiset räätälöidyt ratkaisut, jotka perustuvat osin jo itse teräksenvalmistusprosessiin. Samalla pystytään vaikuttamaan hukkamateriaalin syntyyn. Teräksen ainutkertaiset ominaisuudet ja kierrätettävyyden tarjoaa hyvän lähtökohdan ekotehokkaiden tuotteiden suunnittelulle ja toteutukselle. Laadukkailla, lujilla ja keveillä materiaaleilla pystytään vaikuttamaan tuotteen käytön aikaisen ympäristömyönteisyyteen.

Tulevaisuudessa kohtuullisuus saattaa olla ihmiskunnalle pysyvää, jolloin tulevat sukupolvet saattavat joutua opettelemaan tulemaan toimeen pääsääntöisesti paikallisin voimavaroin ja luopumaan paljosta aineellisesta. Tällöin esimerkiksi teräsmateriaalimäärä ei ehkä enää kasvakaan, jolloin uusioraaka-aineiden suhteellinen osuus kasvaa entisestään. Neitseellisten raaka-aineiden käyttöä on puolustettu teräksen kokonaistarpeen kasvun lisäksi myös sillä, että puhtaita raaka-aineita tarvitaan puhtaiden ja kestävien terästen tekemisen takia. Kierrätettävyyden tarkoittaa myös laatua ja kestävyyttä heikentävien haramaaineiden poistamista.

Pelkkä tuotteiden ja tuotantoprosessien kehittäminen ei siis riitä, vaan yritysten on myös pystyttävä suunnitelmallisesti kehittämään teollisuuden organisaatorakenteita ja toimintakulttuuria sekä yhteistyötä muiden sidosryhmien ja erityisesti teräksen käyttäjien kanssa. Ympäristömyönteisen suunnittelun tulee kattaa tuotekehittelyn ohella myös organisatoristen ja kulutustottumusten muutosten toteuttamisen.

14 Työn jatkotoimenpideajatuksia

Työssä on tarkasteltu ja pyritty kehittämään hiiliteräksen valmistuksen ja hiiliteräksen ympäristömyönteisyyttä. Työn pohjalta esitetään kuusi jatkotoimenpide-ehdotusta:

1. Luonto on kierrätyksen mestari, joten luontoa mallina ja opettajana -ajatusta on kehitettävä tavoitteena hiiliteräksen ja muiden aineiden ympäristömyönteisyyden parantaminen.
2. Työturvallisuus ja suuronnettomuuksien ehkäisy sekä mahdollisiin onnettomuuksiin valmistautuminen pitää ottaa mukaan teollisen ekologian malliin.
3. Harjavallan Suurteollisuuspuiston kehityksen takana olevat taloudelliset ja ekologiset syyt kannattaa kartoittaa kehittämällä niille kvantitatiiviset tunnusluvut. Näin saatuja tunnuslukuja voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi hiiliteräksen valmistuksen ympäristömyönteisyyden kehittämiseen.
4. Uutta johtajuutta kaivataan niin yritys-, viranomais-, poliittisella kuin valtiollisella tasollakin, joissa tärkeänä yhteisenä nimittäjänä on paikallisiin realiteetteihin perustuva yleismaailmallinen tapa lähestyä kestävä kehityksen problematiikan tärkeimpiä osa-alueita.
5. Yksittäisen ihmisen käyttäytymisen ja kulutustottumusten ohjaaminen ekologisesti kestävä suuntaan on iso tulevaisuuden haaste. Vaikutusmekanismit on löydettävän informaatioyhteiskunnan suomista mahdollisuuksista sekä paikallisten lähtökohtien ja voimavarojen hyödyntämisestä.
6. Teräksen kierrätettävyyttä tarkoittaa myös laatua ja kestävyyttä heikentävien harteainneiden poistamisen uusilla menetelmillä. Niiden kehittäminen on yksi prosessimetallurgian tulevaisuuden haasteista.

Kirjallisuus

- Andrews C, Berkhout F & Thomas V (1994) The industrial ecology agenda. In: Socolow R, Andrews C, Berkhout F & Thomas V (eds) *Industrial Ecology and Global Change*. New York, University of Cambridge. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta)
- AGA/Kemira/OMG/Outokumpu. Harjavalan Suurteollisuuspuisto –esite.
- Allenby B (1999) Culture and industrial ecology. *Journal of Industrial Ecology* 3: 2–4.
- Allenby B & Cooper W (1994) Understanding industrial ecology from a biological systems perspective. *Total Quality Environmental Management* 343–354. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta)
- Alumiinisulfaatin valmistus. Cited October 14 th 2003 from: <http://www.koal.cop.fi/prosessiteknikka/doc-html/alumiini.html/>
- Airaksinen T (2003) Tekniikan suuret kertomukset – Filosofinen raportti. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu.
- Angerman M (2005) Analysing Material Efficiency and Recycling Scenarios with Factory Simulation Tools. Ekotehokkuus teollisuudessa – Suomen Teollisen Ekologian Foorumin Seminaari. Cited January 8 th 2006 from: <http://www oulu.fi/resopt/STEFsem.html/>
- Annala V (1960) Outokummun historia 1910–1959. Outokumpu Oy, Helsinki.
- Ausubel J (2001) Industrial ecology: A coming of age story. Cited October 17 th from: http://phe.rockefeller.edu.RFF_IE/. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta)
- Ayres R & Ayres L (1996) *Industrial Ecology: Towards Closing the Material Cycle*. Cheltenham, Edward Elgar Publishing. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Bart H & Burtsher K (1992) Sour gas absorption and regenerative distillation. *Distillation & Absorption*, Birmingham.
- BAT ympäristönsuojelulaissa. Cited October 15 th 2003 from: <http://www.vyh.fi/palvelut/yritys/bat/permit.htm/>
- Blaz J (2004) Recycling technologies for filter dust and other residues. In: Price JD *Steel 2004 Millennium*. London, 61–68.
- Bleym H (toim) (1991) *Ympäristötekniikka*. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Boliden Harjavalta Oy (2004) Ympäristölupahakemuksen lupapäätös. Länsi-Suomen ympäristölupavirasto Helsinki. Cited December 7 th 2004 from: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=20260&lan=fi/>
- Bowler P (1997) *Ympäristötieteiden historia*. WSOY, Juva.
- Boynnton RS (1966) *Chemistry and technology of lime and limestone*. John Wiley & Sons, New York.
- Burstrom E (2003) *Keskusteluajatus*. Luulaja.

- Christmas I The future of Steel. Cited May 23 rd 2004 from <http://www.worldsteel.org/iisi/future of steel.html #factors/>
- Cleveland C (1999) Biophysical economics: From physiocracy to ecological economics and industrial ecology. In: Mayumi K & Gowdy J (eds) Bioeconomics and sustainability: Essays in honor of Nicholas Georgescu-Roegen. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Cloud P (1977) Entropy, materials, and posterity. Annual Meeting of the Geologische Vereinigung on "Earth Sciences and the Future of Mankind", Tübingen.
- Cheng T & Chiu J (2003) Fire-resistant geopolymer produced by granulated blast furnace slag. *Minerals Engineering* 16: 205–207.
- Dahl O & Heino J (2004) Prosessiteollisuuden kiinteät poisteen – uusioraaka-ainetta vai jätettä? *Materia* 3: 15–17.
- Dahl O & Härkki J (2003) Kokonaisvaltainen tarkastelu Outokumpu Harjavalta Metals Oy:n prosesseissa syntyvien poisteen hallitsemiseksi. Tutkimussuunnitelma. Oulun yliopisto, Teollisuuden ympäristötekniikka ja Prosessimetallurgian laboratorio, Oulu.
- Dahlbo H (2002) Jätteen luokittelu ongelmajätteeksi – arvioinnin perusteet ja menetelmät. Suomen Ympäristökeskus, Vammala.
- Dahlbo H, Seppälä J, Tenhunen J, Pylkkö T & Lohi T-K (2003) Ympäristövaikutusten kuvaaminen ekotehokkuuden arvioinnissa. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki.
- Degussa. Cited May 5 th 2004 from: <http://www.peroxygen-chemicals.net/wps5/portal/>
- Derome J (1999) Metsien kunto ja mahdollisuudet tilanteen pelastamiseksi – Maaperän kemiallinen tila. *Vasken Viesti* 6: 13.
- Descrochers P (2002) Industrial ecology and the rediscovery of inter-firm recycling linkages: historical evidence and policy implications. *Industrial and Corporation Change* 11: 1031–1057.
- Durrani S (1994) The SNOX process: a success story. *Environmental Science and Technology* 28: 88–90.
- EEC-direktiivi (1982). Euroopan yhteisön neuvoston direktiivi koskien tiettyjen teollisten toimintojen aiheuttamia suuronnettomuuden vaaroja. (Suomennos)
- Ehrenfeld J (2002) Industrial ecology: Paradigm shift or normal science? *American Behaviour Scientist*, 44: 229–244. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Emi T (2004) Changing Paradigm of Metal Technology for Steel Production. In: Aune RE & Kekkonen M (eds). *Metal Separation Technologies III*. Engineering Conferences International, Copper Mountain, Colorado, 1–9.
- Emi T & Seetharaman S (2000) Future steelmaking with minimized energy consumption and waste evolution. *Scandinavian Journal of Metallurgy* 29: 185–193.
- Erkman S (1997) Industrial Ecology: A Historical View. *Journal of Cleaner Production*.
- Fabio P & Deo P (1986) Effluenti gassosi: Eliminazione di SO₂. *ICP* 14: 57–59.
- Florman SC (1976) *The existential pleasures of engineering*. St. Martin's Press, New York.
- Fogelhom C-J (2005) PI-tekniikoiden soveltaminen energiaoptimointiin. Teoksessa: Söderman J (toim) *Prosessi-integraatio 2000–2004*. Loppuraportti. Tekes, Helsinki, 35–41.
- Freedman B (1995) *Environmental Ecology*. Academic Press Limited, London.
- Fritze H (1999) Maaperän mikrobit. *Vasken Viesti* 6: 14.
- Frosch R & Gallopoulos N (1989) Strategies for manufacturing. *Scientific American* 261: 94–102. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Fölsing A (2000) Albert Einsteinin elämäkerta. Hakapaino Oy, Helsinki.
- Geönsinöörit Oy (1999) Kuparin ja nikkelin tuotantovaihtoehdot ja kiinteiden jätteiden läjittäminen. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Outokumpu Harjavalta Metals Oy, Harjavalta.
- Gertler N & Ehrenfeld J (1996) A down-to-earth approach to clean production. *Technology Review* 99: 48–54.

- Graedel T (1994) Industrial ecology: Definition and implementation. In: Socolow R, Andrews C, Berkhout F & Thomas V (eds) *Industrial Ecology and Global Change*. University of Cambridge, New York, 23–41. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Graedel T & Allenby B (1995) *Industrial ecology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Graedel T (1996) On the concept of industrial ecology. *Annual Review of Energy & Environment* 21: 69–98.
- Grönblom B (1938) Imatran rautatehdas. *Teknillinen Aikakauslehti* 28: 228–230.
- Guerlac H (1977) *Essays and Papers in the History of Modern Science*. John Hopkins University Press, Baltimore.
- Gundersen T (2000) *Process Intergration*. Trondheim 2000. Cited March 3 rd 2004 from: <http://www.tev.ntnu.no/iea/pi/definition.html/>
- Gössling S (2001) *Entropy production as a measure for resource use*. Doctoral Thesis. University of Hamburg.
- Haapala M (2003) Tiedonanto sähköpostitse. OMG Harjavalta Nickel Oy, Harjavalta.
- Haavisto P (1999) Introduction. In: Jones T (ed) *The Kosovo Conflict – Consequences for the Environment & Human Settlements*. United Nations Environment Programme and United Nations Centre for Human Settlements. Nairobi, 4–12.
- Hakola P & Kinnunen M (2006) Ilmastoliiketoiminta ja energia Suomessa 2050 (ILMES) – skenaariot ja strategiat. Turun kauppakorkeakoulun Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turku.
- Hall C, Cleveland C & Kaufmann R (1986) *Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process*. University Press of Colorado, Colorado. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Hanniala P (1997) Harjavalta adopts the DON process. *Minerals Industry Journal*, 43 - 47.
- Hanniala P, Jokilaakso A & Kojo IV (2000). Pure blister copper by clean Outokumpu flash smelting technology.
- Hanski I, Lindström J, Niemelä J, Pietiäinen E & Ranta E (1998) *Ekologia*. Werner Söderström Oyj, Juva.
- Harki I (1971) *Sotakorvausten aika*. KJ Gummerus Oy, Jyväskylä.
- Hase A, Koppinen S, Riistama K & Vuori M (1998) *Suomen kemianteollisuus*. Tammer-Paino Oy, Tampere.
- Hasenson B (1994) Uudistuvan jätelainsäädännön vaikutukset sivutuotteiden ja toisioraaka-aineiden hyödyntämiseen. Teoksessa: *Metallurgisen teollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen*, AEL-IN-SKO, Vantaa.
- Haukkasalo A (2003) Terästeollisuus vääntää kuonaa ja teräsromua raaka-aineeksi. *Tekniikka & Talous*, 17.
- Harris F (2004) *Global Environmental Issues*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Hay S, Porretta F & Wiggins B (2003) Design and start-up of acid plant tail gas scrubber. Copper 2003 – Cobre 2003, Chilean Institute of Mining Engineers and the Metallurgical Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Volume IV – Pyrometallurgy of Copper, Santiago, Chile, I: 555–566.
- Hawken P (1994) *Earth in Balance: Ecology and Human Spirit*. Houghton Mifflin, London.
- Heikkinen E (2002) Masuuni. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) *Metallurgin hyvä tietää: Raudan, teräksen ja ferroseosten valmistus*. Oulun yliopisto, Oulu, 22–47.
- Heikkinen E-P (2003) Nordic Iron and Steel Waste Recycling Day II. Metalliteollisuuteen liittyvän kierrätyksen asiantuntijat koolla Luulajassa. *Vuoriteollisuus* 3: 30–31.
- Heikkinen E-P, Makkonen H, Heikkinen J & Seppänen M (2003) Terästuotannossa muodostuvien hienorakeisten poisteiden sisältämien haitta-aineiden vaikutus materiaalien kierrätettävyyteen. Oulun yliopisto, Oulu.

- Heikkinen E-P, Makkonen H, Leinonen V, Paananen T, Virtanen E & Heino J (2005) Industrial ecology and carbon steel making – Iron bearing residues as raw material in carbon steel making. International Conference “Securing the Future” in Skellefteå. Skellefteå.
- Heikkinen E-P & Paananen T (2002) LD-KG-Konvertteri. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Raudan, teräksen ja ferroseosten valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 60–78.
- Heikkinen J (2000) Sekundääristen raaka-aineiden esikäsittely ja hyödyntäminen sintraamalla sekä niiden vaikutus prosessiin ja päästöihin. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.
- Heino J (2001) Haastattelu. Harjavalta.
- Heino J (2003) Harjavalta ja Outokummun kuparitehdas vuosina 1944–2002. Oulun yliopisto, Oulu.
- Heino J (2002e) Jatkuvavali. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Raudan, teräksen ja ferroseosten valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 89–95.
- Heino J & Kaisto H (2002) Malmipohjaisen teräksenvalmistuksen raaka-aineiden käsitteleminen. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Raudan, teräksen ja ferroseosten valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 8–21.
- Heino J & Koskenkari T (2004) Harjavallan Suurteollisuuspuisto Teollisena ekosysteeminä. Oulun yliopisto, Oulu.
- Heino J (2002b) Kuparin ja nikkelin valmistuksen ympäristöasiat ja kierrätys. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Värimetallien valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 30–37.
- Heino J, Makkonen H, Laitila L, Härkki J, Hiltunen A & Pöyliö E (2000) Recycling or utilisation of dust, scales and dust. Helsinki Symposium of Industrial Ecology and Material Flows. University of Jyväskylä. Helsinki.
- Heino J (2002f) Metallien ja metallurgian historia Suomessa. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Prosessimetallurgian perusteet. Oulun yliopisto, Oulu, 6–16.
- Heino J (1998) Mietteitä ja havaintoja teollisesta ekologiasta. Oulun yliopisto, Oulu.
- Heino J (2002a) Nikkelirikasteen suorasulatusmenetelmä (DON) ja nikkelin hydrometallurginen taltteenotto. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Värimetallien valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 19–29.
- Heino J (2002c) Romupohjainen teräksenvalmistusprosessi. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Raudan, teräksen ja ferroseosten valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 129–133.
- Heino J (2001) Secondary control of sulfur oxides. Material is based on the lecture held at the University of Oulu on the October 25 th 2001 Air pollution control engineering Graduate School in Chemical Engineering -course.
- Heino J (2002d) Senkkäkäsittelyt. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Raudan, teräksen ja ferroseosten valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 79–88.
- Heino, J. (2002g) Ympäristö, kierrätys ja metallurginen teollisuus. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Prosessimetallurgian perusteet. Oulun yliopisto, Oulu, 66–71.
- Heino K (2004) Keskustelua vanhan ajan maataloudesta kesän 2004 aikana.
- Heino T (2004) Keskustelua vanhan ajan maataloudesta kesän 2004 aikana.
- Heinonen S (2000) Prometheus Revisited – Human Interaction with Nature through Technology in Seneca. Ekenäs Tryckeri Ab, Tammisaari.
- Heinänen K (2001) Suullinen tiedonanto. Oulu.
- Helenius J, Hyvönen T & Tiainen J (2004) Maatalousekosysteemi. Teoksessa: Tiainen J, Kuussaari M, Laurila IP & Toivonen T (toim) Elämää pellossa: Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus. FIBRE & Edita, Helsinki.
- Helmsaari H-S (1999) Miten raskasmetallit ovat saastuttaneet Harjavallan ympäristöä. Vasken Vies-ti 6: 12–13.

- Hemminki T (2002) Life cycle inventory of the steel product – by-products, recycling and credits. Recycling and waste treatment in mineral and metal processing: Technical and economic aspects. Luleå University of Technology, MEFOS and the Mineral, Metals & Materials Society, Luleå. I: 233–242.
- Hemminki T (2004) Teräs ja tuotelähtöinen ympäristöajattelu – Kierrätettävyys ekotehokkuuden lähtökohtana. *Materia* 3: 42–44.
- Hileman B (1992) Industrial ecology route to slow global change proposed. *Chemical Engineering News* 24: 7–14.
- Hiltunen A (2000) SKJ Companies activity presentation. In: Heino J, Samuelsson C, Erkkilä H & Heikkinen E (eds) *Nordic Iron and Steel Waste Recycling Day*. The University of Oulu and Luleå University of Technology, Oulu. Cited November 4 th 2001 from: <http://cc.oulu.fi/~pometwww/rd/>
- Hiltunen R & Hiltunen A (2004a) Environmental aspects of the utilization of steel industry slags. VII International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts. The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 357–361.
- Hiltunen R & Hiltunen A (2004b) Treatment of Slags – A Part of Sustainable Steelmaking. *Sanmet II – 2nd International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking*. MEFOS – Metallurgical Research Institute Ab, Luleå, 359–368.
- Hiltunen M & Jokelainen V (1994) Pyrometallurgisten prosessien SO₂-päästöjen pienentämismahdollisuudet. Teoksessa: Korhonen M & Saviharju K (toim) *Energia- ja ympäristöteknologia*. Tutkimusohjelman vuosikirja 1993. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 123–131.
- Hiltunen A & Pöyliö E (1998) Sustainable Development as a Basis for Recycling in the Steel Industry. Seminar on Economic Aspects of Clean Technologies, Energy and Waste Management in the Steel Industry. The United Nations Economic Commission for Europe, Linz.
- Hobsbawm E (2003) Äärimmäisyyksien aika 1914–1991. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Holappa L (1996) Romunsulatuksen perusteita. Teoksessa: *Romun käyttö teräs- ja valimoteollisuudessa*. Vuorimiesyhdistys ja POHTO, Oulu.
- Holappa L & Jalkanen H (1991) Outlines of Development of Metals Production and Metallurgical Processes to the Next Century. *Materials and Society* 15: 423–447.
- Homer-Dixon T (2000) *The Ingenuity Gap: How Can We Solve the Problems of Future?* Princeton University Press, New Jersey.
- Honkasalo A (1982a) Entropian kasvun laki ja ihmiskunnan globaalit ongelmat. *Vuoriteollisuus* 1: 62–66.
- Honkasalo A (2000) Teollinen ekologia – uusi näkökulma insinöörיתיeteisiin. Cited September 20 th 2002 from: <http://www.kaapeli.fi/~tep/vipu/2000-1/honkasalo/teoleko.pdf/>
- Honkasalo J (1982b) Suomen Vuoriteollisuuden nousu ja merkitys. *Vuoriteollisuus* 1: 9–12.
- Holmes D (1995) Kalundborg Industrial Symbiosis. In: *The Industrial Symbiosis at Kalundborg, Denmark*. Cited September 20 th 2002 from: <http://www.indigodev.com/Kal.html#top/>
- Huber J (1998) Towards Industrial Ecology: Sustainable Development as a Concept of Ecological Modernization. International Workshop on “Ecological Modernisation at the University of Helsinki”. University of Helsinki, Helsinki.
- Hudson J (1995) *Suurin tiede*. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Huurre M (2003) Viljanviljelyn varhaisvaiheet. Teoksessa: Rasila V (toim) *Suomen maatalouden historia I*. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki, 19–37.
- Hämälä S (1991) Rikkidioksidin absorptiomenetelmien erityispiirteet. Savukaasujen rikki- ja typipäästöjen vähentäminen I–IV, osa III: Päästöjen vähentämisen menetelmät ja valintaperusteet. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, Hyvinkää.
- Hämälä S, Laine J & Vesa P (1992) *Ilmansuojelutekniikka. Tammertekniikka*. Jyväskylä.
- Hämäläinen J (2003) Tiedonanto sähköpostitse. OMG Harjavalta Nickel Oy, Harjavalta.

- Härkki J & Ruuska J (2004) CO₂H₂ – Suljetun kaasukierron pelkistys- ja polttoprosessit ja hiilidioksidin hyötykäyttö. Projektiesittely. Cited July 26 th 2004 from: <http://ntsat.oulu.fi/>
- Ilmakaasujen valmistus. Cited December 12 th 2003 from: <http://www.helsinki.fi/ml/kemia/opettaja-koulutus/opetuspaketit/Kaasut/ilmakaasut.html/Interox>. Hydrogen peroxide. Interox Group.
- IPPC -direktiivi – Päästöjen yhdenmety hallinta. Cited October 15 th 2003 from: <http://www.vyh.fi/palvelut/yritys/bat/dir.htm/>
- Isenman R (2001) Industrial Ecology's Hidden Philosophy of Nature. The Science and Culture of Industrial Ecology ISIE. International Society for Industrial Ecology, Leiden. Cited September 20 th 2002 from: <http://www.yale.edu/is4ie/>
- Isenman R (2002) Further Efforts to Clarify Industrial Ecology's Hidden Philosophy of Nature. *Journal of Industrial Ecology* 6: 27–48.
- Jacobson M (2003) Tilinpäätös. Kustannusosakeyhtiö Otava, Keuruu.
- Japansk masugn körs med plast (1997). Tekniikka & Talous.
- Journal of Industrial Ecology (2000) What is industrial ecology? Cited October 31 st 2005 from: <http://mitpress.mit.edu/journals/JIEC/jiecall.html#whatis/> (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Judin T (toim) (1996) Elettyä ja kuvattua. Sulo Friisin valokuvia Harjavallasta ja lähitienoilta. Harjavallan kustannus Oy, Pori.
- Juholin E (2002) Eettisyys osa yrityksen yhteiskuntavastuuta. Helsingin Sanomat.
- Jungk R (1957) Tuhansia aurinkoja kirkkaampi: atomitutkijain kohtaloita. Werner Söderström Osakeyhtiö, Porvoo.
- Juutinen A & Viitanen M (2000) Industrial ecology of the metal sector: metal material flows in Finland. Helsinki Symposium of Industrial Ecology and Material Flows. University of Jyväskylä, Helsinki.
- Järventaus K (2003) Uudet kaivokset runtelevat maisemaa. Helsingin Sanomat.
- Kaila E (1948) Mitä on tieteellinen sivistys ja miten se hankitaan. Teoksessa: Kulttuurin saavutuksia. WSOY, Porvoo.
- Kankaanpää V (2001) Haastattelu. Harjavalta.
- Kanniainen V (2003) Talouden moraali, markkinavoimat ja yrityksen yhteiskuntavastuu. Teoksessa: Kanniainen V & Sintonen M (toim). Etiikka & Talous. WSOY, Helsinki.
- Kaplinski J (2002) Törmäys todellisuuteen. Kustannusosakeyhtiö Otava. Keuruu.
- Kaplinski J (2003) Kansatiede elonjäämisoppina. Turun Sanomat.
- Karhu N (1982) Tuloksellista ympäristönhoitoa Harjavallassa. *Kemira* 3: 26–30.
- Kava R (1993) Emil Cedercreutz – Satakunnan eurooppalainen. Hakapaino Oy, Helsinki.
- Kawasaki Steel. Cited October 24 th 2003 from: http://www.kawasaki-steel-21st-cf.or.jp/chapter_2/index.html/
- Keiski R, Koskenkari T & Heino J (2002) Ympäristötekniikan peruskurssi. Ilman saastuminen, ilmansuojelutekniikat, teollinen ekologia, vihreä kemia, ympäristönsuojelun ohjauskeinot ja lainsäädäntö. Oulun yliopisto, Oulu.
- Keitsch M (2005) Industrial ecology and design for the environment. Lecture material.
- Kemira (2003) Esitemateriaali.
- Kellomäki S (2005) Metsäekologia. Joensuun yliopistopaino, Joensuu.
- Kemira GrowHow Oy Harjavalta. Cited October 15 th 2003 from: <http://www.kemira-grow-how.com/NR/exeres/>
- Keyes D (2001) Maanviljelyn uusi aloitus. Helsingin Sanomat.
- Kilkkilä O (2003) Heavy-metal Pollution and Remediation of Forest Soil around the Harjavalta Cu-Ni Smelter, in SW Finland. *Silva Fennica* 37: 399–415.
- King A & Schneider B (1991) Ihmiskunnan vallankumous – Rooman klubin työvaliokunnan raportti. Werner Söderström Osakeyhtiö, Helsinki.

- Kinnunen J (2002) Riskienhallinta ja ympäristövaikutusten arviointi poikkeustilanteissa. Teoksessa: Ympäristösuojelulaki: Velvoitteet ja vaikutukset yritystoiminnassa, AEL:n Koulutusseminaari, Helsinki.
- Klingspor J & Cope D (1987) FGD-Handbook. IEA Coal Research, London.
- Kohl A & Riesenfeld F (1985) Gas purification. Gulf Publishing Company, Houston.
- Konttinen H (2002) Ei toivoa, ei toivoa. Talouselämä 35: 39.
- Koponen E, Järvensivu M & Heino J (1990) Integroidun Lifac-rikinpoistomenetelmän kilpailuym-päristö ja jatkomarkkinointistrategia. Harjoitustyö. Oulun yliopisto, Oulu. (Ei julkaistu).
- Korhonen J (2001) Four ecosystem principles for an industrial ecosystem. Journal of Cleaner Production 9: 253–259.
- Korhonen J (2000) Industrial ecosystem. Väitöskirja. Jyväskylän yliopisto.
- Korhonen J (2001) Some suggestions for regional industrial ecosystems: Extended industrial ecology. Eco-Management and Auditing, 8: 57–69.
- Korhonen J (2005) Teollinen ekologia osana kestävää kehitystä. Ekotehokkuuden yhteiskunnalliset ulottuvuudet -seminaarin avauspuheenvuoro. Tampere.
- Korhonen K (1989) Mitalin toinen puoli: johdatus ulkopoliitiikan epätodellisuuteen. Otava, Helsinki.
- Koskenkari T & Heino J (2002) Teollinen ekologia. Teoksessa: Heino J, Keiski R & Koskenkari T Ympäristötekniikan peruskurssin luentorunko. Oulun yliopisto, Oulu, 81–107.
- Koskinen H (2001) MIPS ja ekologinen selkäreppu tuotteiden potentiaalisten ympäristövaikutusten vertailun menetelminä – ongelmakohtien tarkastelu. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto.
- Kosonen K (1991) Rikinsidonta vetyperoksidilla raskasöljypoltossa. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessitekniikan osasto.
- Kotala M (2004) Rakeistetun nikkelisähköunikuonan laatuun vaikuttavat tekijät ja niiden hallinta. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.
- Knuutila K, Hultholm S-E, Saxen B & Rosenback L (1996) New nickel process increasing production at Outokumpu Harjavalta Metals Oy.
- Krannila M (2003) Harjavalta – paikkakuntaa ja ihmisiä ennen ja nyt. Tampere.
- Kriittinen kuormitus. Cited October 4 th 2003 from: http://www.vyh.fi/tila/happam/kriitk_m.htm/
- Kuisma M (1985) Kuparikaivoksesta suuryhtiöksi. Outokumpu 1910–1985. Outokumpu Oy, Forssa.
- Kuonankäytön käsikirja (1999) SKJ -yhtiöt, Raahe.
- Kurru K (2004) Keskustelua vanhan ajan maataloudesta. Harjavalta.
- Kytö M & Vartiainen A (1993) Kuonat kuparin ja nikkelin liekkisulatuksessa. Teoksessa: Kuonametallurgia. AEL-INSKO, Helsinki.
- Laitila L (2000) Kupoliuunit ja niiden käyttö valimoiden ja terästehtaiden hienorakeisten sivutuotteiden käsittely-yksikkönä. Oulun yliopisto, Oulu.
- Laitila L (2000) Pölyt, lietheet ja hilseet konvertteriprosessin raaka-aineina. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.
- Laitinen H (1986) Laaja tutkimuskohde: kemikaalionnettomuudet. Työterveys 3: 16–17.
- Lamppu J (2002) Scots pine needle longevity and other shoot characteristics along pollution gradients. Doctoral Thesis. University of Oulu, Department of Biology.
- Lehto O (2001) Korkeat maailmat – Rolf Nevanlinnan elämä. Otava, Keuruu.
- Leinonen V (2005) The potential future usage of Boliden Harjavalta Oy copper and nickel slags. Nordic Recycling day, Oulu. Cited December 10 th 2005 from: <http://cc.oulu.fi/~pometwww/rd05/>
- Levonmäki M & Hartikainen H (2002) Agricultural use of slags. Recycling and waste treatment in mineral and metal processing: Technical and economic aspects. Luleå University of Technology, MEFOs and the Mineral, Metals & Materials Society, Luleå, I: 451–458.
- Levä K (2001) SEVESO II in Finland. Cited October 13 th 2003 from: <http://www.microrisk2001.gr/leva.rtf/>
- Lilja J (1992) Metallurgin hyvä tietää: Metallurgiset prosessit, Osa IV. Oulun yliopisto, Oulu.

- Lindblad B, Blechingberg M & Grip C-E (2004) Increased energy recovery: Problems and possibilities. Sanmet II – 2nd International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking. MEFOS – Metallurgical Research Institute Ab, Luleå, 437–445.
- Lindberg C (1861) Maalaadun parantamisesta. Toimellinen ja taitava Sonnan hankkia. I.W. Eilijan kirjapaino, Turku. (Lähde otettu Mäkiyrön (2004) väitöskirjasta).
- Lindholm M, Karjalainen H & Niemelä M (2000) Teollisen ekologian toteutuminen Kokkolan tehdasalueella. Seminaarityö Ympäristöekologian kurssilla. Oulun yliopisto, Oulu.
- Lohi T-K, Mannila P, Karjalahti T & Härkki J (1997) Masuunin huippukaasu ja pölyt. Oulun yliopisto, Oulu.
- Lowe E Introduction to Eco-Industrial Parks and Networks. Cited September 8 th 2003 from: <http://www.indig-odev.com/>
- Lowe E, Moran S & Holmes D Eco-Industrial Parks. Cited September 13 th 2003 from <http://www.indig-odev.com/Ecoparks.html/>
- Luomala M (2002) Kuparin liekkisulatusmenetelmä ja metallisen kuparin elektrolyyttinen raffinointi. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J (toim) Metallurgin hyvä tietää: Värimetallien valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 6–18.
- Luonnonvarat ja ympäristö 2000 -katsaus (2000) Cited June 29 th 2003 from: http://www.stat.fi/tk/tt/ymparisto_eu-15_2001.html/
- Lybeck K (ed) (1999) Flash Smelting – Environmental Benchmarking Technology. Outokumpu News 2: 4–8.
- Makkonen H, Heino J, Laitila L, Hiltunen A, Pöyliö E & Härkki J (2002) Optimisation of Steel Plant Recycling in Finland: dusts, scales and sludge. Resources, Conservation and Recycling 35: 77–84.
- Makkonen H (2003) OPTIDUST II. In: Petäjäjärvi M Annual Report 2002 of the Laboratory of Process Metallurgy. University of Oulu, Oulu.
- Makkonen H (2004) Kirjallinen tiedonanto. Oulu.
- Makkonen P (1993) Pyriittipäsatteen sulakalvosulfatointiprosessi. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- Makkonen P (2002) Haastattelu. Harjavalta.
- Malaska P, Kantola I & Kasanen P (toim) (1989) Riittääkö energia – Riittääkö järki? Gaudeamus, Helsinki.
- Manahan S (1999) Industrial ecology: Environmental chemistry and hazardous waste. Lewis Publishers, Boca Raton. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Mannonen A (2003) Luovuus on kuin maahisten aarre. Voi Hyvin 3: 70–75.
- McMichael A (1993) Planetary overload. Cambridge University Press, Cambridge.
- Michelsen K-E (1999) Viides sääty – Insinöörit suomalaisessa yhteiskunnassa. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala.
- Miekk-oja H (1965) Metalliooppi. Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki.
- Miettinen P (1993) Environmental life cycle assessment and its applicability for industry. Diploma work. Helsinki University of Technology.
- Mikkola M Keksinnöt. Cited September 9 th 2002 from: <http://www.yle.fi/teema/tiede/keksinnot/keksinnot-liekkisulatus.shtml/>
- Mikkola M-L (1971) Vallankumouksellinen kriitikko ja runoilija. Teoksessa: Otto-Wille Kuusinen suomalainen internationalisti. Sanan tie, Tampere.
- Mikkonen A (2002) Hirvuinen hinku maailman huipulle. Talouselämä.
- Milton J (1952) Kadotettu paratiisi. Runoelman suomennos. Werner Söderström Oy, Porvoo.
- More A (1984) Sulphur, sulphur dioxide and sulphuric acid. The British Sulphur Corporation, London.
- Motiva (2003) Energiansäästöviikko 6.–10.10. Cited October 15 th 2003 from: <http://www.energian-saastoviikko.net/>

- Muurinen E (1993) A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. University of Oulu, Oulu.
- Müller H (1994) Sulfuric acid and sulfur trioxide. In: Elvers B, Hawkins S & Russey W (eds) Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Vol. A 25. VCH Verlagsgesellschaft mbH., Weinheim, 635–703.
- Müller H (1994) Sulfur dioxide. In: Elvers B, Hawkins S & Russey W (eds) Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Vol. A 25. VCH Verlagsgesellschaft mbH., Weinheim, 569–612.
- Mäkikyrö M (2004) Converting raw materials into the products – road base material stabilized with slag-based binders. Doctoral Thesis. University of Oulu, Department of Process and Environmental Engineering.
- Mäkinen S (2002) Uusi ympäristölupa ja sen tarve. Teoksessa: Ympäristösuojelulaki: Velvoitteet ja vaikutukset yritystoiminnassa, AEL:n Koulutusseminaari, Helsinki.
- Mäkinen S (2000) Ympäristösuojelulaki voimaan. Teoksessa: Porttikivi R (toim) Ajankohtaista ympäristössä Pohjois-Savossa. Cited September 20 th 2002 from: http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/psa/lehti/ajanl_00/ajal.pdf
- Mäntymäki H (1999) "Fugit irreparabile tempus". Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Nehb W & Vydra K (1994) Sulfur. In: Elvers B, Hawkins S & Russey W (eds) Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Vol. A 25. VCH Verlagsgesellschaft mbH., Weinheim, 507–567.
- Nelo S (1993) Rikkidioksidi-vetyperoksidi systeemin aineensiirtoparametrien määrittäminen ja tutkiminen sekoitusastiassa. Lisensiaatintyö. Oulun yliopisto, Prosessitekniiikan osasto.
- Niiniluoto I (2003) Totuuden rakastaminen – Tieteenfilosofisia esseitä. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu.
- Nirkko J, Laaksonen P & Rassi A (1990) Se oli rautaa. Suomen kirjallisuuden seura, Jyväskylä.
- Nissen W, Crocker L & Oden L (1985) The citrate process for flue gas desulfurization. United States Department of The Interior Bureau of Mines, Washington.
- NTNU (Norwegian University of Science and Technology) (2000). NTNU's industrial ecology programme. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Nurmi P, Raitasuo R, Jokilaakso A & Lilius K (1995) Treatment and reuse of metallurgical slags in copper and nickel producing industry. Helsinki University of Technology, Espoo.
- Outokumpu 1999a. Cited February 2 nd 2000 from: <http://www.outokumpu.com/>
- Outokumpu 1999b. Cited May 23 nd 2000 from: <http://www.outokumpu.fi/group/f98environment.html/>
- Outokumpu 2000. Cited February 2 nd 2000 from: <http://www.outokumpu.com/>
- Outokumpu 2004. Cited July 23 rd 2004 from: <http://www.outokumpu.com/files/Technology/Documents/Newlogobrochures/Sulph.AcidsPlants.pdf>
- Paarma J (2001) Ympäristövastuu ja kirkko. Esitelmä Kuhmon kirkkopäivien Seurakunnan ympäristövastuu -seminaarissa.
- Paatela E (2002) Outokummun liekkisulatusmenetelmälle merkittävä kansainvälinen tunnustus – ASM Historical Landmark Award. Cited September 19 th 2002 from: <http://www.outokumpu.com/corporat/info/pressrel.nsf/>
- Paavilainen J (2002) Haastattelu. Harjavalta.
- Paldanius E, Nikula E-V & Laukkanen J (2004) Raahan ympäristöselonteko 2004. Ruukki, Raah. Cited December 27 th 2005 from: <http://www.ruukki.com/>
- Palosaari J (2003) Kuparisulaton syöttöseoslaskenta HSC-Sim -mallin avulla. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.
- Palosaari S (1986) Ympäristöä säästävä prosessitekniikka. Teoksessa: Pöyry S (toim) Parempi tulevaisuus – haaste tekniikalle. Suomen Teknillinen Seura 1896–1986. Gummerus Oy, Jyväskylä, 110–115.
- Passmore J (1980) Man's responsibility for nature. Unwin Brothers Limited, Surrey.

- Peck S (2002) When Is an Eco-Industrial Park Not an Eco-Industrial Park? *Journal of Industrial Ecology* 5: 3–5.
- Pelton A & Bale C (1999) Thermodynamics. In: Feinman J & MacRae D (eds) *Direct Reduction Iron – Technology and Economics of Production and Use*. The Iron and Steel Society, Warrendale, 25–41.
- Penttinen R & Dahlbo R (2001) Teollinen ekologia – mitä se on? *Ympäristö* 6: 32–33.
- Pihlava J (2006) Ulkoinen sabotaasi vakavin uhkakuva. Harjavallan Suurteollisuuspuiston onnettomuusriskit selvitettiin. *Turun Sanomat*. Cited April 17 th 2006 from: <http://www.turunsanomat.fi/kotimaa/>
- Pienimäki K & Kuisma P (2002) Pesuhapon kierrätys – ongelmanratkaisua harjavaltaisittain. *100Kumpu* 3: 19.
- Piret N (1999) The Removal and Safe Disposal of Arsenic in Copper Processing. *JOM*, September, 6–17.
- Pitkänen R (2000) Mahdollisuuksien johtaminen – kehittämisestä metakehittämiseen. Tammer-Paino Oy, Tampere. (Lähde otettu Simolan (2005) väitöskirjan lähdeluettelosta).
- PLV (2003a) Porin Lämpövoima Oy. Cited October 9 th 2003 from: <http://www.plv.fi/>
- PLV (2003b) Toimintakertomus 2002. Porin Lämpövoima Oy, Pori.
- Pohjaveden tarkkailuun uutta tietoa seismisillä luotauksilla. *Vasken Viesti* 2+3/1998, s. 6.
- Pongrácz E (2002) Re-defining the concepts of waste and waste management. Doctoral thesis. University of Oulu, Department of Process and Environmental Engineering.
- Pongrácz E (2001) Teollinen ekologia ja kierrätystekniikka -kurssin kurssimateriaali syyslukukaudella 2001. Oulun yliopisto, Oulu.
- Poutanen P & Kuisma M (1994) Puoli vuosisataa kuparia ja nikkeliä. Outokummun Harjavallan tehtaasta 1944–1949. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä
- Puolimatka T (1999) Kasvatuksen mahdollisuudet ja rajat: Minuuden rakentamisen filosofia. Kirjayhtymä, Helsinki.
- Pulkkinen K (2002) Valokaariuuni. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J *Metallurgin hyvä tietää: Raudan, teräksen ja ferroseosten valmistus*. Oulun yliopisto, Oulu.
- Päivärinta K, Sarja T, Savolainen S & Heino J (2001) Malmipohjaisten terästehtaiden hienojakoisten poisteiden hyödyntäminen kupoliuunin raaka-aineena. Harjoitustyö Opiskelijatutkijakoulutuskurssilla. Oulun yliopisto, Oulu.
- Pääkkönen E & Mattelmäki E (1996) The Direct Outokumpu Nickel Smelting (DON) Process and the Harjavalta Expansion. *Nickel '96*, Kalgoorlie.
- Pöyliö E, Makkonen H, Laitila L, Heino J, Hiltunen A & Härkki J (2002) Optimal recycling of the iron based steelmaking dusts, scales and sludge. Recycling and waste treatment in mineral and metal processing: Technical and economic aspects. Luleå University of Technology, MEFOS and the Mineral, Metals & Materials Society, Luleå, II: 129–137.
- Raipala K (1994) Masuunin prosessihäiriöiden ennalta ehkäisy. Lisensisaatintyö. Teknillinen korkeakoulu, Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto.
- Raitasuo R (1993) Fajaliitti-pohjaisen nikkelisähköuunikuonan käsittely ja hyötykäyttö. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- Ranta J (1991) Voimalaitosjätteet -hyödyksi vai ei? Savukaasujen rikki- ja typpipäästöjen vähentäminen I–IV, osa III: Päästöjen vähentämisen menetelmät ja valintaperusteet. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, Hyvinkää.
- Ranta J, Wahlström M, Ruohomäki J, Häkkinen T & Lindroos P (1987) Hiilivoimaloiden rikinpoistojätteet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.
- Rantala S (2001) ”Koko pitäjä rakennettiin sit uudestas”. Pro gradu –tutkielma. Turun yliopisto, Kansatieteen laitos.

- Raudaskoski R, Turpeinen E, Rahkamaa-Tolonen K & Keiski R (2004) Chemical utilization of CO₂ – emissions from metallurgical industry – The role of thermodynamics calculation in designing laboratory scale experiments. Sanmet II – 2nd International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking. MEFOS – Metallurgical Research Institute Ab, Luleå, 313–320.
- Rauhala O & Itiä I (toim) (2002) Luonnon aika. Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki.
- Rautaruukki (2001). Cited February 2 nd 2001 from: <http://www.rautaruukki.fi/raportti/index.html/>
- Rautio P (2000) Nutrient alterations in scots pines (*Pinus sylvestris* L.) under sulphur and heavy metal pollution. Doctoral Thesis. University of Oulu, Department of Biology.
- Reinikainen A (toim) (2000) Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki.
- Repo H (2001) Hamina on Suomen riskiherkin paikkakunta. Tekniikka & Talous.
- Research priorities for the 21st century (1997). Environmental Science & Technology 31: 20–27.
- Riekkola-Vanhanen M (1999a) Finnish expert report on best available techniques in copper production and by-production of precious metals. Oy Edita Ab, Helsinki.
- Riekkola-Vanhanen M (1999b) Finnish expert report on best available techniques in nickel production. Oy Edita Ab, Helsinki.
- Riihilahti K (1996) Katsaus liekkisulatusprosessiin, sen kehitykseen ja nykytilaan. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Riippi R (2003) Optimoidut ratkaisut kunnossapidon kivijalkana. Vuoriteollisuus 3: 24–26.
- Riistama K, Laitinen J & Vuori M (toim) (2003) Suomen kemianteollisuus. Tammer-Paino, Tampere 2003.
- Rinpoche S (1998) Tiibetiläinen kirja elämästä ja kuolemasta. Otava, Keuruu.
- Rissa K (2001) Ekotehokkuus – enemmän vähemmästä. Edita Oyj, Helsinki.
- Ryhänen A, Simpanen V, Poutiainen T, Launonen M, Saarela T, Pyy L, Lukkarinen M, Virtanen S & Heino J (1986) Oulun läänin alueella onnettomuusriskiä aiheuttavien aineiden valmistus, käyttö ja varastointi sekä maantie- ja rautatiekuljetukset. Työryhmämietintö. Oulu.
- Rytöja A (2002) Sinkin valmistus. Teoksessa: Heikkinen E-P & Heino J Metallurgin hyvä tietää: Värimetallien valmistus. Oulun yliopisto, Oulu, 38–50.
- Saari J (2003) Johtamisen kaaos vai kaaoksen johtaminen? 100KUMPU 3: 42.
- Sanchez M, Parra R, Imris I, Klenovcanova A & Gonzalez C (2004) Direct Reduction of Chilean Copper Slags: A Waste Treatment Project Process. In: Aune RE & Kekkonen M (eds) Metal Separation Technologies III. Copper Mountain. Engineering Conferences International, Colorado, 283–288.
- Sahavirta H (2002) Pienet kielet ovat maailmalle tärkeä luonnon aarreaaita. Kaleva.
- Salemaa M, Kilkkilä O, Monni S, Nieminen T & Vanha-Majamaa I (1999) Metsän aluskasvillisuus. Vasken Viesti 6: 14.
- Salemaa M (2003) Response of the understorey vegetation of boreal forest to heavy metal loading. Doctoral Thesis. Faculty of Biosciences, University of Helsinki.
- Satta M, Nelo S, Heino J & Sohlo J (1994a) Hyötymenetelmän kehittäminen jätekaasujen puhdistukseen. Osa 1. Rikkidioksidin absorptio vetyperoksidin vesiliuokseen pilot-mittaisessa suihkutorinissa. Oulun yliopisto, Oulu.
- Satta M, Nelo S, Heino J & Sohlo J (1994b) Hyötymenetelmän kehittäminen jätekaasujen puhdistukseen. Osa 5. Rikkidioksidin absorptio vetyperoksidin vesiliuokseen täytekappalekolonnissa. Oulun yliopisto, Oulu.
- Schmidt-Bleek F (2000) Luonnon uusi laskuoppi – ekotehokkuuden mittari MIPS. Gaudeamus, Helsinki.
- Schumb W, Satterfield C & Wentworth R (1955) Hydrogen peroxide. Reinhold Publishing Corporation, New York.
- Seppälä J, Koskela S, Palperi M & Melanen M (2000) Metallien jalostus ja ympäristö. Oy Edita Ab, Helsinki.

- SFS-käsikirja n:o 60 Räjähdyksvaaralliset pölyt (1984). Turvallisuusohjeet. Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki.
- Sihvola J (1998) Toivon vuosituhat. WSOY, Juva.
- Silvo K (2002) Päästöjen yhdenmenny arviointi. Teoksessa: Ympäristösuojelulaki: Velvoitteet ja vaikutukset yritystoiminnassa. AEL:n Koulutusseminaari, Helsinki.
- Simola A (2004) Turvallisuuden johtaminen esimiestyönä. Väitöskirja. Tuotantotalouden osasto, Oulun yliopisto.
- Simonis U (1993) Learning from nature? On three conditions for sustainable development. In: Zwi-erlein E (ed) Nature as a model: What could we learn from nature for solving our problems. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Soldavini H, Wachendörfer P & von Wecler W (1989) Entschwefelung von Prozess- und Rauchgasen durch oxidierende Gewäsche mit H₂O₂. VDI-Berichte 730: 331–347.
- Sporer J (1992) The Linde Solinox process: Gypsum-free flue-gas desulphurization. Gas Separation & Purification 6: 133–140.
- Still G, Kessler K & Möller J (2004) The shaft furnace process for the recycling of iron bearing residues. Steel Grips 2: 10–13.
- Szekely J (1996) Steelmaking and industrial ecology – Is steel a green material? ISIJ International 36: 121–132.
- Szekely J & Trapaga G (1995) Industrial ecology – The need to rethink the materials cycle: Some problems, solutions, and opportunities in the material field. Journal Material resources 10: 2178–2196.
- Särkikoski T (1999) Tiedon liekki. Outokumpu Oyj ja Tekniikan Historian seura ry., Helsinki.
- Syrjä E & Tuokkola P (2001) Mitä kullon jälkeen. 100Kumpu.
- Tammi K (1998) Harjavallan kaasutuotanto. Kirjallinen tiedonanto. Oy AGA Ab, Harjavalta.
- Tammi K (2004) Keskustelua vanhan ajan maataloudesta. Harjavalta.
- Tammi M (2002) Haastattelu. Harjavalta.
- Tammi M (2004) Keskustelua vanhan ajan maataloudesta. Harjavalta.
- Tammiranta A (2000) Selvitys Harjavallan maaperän saastuneisuudesta ja toimenpidetarpeiden arviointi. Oy Edita Ab, Helsinki.
- Taskinen P & Mäkinen T (1996) Physical chemistry of direct high-grade nickel matte flash smelting. Outokumpu Engineering Contractors Oy, Espoo.
- Teknoliateollisuus. Ympäristö. Cited March 19 th 2005 from: <http://www.teknoliateollisuus.fi/>
- Tervonen P, Kajava M, Lerssi P & Paldanius E (2002) Raahan terästehtaan ympäristöselonteko 2002. Cited October 27 th 2003 from: <http://www.rautaruukki.fi/>
- Teräskirja (2003) Metallinjalostajat ry., Helsinki.
- Tibbs H (2000) Industrial ecology: An environmental agenda for industry. Cited October 31 st 2005 from: <http://www.sustainable.-doe.gov/articles/indecol.shtml/> (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Tiainen J (2004) Maatalousympäristön synty ja kehitys Suomessa. Teoksessa: Tiainen J, Kuussaari M, Laurila IP & Toivonen T (toim) Elämää pellossa: Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus. FIBRE & Edita, Helsinki.
- Tihinen T, Kuivalainen H & Virtanen S (2002) Matkakertomus. Mutual Joint Visit on Inspections 27–29.11.2002. Siracusa, Italy. (Ei julkaistu)
- Tiirinen J (1997) Rikkihappoa ja rakeita. Kemira Oy, Harjavallan tehtaat 1944–1994. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1997.
- Tinnis V (1991) Regeneratiivinen menetelmä. Savukaasujen rikki- ja typpipäästöjen vähentäminen I–IV, osa III: Päästöjen vähentämisen menetelmät ja valintaperusteet. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Hyvinkää.
- Tuokkola P (2002) Suurteollisuuden matkassa Vuoksenjokilaaksosta Kokemäenjokilaaksoon. Esitelmä ”Karjalaiset Kesäjuhlat” tilaisuudessa Porissa 14.6.2002.

- Turvallisuusohje (2003). Oy AGA Ab, Harjavalta.
- Turvallisuustiedote Harjavallan asukkaille (2001). Harjavallan suurteollisuusalue.
- Torvela H & Heino J (1994) Development trends in emission reduction technologies. Ecocenter, University of Oulu, Oulu.
- Vaara N (2003) Regeneroinnista syntyvän jätteen jatkokäsittelyn esiselvitys. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.
- Wahlström E (1994) Ympäristöriskit. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Valorinta V (1985) Koneenrakentajan metallioppi. Kustannusyhtymä Tampere, Tampere.
- Valtonen H (2002) Ekotehokkuuden mittari MIPS. Cited September 22 th 2002 from: <http://www.dipoli.hut.fi/ymparisto/factorx/mips.htm/>
- Wang Q & Ferron C (2003) Striving for a Sustainable Mining Industry: Arsenic Control through an Integrated Approach. Mining and Environment Conference, Sudbury.
- Wanne E & Kivivuori S (2004) Eco-Efficient Steel Grades: Influence of performance and recyclability. Abstract at the International Eco-Efficiency Conference, Leiden, Netherlands.
- Van Oss H & Padovani A (2003) Cement Manufacture and the Environment. Part II: Environmental Challenges and Opportunities. Journal of Industrial Ecology, 7: 93–126.
- Vastuu ympäristön tilasta edellyttää jatkuvaa seurantaa (1996) Vasken Viesti 3+4: 6.
- Wernick I & Ausubel J (1997) Industrial ecology: Some directions for research. Rockefeller University. (Lähde otettu Isenmannin (2002) artikkelin lähdeluettelosta).
- Viklund-White C & Menad N (1999) Impurity Accumulation as a Consequence of Increased Scrap Recycling. Luleå University of Technology, Luleå.
- Viklund-White C (1999) The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanized Steel. Licentiate thesis. MiMer, Luleå University of Technology.
- Wilson E (2001) Konsilienssi. Terra Cognita, Helsinki.
- Wilson E (2002) Elämän tulevaisuus. Terra Cognita, Helsinki.
- Virmavirta R (1980) Jokilaakson koulu. Satakunnan Maakunta Oy, Kokemäki.
- Virtanen P Satakunnan Puutarhapuisto. Cited November 29 th 2004 from: <http://www.sataspinnu.fi/spp/index.html/>
- Virtanen S & Heino J (1986) Oulun läänin alueella onnettomuusriskiä aiheuttavien aineiden valmistusta, käyttöä, varastointia, maantie- ja rautatiekuljetuksia koskeva kartoitus. Työsuojeluhallitus/Oulun työsuojelupiiri. (Vain viranomaiskäyttöön).
- Visuri P (2000) Kosovon sota. Gaudeamus Kirja, Tampere.
- Von Gizycki P, Liebisch R & Cappel J (2004) By-product-management in an integrated steel works on the example of the steel-ladle-slag (SLS). Steel Grips 2: 15–19.
- Von Wright G (1987) Humanismi elämänasenteena. Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki.
- Von Wright G (1998) Logiikka ja humanismi. Kustannusosakeyhtiö Otava, Keuruu.
- Von Wright G (1995) Niin&Näin –lehden haastattelu.
- Von Wright G (1999) Tieto ja ymmärrys. Kustannusosakeyhtiö Otava, Keuruu.
- Vuorimiehen karhunkierros: Petsamo – Otanmäki – Outokumpu (2003). Vuoriteollisuus 1: 11–12.
- Väänänen K (2000) Satalinna 1925–2000. Kehitys Oy, Pori.
- Wilenius R (1987) Ihminen, luonto ja tekniikka. Gummerus Oy, Jyväskylä.
- Ylimäula A, Niskasaari R & Okkonen I (1993) The Oulu School of Architecture. Arkkitehtuurin Oulun Koulu. The Finnish Building Centre, Helsinki.
- Ympäristöministeriö (2002). Keskeiset muutokset lainsäädäntöön. Cited September 22 th 2002 from: <http://www.vyh.fi/ympsuoy/mlaki/lakimuut.htm/>
- Östman A-C (2004) Modernisoituva maatalous. Teoksessa: Peltonen M (toim) Suomen maatalouden historia II – Kasvun ja kriisien aika 1870-luvulta 1950-luvulle. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki, 17–76.

Henkilöhaastattelut

Aaltoväre, Pirjo. Porin Lämpövoima Oy. Haastattelu syksyllä 2003.

Auvinen, Markku. Harjavallan kaupunki. Haastattelu syksyllä 2003.

Gäpää, Tuula. Kemira GrowHow Oy. Haastattelu syksyllä 2003.

Heino, Jouko. Eläkkeellä ollut korjausmies. Outokumpu Harjavalta Metals Oy. Haastattelu 6.12.2001.

Heino, Kerttu. Keskustelua vanhan ajan maataloudesta kesän 2004 aikana.

Heino, Tyyne. Keskustelua vanhan ajan maataloudesta kesän 2004 aikana.

Hämäläinen, Jari. OMG Harjavalta Nickel Oy. Haastattelu syksyllä 2003.

Kankaanpää, Viljo. Eläkkeellä ollut sulaton työntekijä. Outokumpu Harjavalta Metals Oy. Haastattelu 8.12.2001.

Kurru, Kaisa. Keskustelua vanhan ajan maataloudesta 9.8.2004.

Makkonen, Pertti. Eläkkeellä oleva korjaamon työntekijä. Outokumpu Harjavalta Metals Oy. Haastattelu 6.8.2002.

Paavilainen, Jouko. Eläkkeellä oleva korjaamon työntekijä. Outokumpu Harjavalta Metals Oy. Haastattelu 1.6.2002.

Ruokonen, Eeva. Outokumpu Harjavalta Metals Oy. Haastattelu syksyllä 2003.

Tammi, Kaarina. Keskustelua vanhan ajan maataloudesta 9.8.2004.

Tammi, Kauko. Oy AGA Ab. Haastattelu syksyllä 2003.

Tammi, Maiju. Harjavallan Outokummun lähistön asukas. Haastattelu 6.8.2002.

Tammi, Maiju. Keskustelua vanhan ajan maataloudesta 9.8.2004.

Viljanen, Päivi. Kemira GrowHow. Haastattelu syksyllä 2003.

Virtanen, Eero. Eläkkeellä oleva kuljetustyönjohtaja. Kemira Oy. Haastattelu ja keskustelut vuosina 2000–2002.

Liitteet

Liite 1 Työn syntyhistoria ja kiitossanat.

”Vuorten yksinäisyydessä mietiskely ei ole teiden risteyksissä istumisen ja ihmisten puheiden kuuntelemisen veroista.”

- Kiinalainen sananlasku

Väitöskirjaa tekevänä ehtoopuolen palloilijana otan oikeuden kirjoittaa hiukan pidemmän työn syn-ty- ja muotoumishistorian, koska elämäkokemustakin on enemmän ja sen myötä ihmisiä, jotka ovat joko suoranaisesti tai välillisesti vaikuttaneet työn tekemiseen sekä sen lopputulokseen. Oman käden oikeutta tukee aivokuvantamisen kehittäjän Riitta Harin huomio, jonka mukaan *toiset ihmiset ovat tärkein ympäristömme ja aivomme ovat erikoistuneet juuri sosiaaliin tilanteisiin. Aivois-sa peilautuu yksilön koko ympäristö – sekä nykyinen että aiemmin koettu. Sosiaalinen vuorovaiku-tus muokkaa ihmistä koko hänen elämänsä ajan.*

Työn ensimmäinen mutta onneksi tiedostamaton palanen saatettiinkin asettaa paikalleen vuonna 1962, kun aloitin koulunkäyntini Torttilan kansakoulussa Harjavallassa. Reijo Virravirran mukaan Torttilan koulua kutsuttiin myös tehtaiden kouluksi, koska se on rakennettu ensisijaisesti sekä Outo-kummun että Kemiran lapsia varten. Kansakoulun oppiaineisiin kuului Ympäristöoppi, johon perehdyin sekä koulussa opettajamme Elsa Niskasen johdolla että koulumatkalla Torttilan pasuttu-neella männikkökankaalla. Silloin oli käytännössäkin mahdollista tehdä ensimmäisiä havaintoja sii-tä, mitä rikkidioksidi ja raskasmetallit voivat suurina määrinä luontoon päästessään saada aikaan.

Torttilankankaan toisella puolella sijainneessa Kemirassa olin kesäharjoittelijana neljänä kesänä 1970-luvulla. Meidät kesätyöntekijät otettiin todella hienosti vastaan ja työilmapiiri Kemirassa oli oikein hyvä ja kannustava. Jälkeenpäin olen kuullut, mitä työilmapiiri voi pahimmillaan olla, mikä omalta osaltaan on tuonut arvostavaa lisäperspektiiviä vertailuun. Työssäni tutustuin myös vaaral-listen aineiden käsittelyyn, jotka muodostavat tärkeä osan tätäkin työtä.

Vuonna 1974 aloitin opiskelut Oulun yliopiston Prosessiteknikan (nyk. Prosessi- ja ympäristötek-niikan) osastolla. Vuonna 1981 valmistuneen diplomityöni *”Tutkimus typpihappotehtaan NO_x-päästöjen pienentämismahdollisuuksista”* yksi tärkeimmistä lauseista oli: *”Vetyperoksidiab-sorption edullinen ominaisuus on saasteen poistamisen sivutuotteena syntyvän typpihapon ja veden saaminen tehtaan päätuotteen joukkoon.”* Lause sisältää yhden työni perusideana olevista *”Teollis-en ekologian”* ydinajatuksista.

Diplomityöni yksi tärkeimmistä onnistumisen edellytyksistä oli erikoislaboratoriomestari Jorma Penttisen apu. Jorma on ollut mitä tärkein henkinen ja ammatillinen tuki niiden yli 26 vuoden aika-na, jotka olemme tunteneet. Jälleen kerran haluan kiittää Jormaa lämpimästi, kuten kiitin vuonna 1981 valmistuneen diplomityöni alkusanoissa.

Ollessani vuosina 1981–82 Oulun yliopistossa Timo Huuskon järjestämällä Energia-asiantuntija kurssilla yksi parhaiten muistiin jääneistä opettajista oli kasvitieteen professori Satu Huttunen. Myöhemminkin olen häntä kuunnellut, enkä voi kieltää, etteikö hänen esityksistään ja kirjoituksis-taan olisi myös tässä työssä vaikutteita.

Erityisesti haluan kiittää kasvitieteen professori Satu Huttusta kriittisen rakentavasta palautteesta, jonka hän antoi työni aihion esiversiosta lopputalvella 2002. Palautteen perinpohjaisuus yllätti minut isommin kuin samoihin aikoihin saamani Outokumpu-säätiön apuraha, josta jatkossa enem-män. Palautteen laaja-alaisuus ja syvällisyys tekee tutkijan nöyräksi jo senkin takia, ettei saamaan-sa arvokasta apua tuskin koskaan pysty ”maksamaan” takaisin. Aitona yliopistoihmisenä ja luon-non hyvinvoinnin eteen tekemänsä työn takia hän ei sitä ehkä odotakaan, vaan toivoo pyyteettö-män työn kiertävän eteenpäin, minkä toivon mukaan pystyn toteuttamaan aikojen saatossa.

Työskentely Kemira Oy:ssa 1970-luvulla antoi myös onnistumisen eväät Jalasjärven Korvanevan pienpalaturvetekniikan tutkimusprojektille kesällä 1982. Siitä saamani kokemukset olivat minulle hyväksi avuksi, kun olen yrittänyt hahmottaa tätä Outokummun työntekijöiden puurtamista liekki-sulatusmenetelmän kehittämisen alkuaikoina. Meidän koejaksomme Jalasjärvellä oli kuitenkin paljon lyhyempi eikä työskentelyolosuhteetkaan olleet niin hankalat, vaikka pölyistä työtä on turvetuotantokin.

Olin vuosien 1985–86 aikana mukana Oulun läänin alueella suoritetussa *”Onnettomuusriskiä aiheuttavien vaarallisten aineiden valmistuksen, käytön, varastoinnin sekä maantie ja rautatiekuljetusten”* -viranomaisyhteistyöprojektissa kartoitustyön yhtenä tekijänä sekä viranomaistyöryhmän sihteerinä. Kokemukset Työsuojelupiirin ajasta muodostavatkin tämän työn yhden hyvin tärkeän kulmakiven. Lämpimin kiitoksin haluan muistaa Oulun työsuojelupiiriin henkilökuntaa. Antoisa yhteistyö Teknillisen tarkastuskeskuksen Oulun yksikön, Oulun lääninhallituksen pelastus-, poliisi- ja ympäristösuojelutoimiston sekä Aluetyöterveyslaitoksen kanssa avarsi käsitystä viranomaistyöskentelystä sekä mahdollisuuksista vaikuttaa onnettomuuksien ehkäisyyn.

Vuosien 1988–1991 aikana toimin Tampellan tutkijana. Työjakson aikana sain valmiiksi lisensiaattintyöni, jonka nimi on *”Integroidun rikinpoistomenetelmän kalkkikivi-injektion tutkiminen ja kehittäminen”*. Haluan muistaa lämpimin kiitoksin Tampellan henkilökuntaa sekä erikseen Jouko Lainetta, Timo Kenakkalaa sekä Heikki Kuoppalaa, joiden kanssa yhteistyö on jatkunut senkin jälkeen. Timo on ollut myös yksi tärkeimmistä pelikavereista lentopallourani aikana. Yhdessä olemme oppineet, mitä merkitsee hyvä joukkuehenki ja yhteistyö, jos haluaa jotain isompaa tiimityössä saavuttaa.

Eine Pölläselle haluan osoittaa jälkikäteen aikoinaan kirjaamatta jääneen ison kiitoksen lisensiaattintyöni oikoluennasta. Tämän työn aihepiiriin kuten myös yliopiston yleiseen tehtävään liittyen olemme käyneet Einen kanssa lukuisia mielenkiintoisia ja avartavia keskusteluja, joista haluan myös muistaa lämpimin kiitoksin entistä kollegaani. Einen suorat ja kriittiset palautteet ovat myös selkeyttäneet sitä, mitä ja miten haluan tuoda väittämäni esiin, vaikkakin oma esitysfilosofiani on selvästi tai ehkä Einen mielestä epäselvästi jäänyt edelleen näkyviin.

Vuosien 1991–1996 välisenä aikana tein rikkidioksidinpoistotutkimusta enemmän tai vähemmän päätoimisesti osana assistentin työtä. Lämmin kiitos Sirpa Nelolle, Mervi Satalle, Kaisu Ainassarelle ja Petri Määttälle tuosta ajasta. Unohtaa ei voi osaston työpajan ihmeellisiä sinitakkisia Jarmo Murtoa, Toivo Nissinahoa, Jorma Sarkkista, Pekka Kauppilaa, Mikko Joensuuta ja Jorma Penttistä, joiden avulla olemattomillakin määrärahoilla saatiin paljon aikaan; luovuuden ja hyvä ammattitaidon ylärajana on vain taivas. Jouko Virkkalaa haluan kiittää ammattitaitoisesta avusta SO₂ -mittauksissa. Rikkiviisasta minusta ei tullut, mutta tutkimustyössä oppimaani olen yrittänyt soveltaa luovasti tämän työn muihin aihealueisiin.

Prosessimetallurgian laboratoriossa aloitin urani loppukesällä 1992. Saman vuoden keväällä eläkkeelle jääneen opettajani Elsa Niskanen eläkkeelle siirtymistä oli juhlistamassa yli puolet vuoden 1962 Torttilan koulun ensimmäisen luokan oppilaista. Virallisen vierailun teimme Outokummun Harjavallan tehtaalle; minne muualle kummun, rikin ja lähiympäristön mukulat olisivat osanneet mennä. Isäntänämme oli Outokummun pitkäaikainen ja arvostettu henkilöstöasiainhoitaja Esa Heino. Tällöin entinen peli- ja koulukaverini sekä nykyinen Boliden Harjavalta Oy:n työntekijä Markku Haapala sanoi, että kyllä Harjavallassa olisi myös sinulle paikka ollut. Sitä optiota olen hyödyntänyt sekä tässä työssä että myös myöhemmissä tutkimuksissa.

Vuonna 1997 luennoin ensimmäistä kertaa Metallurgiset prosessit -kurssin. Koska en halunnut opiskelijoille puuta heinää puhua, kävin kahden päivän ”haalariharjoittelussa” Outokummun Harjavallan tehtailla tutkija Don Simolan ja entisen metallurgiopiskelijamme, käyttöinsinööri Pekka Pyykön toimiessa opastajina. Samalla myös pohjustettiin uutta ”Metallurgiset prosessit -opintomonistetrilogiaa”.

Metallurgiset prosessit -kurssille tarkoitettua kurssimateriaalia ei tarvinnut rakentaa tyhjän päälle, vaan se on jatkoa Jarmo Liljan ja Salla Sundströmin vuonna 1991 kirjoittamalle monistesarjalle "Metallurgin hyvä tietää; Metallurgiset prosessit I–IV. Työtä tehdessämme huomasimme Eetu Heikkisen kanssa, kuinka valtavan työmäärän Jarmo ja Salla aikoinaan olivat tehneet.

Sallan ja Jarmon lisäksi haluan kiittää Metallurgiset prosessit -kurssin myöhempiä opettajia Seppo Ollilaa ja Riikka Heiniemeä heidän jälkeensä jättämästä materiaalista sekä syksyn 1997 rakentavista keskusteluista liittyen kurssin kehittämiseen. Se on ollut arvokasta taustatietoa myös tähän väitöstyöhön.

Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorion emeritusprofessori Jorma Sohlo oli pitkäaikainen esimieheni sekä 1980- että 1990-luvuilla. Kiitän häntä lukuisista mielenkiintoisista ideoista Ekotekniikan kurssilla sekä keskusteluista koskien tämän työni laaja-alaista aihealuetta. Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorion haluan muistaa kiitoksin myös Liisa Myllykoskea.

Sirpa Nelon ja Esa Muurisen kanssa muodostimme vuosien 1991–1996 aikana Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorion assistenttikolmikoon tai tarkalleen ottaen assistenttikaksipuolikkaan, sillä minä toimin suuren osan aikaa osaksi prosessimetallurgian laboratoriossa. Sanotaan yleisesti, ettei jaettu vastuu ole kenenkään vastuu. Vastuuntuntoisten ja korkean työmoraalien omaavien Sirpan ja Esan kanssa pystyimme romuttamaan myös em. väitteen.

Riitta Keiskä haluan kiittää mitä lämpimimminkin hyvästä yhteistyöstä koskien sekä ympäristöopetuksen kehittämistä että tutkimusta.

Kiitän entistä kollegaani Tuomo Koskenkaria, jonka ensimmäisen kerran tapasin innokkaana oppilaana Ekotekniikan kurssilla keväällä 1997. Innostus ei osaston työntekijäksi siirtymisen jälkeenkään laantunut ja siten sai myös virttynyt "tieteenharjoittaja" ikään kuin uutta puhtia. Rakentava vuorovaikutus on jatkunut Tuomon siirryttyä Eka Chemicalsin leipiin. Vuoden 1997 Ekotekniikan kurssilta muistan myös myöhemmät assistenttikollegani Heli Rautjärven ja Tiina Husun; heidän vaikutustaan osaston positiiviseen ja kannustavan ilmapiiriin ei voi kieltää vaan paremminkin päinvastoin.

Osaston henkilökuntaan kuuluvalla Juha Jaakolle lämmin kiitos väitöstyötä yleensä sekä erityisesti sen yhtä johtajatausta koskeneista arvokkaista ja kannustavista keskusteluista kuten myös muusta tuesta, joita ei varmaan väitöstyöntekijä koskaan saa liikaa. Rakentavan kriittisesti asioihin suhtautuvan Juhan kanssa on ilo keskustella muutenkin.

Jatkuvatoiminen prosessi vaatii yleensä ihmisen mukanaoloa huolimatta valvonta- ja ohjauslaitteiden parantumisesta. Tämän jatkuvan valveilla olon ja huolellisuuden olon merkitystä olen korostanut kirjoittamalla 12.7.1995 nyttemmin jo eläkkeelle siirtyneelle enolleni humoristis-vakavasävyisen kunniakirjan. Samalla kun kunniakirja on tarkoitettu enolleni, on se kohdennettu välillisesti myös muille Harjavallan Kemiran ja Outokummun sekä edelleen Bolidenin työntekijöille.

"KUNNIAKIRJA Heimo Krannilalle,

joka on menestyksellisesti tehnyt rikkihappoa jo 35 vuoden ajan ollen siten myötävaikuttamassa Harjavallan ilman puhtauteen merkittäväällä tavalla. Perusteluna tälle huomattavan ympäristönsuojelutyön kunniakirjan myöntämiselle tuodaan se tosiasia, että Outokummulla käytössä oleva rikkihapon kaksoiskontaktimenetelmä on maamme yksi merkittävimmistä ympäristönsuojeluinvestoinneista, jonka avulla on muutettu toinenkin tonni metallurgisen teollisuuden väkeviä rikkidioksidikaasuja eri tuotteiden raaka-aineiksi ehkäisten luonnon saastumista ja havumetsien kuolemista vuoden 1994 jätelain henkeä ennakkoiden ja noudatetaan."

Tämän työn yksi perusta on ensimmäinen Teollisesta ekologiasta vuonna 1998 kirjoittamani raportti *"Mietteitä ja havaintoja teollisesta ekologiasta"*. Pyysin äitiäni lukemaan sen. Äiti tuumasi, ettei hän siitä mitään ymmärrä. Sanoin kuitenkin, että sen takia minä sen kirjoitin, jotta hän ymmärtäisi...

"Jos et osaa selittää isoäidillesi, mitä tutkit, et myöskään itse ymmärrä sitä."
- Nobelisti Richard Feynman

Palautteessaan äiti kertoi, että kaikki muu on selvää, mutta kahta viimeistä sivua hän ei ymmärtänyt. Ihmettelin asiaa itsekseni, mutta viimeiset sivut olivatkin lähdeluettelo, jossa oli myös englanninkielisiä lähdeviitteitä. Hän kuitenkin jatkoi, että mahtaako tuo Riihilahden Kirsti olla Oivan tytö. Kirsti on tosiaan Oivan tyttö Harjavallasta ja on nyt mukana tässä kirjassa yhdessä luokkakaverinsa ja nykyisen työkaverini Luomalan Matin kanssa selittämässä liekkisulatusmenetelmän nykytilaa.

Entinen Harjavallan Outokummun ja sittemmin Kemiran työntekijä Eero Virtanen kertoo Harjavallan kuparitehtaan paikan lopulliseen valintaan johtaneista syistä seuraavaa: *"Tuli mieleen tarina siitä, miksi Outokumpu yleensä on Harjavallassa? Kun vuorineuvos Mäkinen etsi tehtaalle paikkaa, jonne Imatran kuparitehdas voidaan sodan jaloista kiireesti siirtää. Hän harhaili Harjavallan kannaita ja tuli nykyiselle sijaintipaikalle, suuren hiekkakuopan partaalle, josta aikoinaan oli valtava määrä ajettu hiekkaa Pori-Tampere ratapenkereelle. No, Mäkiselle tuli luonnollinen tarve, ja hän lorotteli kuopan partaalta komeassa kaaressa alas syvyyteen, ja silloin hänellä välähti. Tässä on kuonarännin paikka. Monen vuoden kuona saa valua suoraan kuoppaan. Vasta 50-luvun alkupuolella alettiin kuona johdattaa vesialtaaseen eli granuloimaan."*

Ehkäpä Eeron hiukan humoristisen esityksen takaa löytyy se, miten kuparitehtaan tulon aiheuttamasta pitkästä alkushokista selvitettiin. Välillä hiukan happamallakin huumorilla pystyttiin lievästi rikinkatkuinen leipä muuttamaan makoisaksi satakuntalaiseksi kakoksi sekä suussa sulaviksi karjalampiirakoiksi. Liekkisulatuksen kehitystyössä karjalainen luovuus on yhdistynyt mitä parhaimmalla tavalla satakuntalaiseen peräänantamattomuuteen ja hämäläiseen sitkeyteen sekä muualta tulleiden parhaimpiin ominaisuuksiin.

Liekkisulatusmenetelmän historiallinen käsittely juontaa juurensa vuoteen 1999, jolloin tämän kirjoittaja oli mukana Metallurgiset prosessit -opintomonistetrilogian kirjoittamistyössä. Seuraava lainaus on otettu historiallisen jakson alkusanoista: *"Valitettavasti tässä jaksossa ei tule esille niitä lukuisia inhimillisiä tekijöitä ja henkilöitä, jotka ovat vaikuttaneet kehityksen kulkuun. Sain kuulla kesällä -98 liekkisulatusmenetelmän kehitysprojektissa mukana olleen ja sittemmin Outokummun Harjavallan tehtaiden korjausmiehen, setäni Jouko Heinon extempore -esitelmän kuparin liekkisulatusmenetelmästä ja sen kehittämisen vaikeuksista. Jos hän olisi pitänyt vastaavan esitelmän Metallurgiset prosessit -kurssilla, niin yksikään opiskelija ei olisi poistunut kesken luennoilta."*

Tärkeimmän osan liekkisulatusmenetelmän kehittämisen kriittisiä pioneirivuosia 1949–53 sain haastatteleamalla Jouko Heinon lisäksi hänen työkavereitaan Viljo Kankaanpää, Jouko Paavilaista ja Pertti Makkosta. He edustavat samalla sitä valiojoukkoa, joka aikoinaan teki melkein mahdottomasta mahdollisen. Joukolle, Viljolle, Joukolle ja Pertille haluan osoittaa mitä parhaimmat ja lämpimimmät kiitokset saamistani, käytännön kokemuksiin perustuvista kehitystyön kultajyvistä.

Syksyllä 2001 kävin tutustumassa Outokummun tehtaan alkuaikoihin siltä ajalta otettujen kuvien avulla. Irmeli Järvisen hyvin järjestämän kuva-arkiston ansiosta käynnistä muodostuikin hyvin antoisa. Aikaisemmin mainitsemani Eero Virtanen on antanut omalta osaltaan arvokkaan lisänsä kokemus- ja muistiperäiseen tietoon. Tuomo Särkikosken *"Tiedon liekki"* -kirja on avannut liekkisulatusmenetelmän kehitystyölle laajemman perspektiivin. Aiemmin ansiokkaasti kehittämisen aikoja ja kokemuksia ovat kuvanneet Pekka Poutanen ja Markku Kuisma.

Harjavallan torilla kesällä käydessäni etenemisnopeus on n. 0,1 m/min ja ei aina sitäkään. Vastaan tulee niin paljon entisiä Kemiran työntekijöitä, jotka ovat joko kesälomalla tai jo vetäytyneet aktiiviyönteosta hyvin ansaitsemalleen eläkkeelle. Itse asiassa tässä työssä sekä Kemiran työntekijöiden että muiden muodostama ”*Harjavallan toriparlamentti*” on osoittautunut erittäin arvokkaaksi tiedonlähteeksi. Keskusteluja ei ole sävyttänyt pelkkä harmonia, vaan on löytynyt särmääkin; ystävinä on toki aina erottu.

Keskustelut Paavo, Kerttu, Teuvo, Harri, Eira, Eila, Tuula ja Timo Heinon, Hannu ja Juha Jäntin, Raija Marjasen, Matti Krannilan, Kalle Vuorisen, Erkki Hakalan, Lauri Laukkasen, Erkki Jokirannan, Erkki Kiurun sekä Risto ja Veli-Pekka Kovasen kanssa unohtamatta muitakaan harjavaltalaisia ovat myös omalta osaltaan avartaneet ajatuksiani ja luoneet oikean käsityksen niistä kokemuksista, jotka kupari- ja nikkelitehdas ympäristölle ja ympäristön asukkaille aiheutti. Samalla keskustelut ovat myös selkeyttäneet käsitystäni siitä arvokkaasta kehitystyöstä, jonka ansiosta raskaiden vaiheiden ohi päästiin

Matti Krannilaa haluan kiittää murrekonsultoinnista; asiatekstin kääntäminen onnistuu näemmä juohevasti lukuisten ulkomaisten kielten lisäksi Harjavallan murteellekin. Sen lisäksi Matti on perinpohjaiseen tyyliinsä tehnyt arvokkaita korjausehdotuksia liittyen kirjalliseen ilmaisuun. Kaisa Kurrulle lämmin kiitokseni mielenkiintoisesta kirjeenvaihdosta sekä muusta avusta. Entistä Harjavallan asukasta ja nykyisin Äetsässä asuvaa Pirkko Siukoa kiitän monista arvokkaista keskusteluista sekä kirjoituksieni ja ajatusteni kommentoinnista.

Maiju Tammea kiitän niistä kauniista muistikuvista, jotka valottivat aikaa ennen tehdasta. Keskustelu hänen ja Kaarina Tammen kanssa kesällä 2002 oli jotain sellaista, mikä muiden harjavaltalaisten kanssa käymieni keskusteluiden lisäksi on palkinnut monin kerroin välillä raskaatkin unettomuuden yöt, joita tätä työtä miettiessäni ja tehdessäni olen viettänyt. Kuvallisesta avusta kiitän Kaarina Tammea ja Anneli Heinoa, joilta saamani valokuvat selkeyttävät lähimenneisyyden ja nykyisyyden valtavaa eroa tällä kertaa nykyhetken eduksi.

Maiju ja Kaarina Tammen, Kerttu Heinon, Kaisa Kurrun sekä äitini Tyyne Heinon muistin sopukoista on peräisin arvokas perinnetieto koskien Etelä-Suomen 1920–40 -lukujen maatalousekosysteemiä, joka on yksi välivaihe mentäessä kohti teollista ekosysteemiä. Tietoa täydensi Juha Tiaiselta saamani arvokas kirjallinen apu perustuen silloin vielä julkaisemattomaan kirjaan *Tiainen, J., Kuussaari, M., Laurila, I. P. & Toivonen, T. (toim.). Elämää pellossa – Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus*.

Tunnustaudun Väinö Linnan ihailijaksi ja hänen tekstiensä siteeraajaksi ihan kanssaihminen kyllästymiseen asti. Onneksi kuitenkin entinen työkaverin Anne Mäki avasi silmäni kertoessaan omasta mieltymyksestään Aleksis Kiven tuotantoon. Tuskinpa parempaa tapaa kuin Kiven runo ”*Kontiolan kaski*” olisi kuvata harjavaltalaisten yhteistä taistelua liekkisulatusmenetelmän onnistumiseksi ja tehtaan integroimiseksi kauniille männikkökankaalle.

Ulkopaikkakuntalaisille ja myöhemmin syntyneille paikkakuntalaisille ei ehkä Kiven runo aukea, mutta heille voikin suositella harjavaltalaissyntyisen Satu Rantalán (os. Suonpää) vuonna 2001 valmiiksi saamaa upeaa pro gradu-työtä ”*Koko pitäjä rakennettiin sit uudestaan*”. Samalla haluan kiittää myös Cedercreuzin museon johtajaa Ritva Kavaa saamastani avusta ja kannustuksesta.

Sisareni Sirpa joutui hankalaan tilanteeseen Nakkilan kunnanvaltuustossa ottaessaan kantaa vuosien 2001–2002 aikana Outokummun rikastushiekan läjitysalueen laajennushankkeeseen. Parhaan ja tasapuolisen kykyni mukaan yritin toimittaa hänelle asiaa koskevaa materiaalia. Samalla sain seurata tuollaisen hankkeen etenemistä myös kunnanvaltuutetun näkövinkkelistä. Olla puolesta ja olla vastaan sekä ajatella myös yksittäisten ihmisten etua ei ole helppoa tehtävä.

Juho Mäkiselle lämmin kiitos arkaan ympäristöasiaan liittyneestä asiallisesta ja rakentavasta keskustelusta kesän 2002 aikana. Erityisesti haluan kiittää sen jälkeisestä positiivisesta suhtautumisesta, mikä omalta osaltaan on edesauttanut siihen, että työn tekeminen on mahdollistunut sellaisessa muodossa, missä tekijä sen sen haluaa olevan.

Filosofi G.W. von Wright on kirjassaan *"Humanismi elämänasenteena"* kirjoittanut: *"Ajatuksenvapaus on todellisuudessa totuuden itseisarvon väistämätön seuraus. Ihmisen estäminen lausumasta julki ajatuksiaan on kaikissa tapauksissa vääryys, sanoo Mills. Jos kielletty mielipide on tosi, mitä mahdollisuutta ei koskaan voida jättää luvuista, riistämme muilta tilaisuuden vaihtaa väärät käsityksensä oikeisiin, ja jos se on väärä, estämme heitä erehdyistä vastaan taistelemalla pääsemästä selvempään käsitykseen totuudesta."*

Tämän työn tärkeänä osana voidaan pitää vuosien 1999–2001 OPTIDUST-projektia, jonka perusidean isä olivat Jouko Härkki, Aimo Hiltunen ja Esko Pöyliö. Projektin aikana he ovat kukin omalla arvokkaalla panoksellaan edesauttaneet työn onnistunutta eteenpäin vientiä; siitä heille omasta ja projektin muiden työntekijöiden puolesta lämmin kiitos. Vesa Pihlaja, Uolevi Idman, Pentti Eklund ja Helena Manninen toivat myös erittäin arvokkaan panoksen ko. työn onnistumiseksi.

Lausun mitä lämpimimmät kiitokseni OPTIDUST-tutkijakollegoilleni Hannu Makkosella ja Leena Määttälle (os. Laitila) rakentavasta ja antoisasta yhteistyöstä kuvaamalla sitä Arja Ropon kevään 2002 Vuorimiespäivien *"Jaettu johtajuus"* -esitelmän sanoin:

- Ei harmoniaa vaan särmää
- Ei ennalta tietämistä vaan neuvottelua
- Yhdessä tekemistä tilaa antaen
- Kontrollia luottamuksen kautta
- Kädet savessa
- Tiedon, arvostuksen, vallan ja myös vastuun jakamista
- Jaettu johtajuus on nöyryyttä mutta ei nöyristelyä
- Tiedä oma tilasi, anna arvo toisellekin.

Till Caisa Samuelsson, Bo Björkman och alla andra arbetare in kompetenscentrum MiMeR vid Luleå tekniska universitet mina bästa tackar om det uppbyggande samarbetet inom stålframställningens restprodukter; jag hoppas, att vårt sammanarbete fortsätter också i framtiden. Där är mycket gemensamma problem att lösa och med den öppen samverkan är det alltid lättare.

Lämmin kiitos avartavista ja rakentavista keskusteluista masuuniasiantuntijoiden Kyösti Heinäsen, Matti Seppäsen, Kalevi Raipalan, Olli Mattilan, Pekka Tanskasen ja Timo Paanasen kanssa. Rohkeita ajatuksia ja ideoita tarvitaan, mutta tarpeen ovat myös sekä kokemus- että teoritiedot niistä ongelmista ja vaikeuksista, jotka kohdataan, kun ideoita yritetään viedä eteenpäin; kiven läpikin voi mennä, mutta joskus voi olla energeettisesti järkevämpää ampua ankat alas jo keskusteluvaiheessa.

Toni Hemminki, Jorma Perander ja Seppo Haimi ovat omalta osaltaan saaneet minut ymmärtämään niitä ongelmia, joita kohdataan, kun isojen prosessikokonaisuuksien energia- ja tuotetehokkuutta yritetään kehittää. Vaikka tekniset ratkaisut saataisiin onnistumaan, on edessä vielä lukuisia tekijöitä, jotka voivat estää hyvinkin idean toteutumisen.

Kalevi Kuorelahdelle Siilinjärven Kemiralta lämmin kiitos mielenkiintoisesta keskustelusta ja Siilinjärven pasutekasaa saamistani tiedoista keväällä 2004. Haastattelin Kalevia teollisuuden edustajana, kuten vaivasin häntä kesällä 1980 tehdessäni diplomityötäni liittyen typpihappotehtaan typen oksidien poisto-ongelmaan.

Mikko Angerman on yhteisöhenkilö, joka tekee kaiken niin huomaamattomasti, jolloin käy usein niin, ettei hänen vaikutustaan ole huomannut kuin vasta asiaa tarkemmin mietittyään. Nyt en unohda Mikkoa, vaan kiitän monivuotisesta ja antoisasta työtoveruudesta monine mieltä avartavine keskusteluineen. Mikolle myös lämmin kiitos hänen keräämistään metallurgian digitaalisista kuvakeista ja niiden jättämisestä vapaaseen käyttöön Prosessimetallurgian laboratorion kotisivulle.

Olli Mattilan kanssa jutellessa huomaa aina saavansa enemmän kuin pystyy keskusteluun itse tuomaan. Väitöskirjan tekemisessä se on vaarallista, sillä tarkoitus on, että työhön tulisi jotain omaakin, eikä pelkästään muiden ajatuksia.

Timo Fabritius väitteli prosessimetallurgian opintosuunnan ensimmäisenä perustutkinto-opiskelijana aihealueesta *”Teräksen valmistus tehokkaammaksi fysikaalisilla malleilla”*. Turbulentiset olosuhteet ovat osa tehokasta sekoittumista konvertoerissa. Ihmisten välisissä kuuhunnoissa Timon tasoitava luonne on muuttanut monia virtauksia huomaamattomasti laminaarisiksi, mikä lienee jokapäiväisessä kanssakäymisessä tehokkaampaa.

Riku Mattilaa ja Tommi Kokkosta haluan muistaa siitä korvaamattomasta avusta, mikä on liittynyt mikrotietokoneiden ja oheislaitteiden käyttöön. Kelpo kehitystyön myötä mikrotietokone muistuttaa rautakankea, jolla voi vääntää menemään. Jos rautakanki välillä on käsissä vääntynytkin, ovat Riku ja Tommi kärsivällisesti ja hymyssä suin sen pika pikaa käyneet oikomassa.

Myös prosessimetallurgian laboratorion muu henkilökunta on ollut suureksi avuksi tätä työtä tehtäessä. Laboratorion avoin ja kannustava henkinen ilmapiiri onkin vaikuttanut siihen, että burn out II ei ole iskenyt. Lisäksi aihealueeseen kuin aihealueeseen löytyy ylivertainen keskustelukumppani, jolloin prosessi- ja ympäristöinsinöörinkin tietämys metallurgiasta ja muusta aihealueeseen lisääntyy ikään kuin puoli vahingossa mukavia rupertellessa.

Päivi Mannilan siirtyessä Rautaruukille muistutin mieliin sen, että vaikka hänen lähtönsä oli meille iso menetys, niin suurempi vahinko olisi ollut, jos Päivi ei olisi lainkaan työskennellyt prosessimetallurgian laboratoriossa. Imatra Steelille siirtyneen Helena Erkkilän hiljaista ”hämäläistä” huumoria ei voi olla kaipaamatta kuin ei voi olla unohtamatta sitä, minkä Mäen Anne jätti laboratorioomme siirtyessään Kemiran palvelukseen. Mukavia muistikuvia ovat itsestään Päivin, Helena ja Annen lailla jättäneet lukuisat muutkin prosessimetallurgian laboratoriossa joko lyhyemmän tai pidemmän vaikuttaneet työkaverit.

Outokummun tutkimuskeskuksessa Porissa nykyään vaikuttavan Riku Sarkkisen kanssa olemme käyneet lähdön jälkeenkin monia arvokkaita ja kriittisiä keskusteluita liittyen sekä aihealueeseen että sen lähimaastoon kuin myös tutkimustyöympäristöön.

Pekka Taskisen opetustyö on ollut yksi Prosessimetallurgian laboratorion termodynaamisen osaamisen kulmakivistä. Kaikkia ei yksi ihminen pysty omaksumaan ja oppimaan, joten kiitänkin välillisesti Pekkaa ja suoranaisesti hänen yhtä lahjakkaimmista oppilaistaan Eetu Heikkistä monista aiheeseen liittyvistä avartavista keskusteluista, jotka ovat selvittäneet ainakin osan termodynamiikan saloista tämän kirjoittajalle.

Erikseen haluan kiittää Janne Palosaarta, joka oikoluki väitöstyöhöni kuluvan Harjavallan Outokummun kuparitehdas 1944–2002 -raportin löytäen virheitä ja esittäen muutenkin hyviä parannusehdotuksia. Petri Murelle myös mitä parhaimmat tunnustukset samaista osaraporttia koskevasta, rakentavan kriittisestä palautteesta. Joskitten Leenalle haluan mitä lämpimimmän kiitoksen pahimpien suomen kielen ”krumeluuriin” poistamista koskeneista korjausehdotuksista kuin myös muusta kielentarkistuksesta.

Yhdessä Tuomo Koskenkarin kanssa tekemämme, väitöskirjan kannalta keskeisen *Harjavallan Suurteollisuuspuisto Teollisena ekosysteeminä* -osion alkuidea on otettu vuoden 2000 Ympäristöekologian kurssilla tekniikan ylioppilaiden Minna Niemelän, Minna Lindholmin ja Heidi Karjalaisen tekemästä harjoitustyöstä *”Teollisen ekologian toteutuminen Kokkolan tehtailla”*. Tuomolle

lankeaa lisäksi iso kiitos siitä, että työssä esitetyt uutuusarvoiset, teollisen ekologian ajatusmalliin liittyvät kaaviokuvat ovat havainnollisia ja kuvaavia; omat visuaaliset kykyni ovat sen verran rajoitetut, että niillä pilataan hyvinkin ajatus.

Kirjallisuuteen ja haastatteluihin perustuvaa aineistoa hyödynnettiin väitöskirjatyön lisäksi Metallurgiset prosessit- ja Teollinen ekologia ja kierrätystekniikka -kurssien opetuksessa sekä Ekotehokas yhteiskunta -klusteriin kuuluneessa tutkimushankkeessa *"A multidisciplinary consortium for resource use optimisation"*. Tutkimushankkeen vetäjälle Eva Pongráczille lämmin kiitos sekä aiemmista kriittisen rakentavista kannanotoista koskien teollisen ekologian ajatusmallia yleensä että myöhemmistä arvokkaista ohjeista liittyen väitöstyöni saattamiseen hyväksyttävään muotoon.

Tärkeän osan em. työtä muodostaa työpaikkakohtainen haastattelututkimus, jossa on mukana myös Harjavallan kaupunki ympäröivän yhteiskunnan edustajana. Kiitän Eeva Ruokosta (Boliden Harjavalta Oy), Tuula Gâpää ja Päivi Viljasta (Kemira GrowHow Oy), Pirjo Aaltoväreä (Porin Lämpövoima Oy), Kauko Tammea (Oy AGA Ab), Jari Hämäläistä (OMG Harjavalta Nickel Oy) ja Markku Auvista (Harjavallan kaupunki) saamastaan arvokkaasta avusta.

Pekka Tuokkolalle Boliden Harjavalta Oy:stä lausun mitä parhaimmat kiitokset koskien arvokkaita lisäyksiä ja korjauksia. Haluan myös kiittää *Kuparisulaton syöttöseoslaskennasta* diplomityön tehnyttä Janne Palosaarta, joka tarkasti ja oikoluki työmme löytäen virheitä sekä esittäen hyviä parannusehdotuksia. Kemira Kemwaterin Maija-Liisa Niinimäelle iso kiitokseni hänen tekemistään korjauksista. Nytemmin Kymen Työsuojelupiiriin siirtyneelle Seija Virtaselle lämmin kiitos siitä vauvänäöstä, jolla hän kävi läpi tässä työssä hyödynnettävän osion aikaisempaa yhteistä kartoitustamme tuoden samalla esille uusia näkökulmia.

Harjavallan Suurteollisuuspuisto -hankkeessa opin myös sen, ettei kaikkea tarvitse itse osata, vaan voi keskittyä omalle ydinosalle alueelleen. Esa Virtaselle haluan lausua mitä lämpimimmät kiitokset hiiliteräksen valmistukseen liittyvän Teollisen ekologian kaaviokuvan puhtaaksi piirtämisestä. Lukuisat ovat myös ne arvokkaat keskustelut, joita olemme CIRU:n toiminnajohtajaksi siirtyneen Esan kanssa käyneet tämän työhön liittyneistä eri osa-alueista.

Helka Turusen kanssa käymäni rakentavat ja kannustavat keskustelut koskien hiilidioksiditutkimusta ja edelleen hiilidioksidin vaikutusta ovat asettaneet työlle sopivia raja-aitoja, jottei tule hajautettua tutkimusta liikaa eikä yritetty liian pienellä kapasiteetilla liian laajoja asioita.

TKK:n prosessimetallurgian professorin Heikki Jalkasen kanssa kävimme mielenkiintoisien keskustelun alkukeväästä 2002. Yhdistettynä hänen yhdessä professori Holapan kanssa jo 1990-luvun alussa kirjoittamiin vieläkin ajankohtaisiin julkaisuihin tunsin saaneeni huomattavasti lisäarvoa ja ajateltavaa metallurgian alueella. Heikki Jalkasta haluan kiittää myöhemmistäkin aihealueeseen liittyneistä rakentavista ja kriittisistä kannanotoista.

Professori Seppo Väyryselle lämmin kiitos rakentavasta keskustelusta liittyen työturvallisuuden ja ympäristönsuojelun rajapintaan ja siihen, onko sitä edes olemassa. Seppo Väyrystä haluan myös kiittää vihjeestä tutustua Antti Simolan aivan vasta valmiiksi saamaan mielenkiintoiseen ja asiatuntevan väitöskirjaan *"Turvallisuuden johtaminen esimiestyönä"*, jossa tutkittiin turvallisuuskulttuurin kehittämistä organisaation näkökulmasta. Simolan väitöstyö lienee Suomessa ensimmäinen tutkimus, jossa kokonaisvaltaista turvallisuusohjelmaa kuvataan kehittämisprosessin sisältä käsin, jolloin työn tekijä on joutunut miettimään tämän työn tekijän lailla samoja tarkastelukulmakysymyksiä ja sitä, miten ne vaikuttavat työn tekemiseen.

Jarkko Hukkanen on osastomme pioneeri elinkaariarvioinnin alueella. Nytemmin UPM-Kymmellä ympäristöanalytiikkona toimivan Jarkon monet eri ympäristötekniikan kursseilla pitämät luennot ovat antaneet oivan käsityksen elinkaariarvioinnin mahdollisuuksista ja realiteeteista. Myös Rautaruukki -konsernin elinkaariarviointiasiantuntija Toni Hemminki on omalta osaltaan avartuttanut samaista aihealuetta metallurgisen teollisuuden alueelle sovellettuna.

Timo Kauppista olen oppinut arvostamaan sivistyneenä ja laaja-alaisena ihmisenä. Kesällä -84 alkanut vapaa mielipiteiden vaihto jatkuu edelleen. Timoa haluan kiittää kannustuksesta, työni kansantajuisen kirjoitustyylin tukemisesta ja sen taakse näkemisestä sekä ennen kaikkea ajatuksista, miten kvalitatiivista tarkastelua pystyttäisiin ja olisi syytäkin kehittää reaalielämän kaipaamiksi tunnusluvuiksi. Se työ jää kuitenkin muiden murheeksi tai iloksi, sillä joskus on uskallettava työlle pistekin pistää.

Haluan mainita lukuisten kirjastojen työntekijät; heidän apunsa on ollut mitä suuriarvoisinta ja ystävällisyytensä hämmästyttävää; lämmin kiitos kirjastojen suurkuluttajalta.

*”Mitä tapahtuu kun luemme? Olennot, luonto ja ajatukset,
joita joku toinen on ajatellut, äskettäin tai tuhat vuotta sitten,
astuvat mielikuvitukseemme. Ja se tapahtuu kaiken aikaa.”*
- Olof Lagercrantz

Erityisesti haluan muistaa entistä osastomme ja nykyistä Kaijonharjun kirjaston hoitajaa Kaisu Koskelaa, joka muisti minua 1980-luvun alussa seuraavalla ajatelmalla:

*”Niin kuin maa tarvitsee kasvaakseen sadetta ja aurinkoa,
vaatii ihmisen kasvu vapautta, tietoutta, kauneutta
ja läheisen ihmisen kiinnostusta.”*
- Katri Vala

Myös monet kirja-antikvariaatit ovat suoneet minulle lukuisia hienoja ja yllättäviä lukuelämyksiä, joita on tässä työssäkin hyödynnetty. Erityisesti haluan kiittää Irja Räsästä monista antoisista keskusteluista ja osuvista kirjoista. Juha Varjolle ja hänen ydinkulttuuriryhmälleen Timo Huuskolle sekä Liisa ja Helena Laukkalalle mitä parhaimmat kiitokset innoittavista tilaisuuksista. Pirkko Korhosta kiitän työni aihepiiriin liittyvistä keskusteluista kuin myös kriittisistä kannanotoista.

Entisiä pelikavereitani Raimo Körkköä ja Tuomo Niemeä sekä Tuomon vaimoa Pirkkoa kiitän tarpeeseen tulleesta tuesta. Matti Haapakoski on pelikaveri, johon voi luottaa sekä häviön hetkinä että voiton päivinä. Reijo Eerolan kanssa meillä on harvinaisen yhtäläinen käsitys joukkuepelaamisen peruseräpäätteistä, mikä oman tien kulkijaa on tavallaan suuresti rohkaissut.

Vuoden 1995 kesällä alkanut lentopallon harrastus OYUS:n nuorten lentopalloilijoiden kanssa on ollut omiaan auttamaan päivästä päivään jaksamista. Syksystä 2000 toimin kolmisen vuotta toimin nuorten naislentopalloilijoiden kanssa ja se oli erityisen antoisaa, sillä tyttöjen opiskelu- ja ammatti-alueet vaihtelevat humanistista, biologista, kemististä, ympäristögeologista ja prosessi-insinööristä kättilöön. Harrastus on jatkunut saman seuran beachjaoston pelaajien kanssa vähintään yhtä kannustavana ja piristävänä vieden ajatukset välillä pois työn laajemman viitekehyksen raskaista mietteistä.

Sanginjoen Suopoikien vaellusryhmää Jussia, Juhaa, Aria ja Seppoa kiitän lämpimästi Pohjois-Suomen metsiin, tuntureille, järville, joille sekä soille suuntautuneista matkoista, joiden aikana on myös keskusteltu työn aihepiiriin sekä sen lähimaastoon liittyvistä asioista:

*"Vain kaukana syntyy mielikuvitukseni maa, aavistusten uusi maa ja uusi kansa.
Ikuisuuden huminan täyttää korvani, astun pohjoisen
alkuluonnon keskelle, maan ikuiselle kalliolle."
Toivo Pekkanen – "Kutsu matkalle"*

Kemira Oy:n ja Tauno Tönningin säätiöitä sekä Oulun yliopiston Ympäristötohtorikoulua kiitän saamastani taloudellisesta tuesta. Outokumpu-säätiölle lämmin kiitos siitä taloudellisesta tuesta, joka mahdollisti yliassistentin uran jälkeisen pitempiäaikaisen työskentelyn vapaana muista virkavelvoitteista. Assistentin/yliassistentin palkitsevassa ja mielenkiintoisessa työssä kuormittavat muut velvoitteet yleensä niin paljon, että virkaohjesäännön suoma jatkotutkimusrauha tahtoo jäädä pelkiksi kauniiksi sanoiksi yliopiston kotisivulle. Prosessi- ja ympäristötekniikan osastolle kiitokset kevään 2006 kalkkiviivavaiheen taloudellisesta tuesta.

Erityisen kiitollinen olen saamastani ”jatkoajasta” sen takia, että nyt on jäänyt aikaa ajatella, mitä on tullut tehtyä ja missä oltua mukana. Hajautettu assistenttueurini Lämpö- ja diffuusiotekniikan ja Prosessimetallurgian laboratorioissa puhumattakaan siitä näkökulmasta, joka avautunut työskentelystä Prosessitekniikan ja Ympäristötekniikan koulutusohjelmissa ovat tuoneet arvokkaan lisärydityksen. Olematta metallurgi ja opettaa prosessimetallurgiaa ja olla Prosessimetallurgian laboratorion edustajan Ympäristötekniikan koulutusohjelmassa on saanut aikaa sen, että säilyttää ulkopuolisen tarkkailijan näkökulman ollen kuitenkin kehitysprosessissa mukana.

Berith Zinovjev huolehti ansiokkaasti Prosessimetallurgian laboratorion taloushallinnosta suoden tutkijoille vapauden keskittyä omaan ydinosaamisalueeseensa. Osaan arvostaa ja sen takia kiitän Berithiä hänen arvokkaasta panoksestaan, sillä hajautettu assistenttuurini sisälsi jopa tuon toiminnan onneksi kuitenkin silloin pienemmässä mitassa. Näin vapautuu tutkijalle aikaa välillä jopa sinisille ajatuksille, kun taloushallinnosta vastaa joku muu.

Liisa Rantajärveä yliopiston hallinnosta ja Marja Väisästä osastomme kansliasta haluan kiittää siitä arvokkaasta avusta, jolla erilaisen talousihmisen muiden töiden ohella hoitamasta tilikirjanpidosta ei negatiivisia seuraamuksia tullut. Samalla haluan kiittää muutakin kanslian henkilökuntaa, jonka kanssa on ollut ja on edelleen ilo työskennellä.

Yliassistenttuurini aikana Prosessi- ja ympäristötekniikan osaston saaman opetuksen laatuysikkötunnustuksen sijasta puhuisin mieluummin oppimisen laatuysikkyydestä, sillä kyllä tässä kokonaisuudesta on kysymys eli oppimisympäristöstä. Silloin siinä on koko osaston henkilökunta mukana, vaikka ei suoranaisessa opetusvastuussa olekaan. Toimintaan on liittynyt yhtenä melkeinpä tärkeimpänä elementtinä opiskelijoiden kriittisen rakentava palaute. Kriittisen palautteen antamisen muuttamisen rakentavaksi toiminnaksi opiskelijamme osaavat ja siitä oppimisesta enemmän kiitossanojen loppupuolella.

Elämä ei lopu toivon mukaan väitöskirjan tekemiseen. Kun *"Harjavalan Suurteollisuuspuisto Teollisena ekosysteeminä"* -työn Koskenkarin Tuomon kanssa aloitimme, en tiennyt, että itse tulen olemaan sen "sisällä" töissä, mutta näin kävi. Tutkijakollegani POHA -projektissa on prosessimetallurgi Virpi Leinonen. Sen lisäksi POHA-projektiin on sitoutunut henkilöitä sekä Outokummun tutkimuskeskuksesta Porista, Boliden Harjavalta Oy:ltä että Prosessi- ja ympäristötekniikan osastolta puhumattakaan Boliden Harjavalta Oy:n käytön henkilöistä, joilla monissa asioissa on paras käytännön tietämys. Teknillisen korkeakoulun Teollisuuden ympäristötekniikan laboratorion professoriksi siirtynyt Olli Dahl jatkaa projektin toisena vastuullisena johtajana Jouko Härkin toimiessa toisena.

Kaikille POHA -projektiin sidoksissa oleville henkilöille lämmin kiitos rakentavasta yhteistyöstä, mielenkiintoisista ja avoimista keskusteluista sekä mahdollisuudesta yhdessä miettiä poisteiden hyödyntämisen mahdollisia inhimillisiä esteitä, jotka kuuluvat sekä väitöstyöni että POHA -projektin tärkeisiin asioihin.

Aina ei ole Heino Tyynen poikaa myötäsukaan silitetty ja välillä on tullut ”keppiä” kuin Timo Nummelinille aikoinaan hänen seisoessaan vastustajan maalin edessä tekemässä tilaa oman joukkueen muiden pelaajien tehdä maaleja. Lentopallon ykkös- ja mestaruussarjan aikaista valmentajaani Lasse Järvenpäästä kiitän niistä opeista, jotka ovat minua siivittäneet eteenpäin monissa vastatuulis- sa mahdollistaen mm. tämän työn tekemisen. Eivät ne opit aina niin mukavilta tuntuneet, vaikka ovatkin hyviksi osoittautuneet.

”Kokemuksen karttuessa huomaa pakostakin, että elämä on epäoikeudenmukaista, mutta sitä on vain tehtävä parhaansa niissä oloissa, joihin on joutunut.”
- Stephen Hawkingin elämäkerta ”Tiedemiehen elämä”

”Kepin” saamiseen on saattanut vaikuttaa myös satakuntalainen luonne sanoa kovaa ja kaunistelematta. Asiaa joskus Harjavallan kirkkoherralle Veijo Järviselle valitettuani hän epäili minulta puutuvan diplomatian taitoja. Toivotaan, että vanha koira oppii vielä uusille tavoille, sillä diplomatian taitoja taidetaan tarvita vielä tulevaisuudessakin.

Kari Kantasalmien toimittamassa kirjassa ”Yliopiston ajatusta etsimässä” Karl Jaspers kirjoittaa mm. seuraavaa: *”Yliopisto on paikka, jossa etsitään ehdotonta totuutta sen kaikissa muodoissa. Kaiken tutkimuksen tulee palvella tätä totuuden etsintää. Tällaisen omistautumisen radikaalisuus luo voimakkaita intellektuaalisia jännitteitä, jotka muodostavat edellytyksen tieteelliselle edistyksele. Älyllisissä kiistoissa esiin kuohahtavat jännitteet ovat merkittäviä, sillä vastakkainasettelujen kautta muovautuu yhteinen perusta tieteelliselle toiminnalle.”*

Opintie on tosiaan ollut ohdakkeinen ja välillä niiden virallinen harjoittaminen on jäänyt täysin kesannolle. Tällöinkin Oulun yliopiston vahtimestarien tuki on ollut kullannarvoinen. Vaikka määräyksiä on pitänytkin noudattaa, niin se ei ole estänyt mallikelpoisia yliopistoihmisiä ajattelemasta kriittisesti ja toimimaan oman parhaan harkintansa mukaan. Kiitän vahtimestareita yleensä ja erityisesti Juhani Oikarista hienosta toiminnasta ja tuesta vaikeina aikoina. Yhtä suuret kiitokset myöhemmistä ajoista, sillä inhimillisten ihmisten kanssa on mukava tehdä töitä; järjestelyä ja junailua assistentin/yliaassistentin työn hoito on vaatinut.

Työpaikan siisteys on tärkeä osa työturvallisuutta ja viihtyvyyttä yleensä. Lämmin kiitos monille siivoojille, joista erikseen haluan muistaa Eila Tapperia onnistuneiden työturvallisuusprojektien johdosta. Yliopiston kahvioiden ilmapiiri on aina ollut luova virittäen ja innoittaen moniin keskusteluihin sekä omakohtaisiin pohdintoihin välillä tökkineenkin tutkimustyön lomassa.

Työssä liikutaan erittäin paljon myös ns. hiljaisen tiedon alueella. Hiljaista tietoa on vaikea saada kirjalliseen muotoon, sillä se vain on olemassa olematta kuitenkaan mitään pseudotiedettä. Hannele Koivusen kirjasta *”Hiljainen tieto”* on lainattu seuraava ote: *”Ihmisaivojen tärkein kyky ei ehkä ole muistaminen vaan unohtaminen. Tässä prosessissa detaljitieto sulautuu hiljaiseen tietoon ja jäsen- tyy osaksi kokonaisuutta. Aivot voivat kuitenkin poimia detaljitiedonkin uudestaan esiin, jos tarvi- taan. Se ei siis kadonnut vaan säilössä ihmisen hiljaisessa tiedossa ikään kuin pakattuna mahdolli- simman säästeliääseen muotoon.”*

Hiljainen tieto -kirjasta löytyy myös seuraava viisaus koskien johtajuutta: *”Hiljainen johtaja antaa ryhmänsä toimia. Hänen voimansa ei perustu tiukkaan ohjeistukseen tai tarkkoihin koodattuihin tehokkuusmittareihin vaan siihen, että hän antaa ihmisten oman hiljaisen tiedon vaikuttaa työhön. Parhaat johtajat unohtuvat, koska heille prosessi on tärkeämpää kuin omiin nimiin kirjatut saavutukset. Viisas johtaja on taustalla helpottamassa ihmisten työtä. Hänen suurimmat ja tärkeimmät ratkaisut jäävät huomiotta. Johtajan tärkein ominaisuus on vaatimattomuus ja kohtuullisuus sekä*

tapahtumien ymmärtäminen. Ponnistelemalla ei saavuteta parasta lopputulosta. Olemalla hiljaa ja näennäisesti tekemättä mitään keskitytään ja ymmärretään toiminnan olennaiset kohdat. Suuren johtajan tunnistaa siitä, että kun hän on tehnyt työnsä, ihmiset sanovat: "Me teimme sen itse.""

Olematta mikään suuri johtaja vaan paremminkin asioiden ylöskirjaaja ja edelleen synteisiin tekijä totean, että niin te olette tämän tehneet. On siis paikallaan lopuksi harjavaltalaiset yleiskiitokset: *"Olen tosa erel kiitelly aikamoist liutaa ihmisii. Siält ov varmaaj jääny mont poiski, jotka olis kiitämise arvosii, joten täs lopuks heilki sit kiitokset. Vaik mää tän kirjan harjavaltalaisil omista, ni kyl mää sitä silti muilki suassittelen luettavaks kumminki omal vastuul. Näkkee sit muukki, mimmmost Harjavallas on ollu ja mitä siel on silti aikaan saatu; voi siit jottain oppiakkin ottaa."*

Palaan vielä kiitossanon lopuksi kotimaakuntaan ja erityisesti Harjavaltaan Matti Krannilan ottamalla ja tekstittämällä valokuvalla 1950 -luvun alusta.



"Eihän se nyt varsinainen kaunotar ollut tämä paikkakunnan keskeisin leiväntuoja..."

Oulun yliopiston vanhimmat osat ovat hiukan em. kuvan tehdasta kauniimpia, mutta molemmat rumilukset ovat pitäneet sisällään kauniita helmiä. Näitä Oulun yliopiston helmiä olen sitten yrittänyt itsekin opettaa ja heiltä myös samalla oppia, minkä takia en uskalla puhua mitään kasvatustehävästä, vaan omasta kasvamisesta fiksujen ihmisten kanssa. Henkisen kasvun soisin ja toivoisin edelleen jatkuvan.

Tämän vuoden alussa aiheesta *"Patience and Understanding – A Narrative Approach to Managerial Communication in a Sino-Finnish Joint Venture"* väitellyttä entistä Harjavallan aikaista koulukaveriani Anne Vihakaraa (os. Koivumäki) haluan kiittää työni kalkkiviivavaiheen kannustuksesta ja rohkaisuista. Erityisesti mieltä on avartanut ja ajatusta kirkastanut Annen kautta välittynyt konfutselainen viisaus, joista otan yhden kuvaamaan kivikkoista ja pitkää väitöstyöprosessia:

*"Ihmisellä on kolme tietä toimia viisaasti:
harkinnan tie, joka on ylevin,
jäljittelyn tie, joka on helpoin
ja kokemuksen tie, joka on opettavin."
- Konfutse*

Mirka Luomalalle mitä lämpimimmät kiitokset viimetipän kielentarkastuksesta.

Oulussa 12.8.2006

Jyrki Heino

Ps. Teollinen ekologia -ajatusmallin yksi johtavista teemoista on toimia paikallisesti mutta ajatella globaalissa mitassa, minkä intialainen viisaus on kuvannut seuraavasti: *"Toimia niin kuin jokaisesta teosta kypsyisi harvinainen ja ikuinen hedelmä ja kuitenkin tietää, miten mitätön oikeamielinen teko on kaikkeuden suhteen. Tuntea epäsuhte ja kuitenkin vaeltaa, niin kuin suhteet olisivat inhimilliset. Olla kadottamatta näkyvistä suuria ääriviivoja ja kuitenkin liikkua ahtaissa samalla luottamuksella, vakaumuksella ja tyytyväisyydellä kuin piiri olisi suuri"*.

Liite 2 Kirjoittajan aihealueeseen liittyvä koulutus ja työkokemus.

Koulutus

Oulun yliopisto, prosessitekniikan osasto, DI-tutkinto	1974–1981
Oulun yliopiston energia-asiantuntijakurssi	1981–1982
Oulun yliopisto, prosessitekniikan osasto, tekn.lis. tutkinto	1989–1991

Työkokemus

Muu työkokemus/lyhyitä työsuhteita:

Maanviljelijä Toivo Krannila, Harjavalta Perunannostoa, heinäkorjuuta, ym.	n. 1963–65
Maanviljelijä Paavo Heino, Harjavalta Perunannostoa, heinäkorjuuta, ym. muita sekalaisia maataloustöitä, rakennusaputoita, jnen.	1963–1969
Rakennusurakoitsija Reino Aalto, Harjavalta Rakennusaputyöntekijä	1970
Rakennusurakoitsija Reino Aalto, Harjavalta Rakennusaputyöntekijä	1971
Rakennusurakoitsija Reino Aalto, Harjavalta Rakennusaputyöntekijä	1972

Kesäharjoittelijana:

Kemira Oy, Harjavalta Prosessimies lannoitetehtaalla	1973
Kemira Oy, Harjavalta Prosessimies rikkihappotehtaalla ja rikkihapon pullottamossa	1974
Gränges Aluminium, Sundsvall, Ruotsi Uuninkorjaaja alumiinitehtaalla	1976
Gränges Aluminium, Sundsvall, Ruotsi Uuninkorjaaja alumiinitehtaalla	1977
Kemira Oy, Harjavalta Prosessityöntekijä ureafosfaatin valmistuksen pilot-kokeissa ja lannoitetehtaalla	1978
Kemira Oy, Harjavalta Prosessityöntekijä rikkihappotehtaalla ja rikkidioksidin, rikkihapon ja oleumin lastauksessa sekä ammoniakkin purkauksessa	1979

Ammatillinen työkokemus:

Oulun yliopisto, Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio Tuntiassistentti	7.1.1980–17.5.1980
Oulun yliopisto, Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio Diplomityöntekijä	1.3.1980–9.2.1981
Oulun yliopisto, Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio Tuntiassistentti	1.9.1980–26.10.1980

Valtion teknillinen tutkimuskeskus/ Kotimaisten polttoaineiden laboratorio, Jyväskylä Palaturvetutkija	7.6.1982–31.8.1982
Oulun yliopisto, Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio Tutkimusassistentti/Palaturvetutkimus	1.9.1982–31.8.1983
Oulun yliopiston täydennyskoulutuskeskus Palaturpeen tuotantoketjun suunnittelu Asiantuntija	1984
Oulun työsuojelupiirin työsuojelutoimisto/ Vaarallisten aineiden kartoitusprojekti Insinööri/tutkija	11.2.1985–10.2.1986
Oulun työsuojelupiirin työsuojelutoimisto ja työsuojeluhallitus/ Vaarallisten aineiden kartoitusprojekti Konsultti	1986
Oulun työsuojelupiirin työsuojelutoimisto Vaarallisten aineiden kartoitusprojekti Insinööri/tutkija	6.8.1986–5.8.1987
Oulun yliopisto, Oulun yliopisto, Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio Savukaasujen rikinpoisto-projekti Tutkija	6.11.1987–30.6.1990
Oulun yliopiston täydennyskoulutuskeskus Asiantuntija	1989
Tampella Power Oy, Tampere, Savukaasujen rikinpoisto-projekti Tuoteinsinööri	1.7.1990–30.4.1991
Oulun yliopisto, Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio Vs. assistentti	1.5.1991–31.12.1991
Oulun yliopisto, Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio Va. yliassistentti	1.1.1992–31.7.1992
Oulun yliopiston täydennyskoulutuskeskus Opettaja	1993–1994
Oulun yliopisto, Lämpö- ja diffuusiotekniikan laitos Assistentti	1.8.1992–31.7.1996
Oulun yliopisto, Prosessimetallurgian professuuri Assistentti	1.8.1992–31.7.1996
Oulun yliopisto, Prosessimetallurgian professuuri ja laboratorio Yliassistentti	1.8.1996–31.1.2003
Oulun yliopisto, Prosessimetallurgian laboratorio OPTIDUST-projektin projektipäällikkö	1.3.1999–28.2.2001
Oulun yliopisto, Prosessimetallurgian laboratorio Va. assistentti	1.2.2003–31.3.2003
Oulun yliopisto, Prosessimetallurgian laboratorio Väitöskirjatyöntekijä	1.2.2003–31.1.2004
Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto Tutkija POHA -projektissa	1.2.2004–31.12.2005
Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto Väitöskirjatyöntekijä ja tutkija KUNI -projektissa	1.1.2006–

Liite 3 Outokummun liekkisulatusteknologia.

MALLIESIMERKKI KUPARIN JA NIKKELIN TUOTANNOSSA

Toisen maailmansodan jälkeen Suomi kärsi vakavasta energiapulasta, jonka johdosta Outokummun metallurgit ja insinöörit Petri Brykin ja John Ryselinin johdolla turvautuivat autogeenisen sulatuksen teoriaan, jonka mukaan metallirikasteiden hapetuksessa syntyvä lämpö käytetään sulatusprosessissa, ja muunsivat teorian kaupalliseksi todellisuudeksi.

Ensimmäinen liekkisulatusuuni käynnistyi Harjavallassa vuonna 1949. Teknologiaa on sittemmin käytetty nikkelirikasteiden sulatukseen ja testattu onnistuneesti myös lyijyrikasteilla.

Liekkisulatusmenetelmä on Outokummun merkittävin teknologinen saavutus. Nykyään 46 lisensinhaltijaa kaikilla viidellä mantereella ovat todisteita sen menestyksestä. Teknologian avulla tuotetaan noin puolet maailman kuparimetallista ja kolmasosa nikkelistä. 53:n vuoden aikana prosessin periaate on pysynyt samana, mutta todellisuudessa teknologia ei enää paljoakaan muistuta ensimmäistä liekkisulatusuunia. Prosessia on jatkuvasti kehitetty ja sen tärkeimpiä etuja ovat:

- Liekkisulatusmenetelmä on puhtain käytössä olevista sulatusmenetelmistä.
- Liekkisulatus yhdessä liekkikonvertoinnin kanssa, joka on käytössä Kennecottin kuparisulatolla Yhdysvaltain Utahissa, mahdollistavat maailman pienimmät rikkipäästöt (99,92 % rikistä saadaan talteen).
- Prosessin investointi- ja käyttökustannukset ovat alhaiset. Olemassa oleva laitos voidaan modernisoida tuottamaan kolminkertainen määrä kuparia tai nikkeliä pienillä pääomakustannuksilla ja samanaikaisesti saavutetaan alhaimmät yksikkökohtaiset käyttökustannukset.
- Teknologia tarjoaa mahdollisuuden käyttää erilaatuisia raaka-aineita eri syöttöasteilla ja saada hyvin talteen arvometallit.
- Työskentelyolosuhteet ovat turvalliset ja helpot.

VIRSTANPYLVÄITÄ

Suorasulatus

Outokummun liekkisulatusteknologian mielenkiintoisimpia sovelluksia on kuparin suorasulatusprosessi. Siinä tuotantoketju on kokonaan integroitu. Raakakuparia tuotetaan suoraan sulattamalla rikastetta liekkisulatusuunissa. Prosessi tarjoaa uusia mahdollisuuksia käyttää erilaisia raaka-aineita kannattavasti ja siten maksimoida tuotot.

Kuparin suorasulatusmenetelmä kehitettiin Outokummun Porin tutkimuslaitoksella ja ensimmäinen tuotantolaitos tällä menetelmällä käynnistyi Glogowissa Puolassa vuonna 1978. Teknologia on käytössä nyt myös Olympic Damin sulatolla Australiassa.

Kennecott-Outokumpu liekkikonvertointi

Tuottaakseen raakakuparia suoraan liekkisulatusprosessilla Kennecott Utah Copper Corporation otti käyttöön vuonna 1995 Kennecott-Outokumpu liekkikonvertointimenetelmän.

Siinä rikasteet sulatetaan Outokummun liekkisulatusprosessilla ja konvertointi tapahtuu tällä käänteentekevällä menetelmällä, joka tuottaa jatkuvan tasaisen kaasuvirran rikkihapon tuotantoon ja tekee tarpeettomiksi perinteiset Peirce-Smith-konvertterit.

Kennecott-Outokumpu liekkikonvertointimenetelmä on Kennecottin ja Outokummun yhteisesti kehittämä teknologia. Sen merkittävin etu on siinä, että sulatus ja konvertointi voivat tapahtua toisistaan erillään. Koska molemmat prosessivaiheet ovat suljettuja, teknologian avulla saadaan rikki talteen paremmin kuin millään muulla olemassa olevalla menetelmällä.

Nikkelin suorasulatus (DON)

Outokummun Harjavallan tehtailla sovellettiin ensimmäisenä liekkisulatusmenetelmää nikkelirikasteille vuonna 1959. Nikkelin suorasulatusmenetelmä (DON = Direct Outokumpu Nickel) otettiin siellä käyttöön vuonna 1995. Tämä menetelmä tekee konvertoinnin tarpeettomaksi ja siten yksinkertaistaa nikkelin tuotantoprosessia merkittävästi. Korkean metallipitoisuuden omaavan nikkelihienokiven tuotantoon tarvitaan ainoastaan liekkisulatusuuni ja sähköuuni. Hienokivi liuotetaan, muut metallit erotetaan liuoksesta ja jäljelle jäävä nikkeliliuos käsitellään nikkelijauheen ja katodinnikkelin tuottamiseksi elektrolyysin avulla. Koska konvertointia ei tarvita, menetelmä alentaa merkittävästi investointi-, käyttö- ja ylläpitokustannuksia. Fortalezan sulatto Brasiliassa aloitti nikkelin tuotannon DON-prosessilla vuonna 1998.

Tunnustukset

EU on nimennyt Outokummun liekkisulatuksen, Kennecott-Outokumpu liekkikonvertoinnin ja DON-prosessin parhaiksi käytettävissä oleviksi menetelmiksi (BAT = Best Available Techniques), joilla saavutetaan parhaat ympäristöarvot teollisessa tuotannossa. ASM International, The Material Information Society, on myöntänyt ASM Historical Landmark Award -tunnustuksen Outokummun liekkisulatusprosessille 10. kansainvälisen liekkisulatuskongressin yhteydessä Helsingissä 24.6.2002.

Liekkisulatus- ja liekkikonvertointilisenssit

Kuparirikasteiden sulatus

Käynnistys

1949	Outokumpu Oy, Harjavalta
1956	Furukawa Co. Ltd., Ashio, Japani
1966	Combinatul Chimico Metalurgic, Baia Mare, Romania
1967	The Dowa Mining Co. Ltd., Kosaka, Japani
1970	Nippon Mining Co. Ltd., Saganoseki, Japani
1971	Sumitomo Metal Mining Co. Ltd., Toyo, Japani
1971	Hindustan Copper Ltd., Ghatsila, Intia
1972	Peko Wallsend Metals Ltd., Mount Morgan, Australia
1972	Hibi Kyodo Smelting Co. Ltd., Tamano, Japani
1972	Norddeutsche Affinerie AG, Hamburg, Saksa
1972	Nippon Mining Co. Ltd., Hitachi, Japani
1973	Karadeniz Bakir Isletmeleri AS, Samsun, Turkki
1973	Peko Wallsend Metals Ltd., Tennant Creek, Australia
1973	Nippon Mining Co. Ltd., Saganoseki, Japani
1974	Hindustan Copper Ltd., Khetri, Intia
1975	Rio Tinto Minera SA, Huelva, Espanja
1976	Phelps Dodge Corporation, Playas, USA Gécamines, Luilu, Zaire
1978	Kombinat Górniczo-Hutniczy Miedzi, Glogow, Puola
1979	Korea Mining and Smelting Co. Ltd., Onsan, Korea
1981	Norilsk Mining and Metallurgical Comb., Norilsk, Venäjä
1982	Caraiba Metals SA, Camacari, Brasilia
1983	Philippine Associated Smelting and Refining Co., Isabel, Filippiinit
1985	Jiangxi Copper Corporation, Guixi, Kiina
1986	Mexicana de Cobre SA, El Tajo, Meksiko
1987	MDK G Damianov, Srednogorie, Bulgaria

1988	Codelco, Chuquicamata, Chile
1988	Magma Copper Co., San Manuel, USA
1988	Roxby Management Services Pty Ltd., Olympic Dam, Australia
1995	Compania Minera Disputada de las Condes SA, Chagres, Chile
1995	Kennecott Utah Copper Corporation, Utah, USA
1997	Jinlong Copper Co. Ltd., Tongling, China
1998	Indo-Gulf Fertilizers & Chemical Ltd., Gujarat, India
1999	WMC Resources Ltd., Olympic Dam, Australia
2000	Boliden Mineral AB, Rönnskär, Ruotsi
	Southern Peru Copper Corporation, Ilo, Peru
	National Iranian Copper Industries Co., Khatoon Abad, Iran

Kuparin konvertointi

Käynnistys

1995	Kennecott Utah Copper Corporation, Utah, USA
	Southern Peru Copper Corporation, Ilo, Peru

Nikkelirikasteiden sulatus

Käynnistys

1959	Outokumpu Oy, Harjavalta
1972	Western Mining Corporation Ltd., Kalgoorlie, Australia
1973	BCL Ltd., Selebi-Phikwe, Botswana
1981	Norilsk Mining and Metallurgical Comb., Norilsk, Venäjä
1992	Jinchuan Non Ferrous Metals Co., Jinchang, Kiina
1998	Mineração Serra da Fortaleza Ltda., Fortaleza, Brasilia

Muut sovellukset

Liekkisulatusta on käytetty myös pyriittien sulatukseen Outokummun Kokkolan tehtailla vuosina 1962–1977. Lisäksi liekkisulatusta on kehitetty lyijyn tuotantoon ja jätteiden käsittelyyn (mm. jaro-siitin ja biomassan sulatukseen).

Liite 4 Tekijän aihepiiriin liittyvät kirjalliset suoritteet.

Kirjalliset suoritteet 1–9 on tehty Tampellan sisäiseen käyttöön tekijän työskennellessä Oulun yliopiston ja Tampellan yhteisessä savukaasujen rikinpoistoprojektissa. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää hiilipölykattilan kaksivaiheisen rikinpoiston tulipesätahtuman rikinpidätystä tutkimalla samanaikaista kalkkikiven kalsinoitumis- ja sulfatoitumisilmiötä. Olennaisen osan tutkimusta muodosti eri kalkkikivien rikinpidätyskyvyn selvittäminen ja vertaileminen pudotusputkireaktorissa simuloituilla tulipesäolosuhteissa.

Julkaisuja, raportteja tai poster –esityksiä 10 - 13 on esitetty joko Oulun yliopiston laitossarjassa tai tieteellisissä tapahtumissa. Työssä tehtyjen tutkimukseen perustui myös projektin aikana valmistunut lisensiaatintyö 14.

1. Heino, J. Kalkki-injektion kehittämisen ja mallintamisen perusteita. Oulun yliopisto. Prosessitekniiikan osasto. Oulu 1989. 23 s. + liitt. 13 s. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
2. Kenakkala, T., Heino, J. VäliRaportti 15.5.1990. Kalkki-injektiotutkimus. Oulun yliopisto. Prosessitekniiikan osasto ja kemian laitos. Oulu 1990. 18 s. + liitt. 18 s. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
3. Kenakkala, T., Kuoppala, H., Heino, J. Kanadalaisten kalkkikivien vertailu. Raportti 4.7.1990. Kalkki-injektiotutkimus. Oulun yliopisto. Prosessitekniiikan osasto ja kemian laitos. Oulu 1990. 6 s. + liitt. 6 s. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
4. Heino, J. Puolikuivat kalsiumpohjaiset savukaasujen rikinpoistomenetelmät Euroopassa. Prosessitekniiikan osasto. Oulu 1990. 55 s. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
5. Kenakkala, T., Kuoppala, H., Heino, J. VäliRaportti 16.8.1990. Kalkki-injektiotutkimus. Oulun yliopisto. Prosessitekniiikan osasto ja kemian laitos. Oulu 1990. 15 s. + liitt. 22 s. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
6. Kuoppala, H. & Heino, J. VäliRaportti 8.10.1990. Kalkki-injektiotutkimus. Oulun yliopisto. Prosessitekniiikan osasto ja kemian laitos. Oulu 1990. 14 s. + liitt. 7 s. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
7. Kuoppala, H. & Heino, J. Aktiivisuuden mittaaminen sammumisanalyysillä. VäliRaportti 5.11.1990. Kalkki-injektiotutkimus. Oulun yliopisto. Prosessitekniiikan osasto ja kemian laitos. Oulu 1990. 8 s. + liitt. 20 s. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
8. Kokkonen, P., Kenakkala, T., Kuoppala, H., Sohlo, J., Heino, J. Kalkki-injektiotutkimuksen yhteenveto. Oulun yliopisto. Prosessitekniiikan osasto ja kemian laitos. Oulu 1990. 6 s. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
9. Hämälä, J., Mäki, T., Suonvieri, A., Savolainen, J., Tanskala, J., Heino, J. Vanhan pudotusputken rakenne ja toiminta sekä uuden pudotusputken suunnittelun perusteet. Raportti. Tampella Power. Tampere 1991. 26 s. + 11 liitt. (Vain Tampellan sisäiseen käyttöön).
10. Sohlo, J., Kenakkala, T., Heino, J. Kalkki-injektion kehittämisen ja mallintamisen perusteita. Oulun yliopisto. Prosessitekniiikan osaston laitossarja. Oulu 1990. 51 s.
11. Kenakkala, T., Kuoppala, H., Kokkonen, P., Heino, J. The use of SEM/EDS method for analysis of calcination and sulphation reactions in limestone injection. 10 years celebration symposium on inorganic and analytical chemistry, 4.5.1990. Poster presentation. Oulu 1990, Oulun yliopiston kemian laitos. S. 31 - 32.
12. Kenakkala, T., Kokkonen, P., Kuoppala, H., Heino, J. Thermal analysis combined with SEM-EDS: Chemical characterization of limestone sulfation. Euroanalysis VII. Aug. 26 - 31, 1990. Poster presentation. Vienna, 1990, Austrian Society for Analytical Chemistry. S. A 4.2. P-Fr-37.
13. Kuoppala, H., Kenakkala, T., Kokkonen, P., Heino, J. Identification of recarbonation in limestone sulfation using thermogravimetry. Euroanalysis VII. Aug. 26 - 31, 1990. Poster presentation. Vienna, 1990, Austrian Society for Analytical Chemistry. S. A 4.2. P-Fr-38.
14. Heino, J. Integroidun rikinpoistomenetelmän kalkkikivi-injektion tutkiminen ja kehittäminen. Lisensiaatintyö. Oulun yliopisto, prosessitekniiikan osasto. Oulu 1991. 116 s. + liitt. 11 s.

Julkaisut tai kirjalliset suoritteet 15–24 ovat syntyneet tekijän työskennellessä Oulun yliopiston Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratoriossa pitkäaikaisessa rikinpoistotutkimusprojektissa. Työn tavoite oli kehittää savukaasun rikkidioksidin poistolle hyötymenetelmää, jonka avulla poistettava rikki on hyödynnettävissä muun teollisuuden raaka-aineena. Kirjallisista suoritteista osa on Proses- si- ja ympäristötekniikan osaston laitossarjassa julkaistuja raportteja ja osa on julkaisuja tai poster -esityksiä, joita on julkaistu eri tieteellisissä tapahtumissa. Tutkimustuloksia hyödynnettiin myös opetustarkoituksissa.

15. Heino, J. Absorptiotutkimuksen loppuraportti. Oulun yliopisto. Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio. Oulu 1991. 17 s. + liitt. 3 s. (Oy Ahlström Ab:n luottamuksellinen toimeksianto)
16. Torvela, H. & Heino, J. Development trends in emission reduction technologies. Oulu 1994. Oulun yliopisto, Ecocenter. 49 s.
17. Satta, M., Nelo, S., Heino, J. & Sohlo, J. Hyötymenetelmän kehittäminen jätekaasujen puhdistukseen. Osa 1. Rikkidioksidin absorptio vetyperoksidin vesiliuokseen pilot-mittaisessa suihkutornissa. Oulu 1994. Oulun yliopisto. 31 s.
18. Satta, M., Nelo, S., Heino, J. & Sohlo, J. Hyötymenetelmän kehittäminen jätekaasujen puhdistukseen. Osa 5. Rikkidioksidin absorptio vetyperoksidin vesiliuokseen täytekappalekolonnissa. Oulu 1994. Oulun yliopisto. 29 s.
19. Heino, J. Hyötymenetelmän kehittäminen jätekaasujen puhdistukseen. Osa 4. Käytössä olevat poistokaasujen puhdistuksen hyötymenetelmät. Oulu 1995. Oulun yliopisto. 27 s.
20. Heino, J., Leskelä, K., Nelo, S., Satta, M., & Sohlo, J. Recovery method for simultaneous NO_x/SO_x purification by oxidative scrubbing. Poster presentation. Helsinki, 1995, Finnish Chemical Congress and Exhibition 14.-16.11.1995.
21. Määttä, P., Heino, J. & Sohlo, J. Hyötymenetelmän kehittäminen jätekaasujen puhdistukseen. Osa 6. Rikkidioksidin vetyperoksidiabsorption simulointi Aspen Plus -simulointiohjelmalla. Oulu 1996. Oulun yliopisto. 24 s.
22. Nelo S.K., Leskelä, K.M., Heino, J.J., Satta, M.H. & Sohlo, J.J. Recovery method for simultaneous removal of NO_x and SO₂. P5.95 (1533) CHISA '96, 12th International Congress of Chemical and Process Engineering Praha, Czech Republik, 25-30 August 1996. Praha 1996, Czech Society of Chemical Engineering.
23. Nelo, S.K., Ainassaari, K.M., Heino, J.J., Satta, M.H. and Sohlo, J.J. Oxidative scrubbing of sulphur dioxide and nitrogen oxides. First European Congress on Chemical Engineering in occasion of Third Italian Conference on Chemical and Process Engineering. Florence, Italy, 4-7 May 1996. Paper and Kaisu Ainassaari's oral presentation.
24. Nelo, S.K., Ainassaari, K.M., Heino, J.J., Satta, M.H. and Sohlo, J.J. Oxidative scrubbing of sulphur dioxide and nitrogen oxides Fourth International Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment. Lisbon, Portugal, 7 - 10 July 1997. Paper and Sirpa Nelo's oral presentation.

Julkaisu 25 on tehty Oulun yliopiston Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratoriossa suoritettujen jatko-opintojen yhtenä osana. Julkaisuja 26–29 on käytetty opintomonisteina tai työohjeina opetustarkoitukseen ja julkaisu 30 on opetukseen liittyvä poster-esitys yhdessä tieteellisessä tapahtumassa.

25. Irjala, A., Kenakkala, T. & Heino, J. Encon Oy:n liiketoimintasuunnitelma. Oulun yliopisto, Teollisuustalouden laboratorio. Oulu 1990. 21 s.
26. Heino, J. & Sohlo, J. (toim.). Ympäristönsuojelutekniikan lisensiaattiseminaari keväällä 1992. Osa III: Ilmansuojelu. Oulu 1993. Oulun yliopisto.
27. Heino, J. & Keiski, R. (ed.). Environmental Technology Graduate School in Chemical Engineering Course. Oulu 1997. Oulun yliopisto. 166 s.
28. Heino, J. Secondary control of sulfur oxides. Material is based on the lecture held at the University of Oulu on October 25, 2001 Air pollution control engineering Graduate School in Chemical Engineering -course. 14 s.

29. Keiski, R., Koskenkari, T. & Heino, J. Ympäristötekniikan peruskurssi. Ilman saastuminen, ilmansuojelutekniikat, teollinen ekologia, vihreä kemia, ympäristönsuojelun ohjauskeinot ja lainsäädäntö. Oulu 2002, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 131 s.
30. Keiski, R., Heino, J., Koskenkari, T. & Makkonen, H. Environmentally appropriate technologies as the basis of industrial environmental engineering education as the University of Oulu. Poster presentation at the conference of the science & culture of industrial ecology in Leiden, Netherlands. International society for industrial ecology. Leiden 2001.

Liite 5 Tekijän aihepiiriin liittyvät kirjalliset suoritteet.

Kirjalliset suoritteet 1–2 ovat syntyneet tekijän työskennellessä Oulun työsuojelupiirin Työsuojelutoimistossa Oulun läänin alueella vuosina 1985–86 tehdyssä ”Onnettomuusriskiä aiheuttavien vaarallisten aineiden valmistuksen, käytön, varastoinnin sekä maantie- ja rautatiekuljetusten” -kartoitus- ja viranomaisyhteistyöprojektissa. Kirjallisen suoritteen 3 avulla työtä laajennettiin vielä Työsuojelutoimiston omin voimin kattamaan myös rakenteilla olleet pölyräjähdyshaaralliset työpaikat.

Julkaisu 4 on tehty Oulun yliopiston Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratoriossa suoritettujen jatko-opintojen yhtenä osana. Turvallisuus- ja työohjeita 5–6 on käytetty työohjeina opetustarkoituksessa.

1. Virtanen, S., Heino, J. Oulun läänin alueella onnettomuusriskiä aiheuttavien aineiden valmistusta, käyttöä, varastointia, maantie- ja rautatiekuljetuksia koskeva kartoitus. Työsuojeluhallitus/Oulun työsuojelupiiri. Oulu 1986. 125 s. + liitt. 10 s. (Vain viranomaiskäyttöön).
2. Ryhänen, A., Simpanen, V., Launonen, M., Poutiainen, T., Saarela, T., Lukkarinen, M., Pyy, L., Virtanen, S., Heino, J. Oulun läänin alueella onnettomuusriskiä aiheuttavien aineiden valmistus, käyttö ja varastointi sekä maantie- ja rautatie-kuljetukset. Työryhmämietintö. Oulu 1986. 15 s.
3. Ryhänen, A., Virtanen, S., Sauvola-Sipola, S., Heino, J. Oulun työsuojelupiirin alueella vuoden 1987 aikana rakenteilla olevat suuret pölyräjähdyshäädtyt työpaikat sekä niiden mahdollisten onnettomuuksien ennaltaehkäisy. Oulun työsuojelupiiri. Oulu 1987. 39 s. + liitt. 6 s. (Vain viranomaiskäyttöön).
4. Heino, J. Turvallisuus prosessien ja laitosten suunnittelussa. ”Lisensiaattiseminaari ”Viimeaikainen kehitys kemiallisten prosessien ja laitosten suunnittelussa” kevät 1991. 19 s.
5. Härkki, J. Heino, J. Mattila, R. & Zinovjev, B. Prosessimetallurgian laboratorion turvallisuusohje. Oulun yliopisto 1998. 11 s.
6. Heino, J. Absorptiotapahtuman tutkiminen QVF-kolonnissa. Harjoitustyön työohje. Oulun yliopisto. Lämpö- ja diffuusiotekniikan laboratorio. Oulu 1991. 27 s. + liitt. 3 s.

Julkaisut tai kirjalliset suoritteet 7–12 ovat aihepiiriin kuuluvia opintomonisteita tai muuta opetusmateriaalia liittyen joko perustutkinto- tai jatko-opiskelukoulutukseen.

7. Heikkinen, E.-P. & Heino, J. (toim.). Metallurgin hyvä tietää: Prosessimetallurgian perusteet. 2. p. Oulu 2002, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 81 s.
8. Heikkinen, E.-P. & Heino, J. (toim.). Metallurgin hyvä tietää: Värimetallien valmistus. Oulu. 2. p. Oulu 2002, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 69 s.
9. Heino, J. Ilmiöpohjaisen tarkastelun soveltaminen kuparin valmistuksen liekkisulatusmenetelmään. Pyrometallurgisten prosessien -kurssimateriaali. Oulu 2004, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 19 s.
10. Heino, J. Industrial ecology and metallurgical industry based on the lecture held at the University of Oulu on May 3, 1999 Environmental technology -course of Graduate School in Chemical Engineering. 20 s.
11. Heino, J. Introduction into industrial ecology based on the lecture held at the University of Oulu on May 22, 2000 Industrial ecology -course of Graduate School in Chemical Engineering. 18 s.
12. Heino, J. Industrial ecology and metallurgical industry. In: Pongrácz, E. Industrial ecology and recycling. Lecture material in Study Program of Environmental Engineering. Oulu 2001. 20 s.

Raportit 13–15 ja poster-esitys 16 kuuluvat tekijän väitöstyön ydinalueeseen. Raportit 14–15 ovat itse asiassa työn täydellinen selkäranka, joista selviää metallurgisen teollisuuden uusien kehitysnovaatioiden vaikeus, vaarallisuus sekä myös kehitykseen vaadittava aika.

13. Heino, J. Hyötymenetelmän kehittäminen jätekaasujen puhdistukseen. Osa 7. Mietteitä ja havaintoja teollisesta ekologiasta. Oulu 1998. Oulun yliopisto. 23 s.
14. Heino, J. Harjavalta ja Outokummun kuparitehdas vuosina 1944–2002. Oulu 2003, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 46 s.
15. Heino, J. & Koskenkari, T. Harjavallan Suurteollisuuspuisto Teollisena ekosysteeminä. Oulu 2004, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 47 s.

Liite 6 Kyselyn kohdeyhteisöt: Harjavallan suurteollisuuspuiston prosessi- ja energiatekniset yritykset.

KYSELYN KOHDEYRITYKSET: Boliden Harjavalta Oy, OMG Harjavalta Nickel Oy, Kemira GrowHow Oy:n Harjavallan tehtaas ja Kemira Oyj:n Harjavallan yksikkö, Porin Lämpövoima Oy:n Harjavallan yksikkö ja Oy AGA Ab:n Harjavallan yksikkö.

Tietojen antaja ja yhteystiedot:

Yrityksen nimi ja työntekijöiden lukumäärä.

Mitkä ovat Suurteollisuuspuiston keskeiset edut teidän yrityksenne kannalta esimerkiksi pisteytettynä (1–5), jolloin 1 on tärkein ja 5 vähiten tärkein?

- markkinaedut _____
- imagotekijät _____
- ympäristösuojelu- ja kierrätystekijät _____
- koulutukselliset edut _____
- joku muu _____

Mitkä ovat yrityksenne tärkeimmät muilta Suurteollisuuspuiston osakkailta saamanne sekundäärit raaka-aineet tai energia?

Mitkä ovat yrityksenne tärkeimmät muille Suurteollisuuspuiston osakkaille kierrättämänne sekundäärit raaka-aineet tai energia?

Onko prosesseissa aiemmin harakoille mennyt energian talteenotto osoittautunut kannattavaksi?

Löytyykö vielä hyödyntämättömiä poisteita tai lämpövirtoja, joille halutaan käsittelijä?

Oletetaan, että jonkun yrityksen toiminta loppuu. Mikä on kriittinen sekundääri raaka-aine, hukka-lämpöenergia tai toiminto yrityksenne kannalta?

Mitkä ovat Suurteollisuuspuiston parhaat puolet ajatellen imagoa?

Millä puolen on eniten parannettavaa?

Aiheuttaako Suurteollisuuspuisto-organisaatio ongelmia mahdollisen jähmeytensä takia ja jos aiheuttaa, niin minkälaisia? Mikä on suurin jarruttaja ja mikä suurin edistäjä?

Aiheuttaako toimintojen ulkoistus ja edelleen mahdollinen aliurakoituttaminen esim. onnettomuus-riskien suurenemisen tiedon tai tiedonkulun puutteen takia?

Voidaanko sanoa, että suurteollisuusintegraatilla on mahdollisia onnettomuuksia ennaltaehkäisevä vaikutus? (keskitetty koulutus, harjoitukset, parannettu riskinhallinta)

Miten on valmistauduttu mahdolliseen suuronnettomuuteen? Pidetäänkö yhteisiä isoja harjoituksia ja onko mietitty sitä, jos joskus kaikki menee pahimmin päin?

Mikä on Harjavallan kaupungin rooli Suurteollisuuspuistossa ja sen kehittämisessä.

Miten viranomaiset yleensä ovat suhtautuneet Suurteollisuuspuistoon ja sen kehittämiseen?

Liite 7 Yritysten käsitykset Harjavallan Suurteollisuuspuistosta kyselyn perusteella.

Kyselyyn osallistuneiden osakasyritysten tärkeimmiksi Suurteollisuuspuiston eduiksi nousivat ympäristösuojelu- ja kierrätysyödyt, imagotekijät ja markkinaedut sekä tietenkin logistiset edut. Myös verkottuminen ja sen myötä parantunut yhteistyö on osoittautunut positiiviseksi kehitystekijäksi.

Prosessien ylijäämäenergia hyödynnetään joko sähkönä, höyrynä tai lämmitysenergiana. Hyödyntäjinä ovat joko Suurteollisuuspuiston yritykset tai Harjavallan kaupunki, joka käyttää saamansa energian kaukolämpönä.

Aiemmin hukkaan menneen energian talteenotto on osoittautunut taloudellisesti kannattavaksi ja energian käyttöä voitaisiin vieläkin tehostaa. Meneillään on selvitystyö, jossa alueen yritykset ja Harjavallan kaupunki yhteistyössä etsivät potentiaalisia lauhde-energian käyttäjiä Harjavaltaan. Yhtenä vaihtoehtona on tarkasteltu kasvihuoneviljely-yrittäjien houkuttelemista Suurteollisuuspuiston läheisyydessä sijaitsevalle Sievarin alueelle. On myös suunniteltu energian myyntiä Nakkilan kunnan kaukolämpöverkkoon.

Millekään yritykselle ei ole riippuvaisuus toisesta kasvanut niin suureksi, että oma toiminta loppuisi, jos joku Suurteollisuuspuiston muista yrityksistä lopettaisi tai supistaisi toimintaansa. Verkottumisetujen menetystä pidettiin kuitenkin merkittävänä.

Suurteollisuuspuiston parhaimpia imagollisia etuja ovat mm. luotettavien työnantajien tuoma maine, turvalliset yhteistyökumppanit, energiatehokkuus ja ilmansuojelu, yhteinen turvallisuustoiminta sekä viestintä. Parannettavaa on vielä vanhojen mielikuvien muuttamisessa tosiasioihin ja nykyrealiteetteihin perustuviksi. Myös ympäristönhoitoa maisemoimalla ja melua pienentämällä voidaan vielä parantaa.

Suurteollisuuspuisto-organisaation yrityskulttuureissa on jonkin verran eroja, jolloin esim. päätöksenteon mallit vaihtelevat. Yritykset ovat isompien organisaatioiden pienempiä yksiköitä, mikä tuo varmuutta, mutta voi olla myös joskus tietyissä asioissa hidaste. Päälimmäisenä on käsitys, että tutuus helpottaa toimintaa.

Suurteollisuusintegraatilla on mahdollisia onnettomuuksia ennaltaehkäisevä vaikutus, sillä turvallisuuspuoli on monipuolisen, säännöllisen ja virallisesti organisoidun yhteistyön kohteena. Yhdessä on tehty VTT:n johdolla mm. koko tehdasaluetta koskeva turvallisuus selvitys. Yhdessä toimien myös tieto vaarallisista aineista ja niiden käyttäytymisestä lisääntyy. Tällaista toimintaa ovat esimerkiksi asiakasauditoinnit, jolloin käydään katsomassa paikan päällä, mihin toimitettavat aineet menevät ja tietenkin mistä ne tulevat.

Säännöllisesti järjestetään yhteisiä harjoituksia, joiden jälkeen on kritiikkialavereita. Turvallisuustoiminnassa otetaan huomioon myös suuronnettomuuden uhka. Harjoituksissa on mukana myös alueen ulkopuolisia pelastusviranomaisia. Kerran vuodessa järjestetään iso yhteisharjoitus.

Boliden Harjavalta Oy:n edeltäjä Outokumpu Harjavalta Metals Oy verkotti toimintojaan vuonna 1999 ulkopuolisille yhteistyökumppaneille. Verkottaminen ja isompien töiden vaatima aliurakoituttaminen eivät ole aiheuttaneet onnettomuusriskien suurenemista. Kunnossapitohenkilöstö on aikaisemmin ollut omaa väkeä, mikä on vaikuttanut positiivisesti, koska työkohteet olivat entuudestaan hyvin tiedossa. Pääsääntöisesti toimitaan muutenkin tuttujen yritysten ja henkilöiden kanssa, joilla on pitkäaikainen kokemus aliurakoinnista. Sen lisäksi johtamisjärjestelmiin ja työturvallisuuskäytäntöihin kiinnitetään erityistä huomiota. Riskien olemassaoloa ei kuitenkaan kielletä, vaan sen takia asioihin kiinnitetään erityistä huomiota.

Suurteollisuuspuisto-organisaatio ei aiheuta isompia ongelmia mahdollisen jähmeytensä takia. Yhteistyössä on kehitytty koko ajan. Onpa ollut havaittavissa sitäkin, että uudet yritykset ovat tuoneet uusia tuulahduksia puhumattakaan siitä, että ne ovat saaneet perinnöksi hyväksi havaittuja tapoja ja tottumuksia, joilla alueella on ennen pärjätty. Sekä yritysten sisäisessä että niiden välisessä tiedottamisessa on aina parantamista. Ongelma on kuitenkin yleismaailmallinen suuren tietotulvan takia, eikä siihen ole patenttiratkaisuja.

Harjavallan kaupungin rooli nähdään ensisijaisesti kaavoittajana ja myös linkkinä muihin viranomaisiin päin. Harjavallan kaupunki on myös Suurteollisuuspuiston asiakas. Pääsääntöisesti viranomaistoiminta nähtiin muutenkin positiivisena ja kannustavana enemmän kuin toimintaa hankaloittavana.

Liite 8 Kyselyn kohdeyhteisö: Harjavallan kaupunki.

Tietojen antaja ja yhteystiedot:

Mitkä ovat Suurteollisuuspuiston keskeiset edut Harjavallan kaupungin kannalta esimerkiksi pisteytettynä (1–5), jolloin 1 on tärkein ja 5 vähiten tärkein?

- imagotekijät
- ympäristösuojelu- ja kierrätystekijät
- työllistymisedut
- koulutukselliset edut
- joku muu

Mitkä ovat Harjavallan kaupungin tärkeimmät Suurteollisuuspuiston yrityksiltä saamat sekundaarit raaka-aineet tai energia?

Onko toiminta osoittautunut kannattavaksi?

Toimittaako Harjavallan kaupunki mitään raaka-ainetta Suurteollisuuspuiston yrityksille?

Oletetaan, että jonkun yrityksen toiminta loppuu. Onko Harjavallan kaupungissa mietitty tällaista uhkakuvaa ja sen seurauksia?

Mitkä ovat Suurteollisuuspuiston parhaat puolet Harjavallan kaupungin kannalta?

Millä puolen Suurteollisuuspuiston toiminnassa on eniten parannettavaa?

Aiheuttaako Suurteollisuuspuisto-organisaatio ongelmia mahdollisen jähmeytensä takia ja jos aiheuttaa, niin minkälaisia? Mikä on suurin jarruttaja ja mikä suurin edistäjä?

Voidaanko sanoa, että suurteollisuusintegraatilla on mahdollisia onnettomuuksia ennaltaehkäisevä vaikutus? (keskitetty koulutus, harjoitukset, parannettu riskinhallinta)

Miten on valmistauduttu mahdolliseen suuronnettomuuteen? Pidetäänkö yhteisiä isoja harjoituksia ja onko mietitty sitä, jos joskus kaikki menee pahimmin päin?

Mikä on Harjavallan kaupungin rooli Suurteollisuuspuistossa ja sen kehittämisessä.

Miten viranomaiset yleensä ovat suhtautuneet Suurteollisuuspuistoon ja sen kehittämiseen?

Liite 9 Harjavallan kaupungin käsitys Suurteollisuuspuistosta kyselyn perusteella.

Imagollisesti Suurteollisuuspuisto on Harjavallalle tärkeä unohtamatta myöskään ympäristönsuojelu- ja kierrätystekijöitä. Suurteollisuuspuiston parhaat puolet Harjavallan kaupungin kannalta ovat välittömät ja välilliset työllistämisaikutukset, kansainvälinen ulottuvuus, paikkakunnan henkisen pääoman lisääntyminen sekä teollisuuskeskittymän myötä tullut tunnettavuus. Myös koulutus ja matkailu hyötyvät alueella sijaitsevasta teollisuusintegraatista. Harjavallan kaupungissa on myös mietitty jonkin yrityksen toiminnan loppumista. Hyvä puoli on kuitenkin se, että on monta yritystä, eikä niistä yksikään ole täysin riippuvainen toisesta.

Harjavallan kaupunki hyödyntää sekundääreinä raaka-aineina nikkeliä Torttilan rautatien ylikulkusillalla sekä myös mahdollisesti tulevaisuudessa Torttilan eritasoliittymässä. Kaukolämmitykseen käytetään prosessien ylijäämäenergiaa. Toiminta on osoittautunut taloudellisesti kannattavaksi.

Suurteollisuusintegraatilla on mahdollisia onnettomuuksia ennaltaehkäisevä vaikutus, sillä turvallisuus on yritysten yhteinen ja keskeinen teema, mikä tarkoittaa mm. sitä, että harjoituksia järjestetään säännöllisesti puhumattakaan ennaltaehkäisevästä toiminnasta.

Harjavallan kaupungin tärkein rooli Suurteollisuuspuistossa ja sen edelleen kehittämisessä on kaa-voittajan tehtävät, tiedotus, yhteydenpito muihin viranomaisiin ja valtion hallintoon. Myös ympäristökysymykset ovat tärkeä osa kaupungin toimintaa. Viranomaisten suhtautuminen Suurteollisuuspuiston kehittämiseen on havaittu kaupungin kannalta katsoen positiiviseksi ja kannustavaksi.

Liite 10 Tekijän aihepiiriin liittyvät kirjalliset suoritteet.

OPTIDUST-projektin aikana tai sen jälkeen tehdyt kirjalliset suoritteet 1–5 kuuluvat väitöstyön ydinalueeseen.

1. Makkonen H., Laitila L., Heino J. & Härkki J. Terästehtailla muodostuvien pölyjen, lietteiden ja hilseiden kierrätysmenetelmät. Oulu 2000. Oulun yliopisto. 106 s.
2. Makkonen, H., Heino, J. & Laitila L. Pölyjen, lietteiden ja hilseiden tehdaskartoituksen loppuraportti sekä johtopäätökset ja jatkotoimenpide-ehdotukset. Oulu 2001. Oulun yliopisto. 106 s.
3. Heino, J., Samuelsson C., Erkkilä H. & Heikkinen E.-P. (ed.). Nordic Iron and Steel Waste Recycling Day, 14th September 2000. Oulu, Finland, University of Oulu. Oulu. Prosessimetallurgian laboratorio 2001. <URL:http://cc.oulu.fi/~pometwww/rd/ summa2.html.>
4. Samuelsson, C., Heino, J. & Makkonen, H. Unutilised dusts, scales and sludge from Swedish and Finnish iron ore based steel plants around Baltic Sea. Luleå 2001. MIMER report 2001-3-10. 16 s.
5. Päivärinta, K., Sarja, T., Savolainen S. & Heino J. Malmipohjaisten terästehtaiden hienojakoisten poisteiden hyödyntäminen kupoliuunin raaka-aineena. Harjoitustyö Opiskelijatutkijakoulutuskurssilla. Oulu 2001. 16 s.

Opetukseen ja koulutukseen liittyvät kirjalliset suoritteet 6–7 ja posterit 8 on esitetty eri tieteellisillä foorumeilla. Julkaisut tai kirjalliset suoritteet 9–12 ovat aihepiirin opintomonisteita tai opetusmateriaalia liittyen joko perustutkinto- tai jatko-opiskelukoulutukseen.

6. Keiski, R.L., Heino, J., Koskenkari, T. & Makkonen, H. Research and Education of Industrial Ecology in the Study Programmes for Process and Environmental Engineering at the University of Oulu. Abstract at the conference of the Science & Culture of Industrial Ecology ISIE 2001 Meeting, 12-14 November, The Netherlands.
7. Keiski, R., Heino, J., Koskenkari, T. & Makkonen, H. Environmentally appropriate technologies as the basis of industrial environmental engineering education at the University of Oulu. Poster presentation at the conference of the Science & Culture of Industrial Ecology ISIE 2001 Meeting, 12-14 November, The Netherlands.
8. Pongrácz, E., Keiski, R., Heino, J. & Makkonen, H. The Industrial Ecology paradigm and its influence on research and education in the Process and Environmental Engineering Department of the University of Oulu. Engineering Education in Sustainable Development. October 24th–25th 2001 Delft, Netherlands.
9. Heikkinen, E.-P. & Heino, J. (toim.). Metallurgin hyvä tietää: Raudan, teräksen ja ferroseosten valmistus. 2. p. Oulu 2002, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 133 s.
10. Heino, J. Industrial ecology and metallurgical industry. In: Pongrácz, E. Industrial ecology and recycling. Lecture material in Study Program of Environmental Engineering. Oulu 2001. University of Oulu. 20 pp.
11. Heino, J. Teollinen ekologia, elinkaariarviointi ja malmipohjainen teräksenvalmistus. In: Koskenkari, T. Teollinen ekologia ja kierrätystekniikka. Kurssin luentomateriaali. Oulu 2003. 30 s.
12. Heino, J. Teollinen ekologia ja hiiliteräksen valmistus. Teollinen ekologia ja kierrätystekniikka -kurssin luentomateriaali. Oulu 2004. Oulun yliopisto. 37 s.

Väitöskirjan ydinalueen tutkimusjulkaisut ja konferenssisitelmät 13–19 on esitetty eri tieteellisillä foorumeilla.

13. Heino, J., Makkonen, H., Laitila, L., Härkki, J., Hiltunen, A. & Pöyliö, E. Recycling or utilisation of dust, scales and sludge. Helsinki Symposium of Industrial Ecology and Material Flows, Helsinki, 30.8–2.9.2000. University of Jyväskylä. 11 s.
14. Pöyliö, E., Makkonen, H., Laitila, L., Heino, J., Hiltunen, A. & Härkki, J. Optimal recycling of the iron based steelmaking dusts, scales and sludge. Recycling and waste treatment in mineral and metal processing: Technical and economic aspects. Luleå, 16.6–20.6.2002. Luleå University of Technology, MEFOS and the Mineral, Metals & Materials Society. Volume 2, s. 129–137.
15. Makkonen, H., Heino, J., Laitila, L., Hiltunen, A., Pöyliö, E. & Härkki, J. Optimisation of Steel Plant Dusts, Scales and Sludge Recycling. Resources, conservation and recycling 35(2002), s. 77–84.

16. Heikkinen, E.-P., Makkonen, H., Heino, J., Seppänen, M. & Heikkinen, J. A computational study on the formation of Zn-, Pb-, Sn-, Cd-, As- and alkali compounds while recycling the integrated steel plant dusts and other iron-containing residues. International conference on Clean Technologies in the Steel Industry. June 6–8, 2005 in Balatonfüred, Hungary.
17. Heino, J. & Koskenkari, T. Harjavalta industrial ecopark as a model to develop sustainable thinking in carbon steel making. 11th Annual International Sustainable Development Research Conference with special streams on Industrial Ecology and European Environmental Policy. June 7-8, 2005 in Helsinki, Finland. 17 pp. (Full paper and oral presentation).
18. Heino, J. & Koskenkari, T. Harjavalta industrial park as an industrial ecosystem. ISIE 2005 Industrial Ecology for a Sustainable Future Conference. June 12-15, 2005 in Stockholm, Sweden. (Abstract and oral presentation).
19. Heikkinen, E.-P., Makkonen, H., Leinonen, V., Paananen, T., Virtanen, E. & Heino, J. Industrial ecology and carbon steel making—Iron bearing residues as raw material in carbon steel making. International Conference “Securing the Future” in Skellefteå. June 27 to July 1, 2005. 9 pp.

Liite 11 Taulukot 1–3.

Taulukko 1. Pasutteen alkuaineiden ja yhdisteiden koostumus (Makkonen 1993, s. 1).

Alkuaine/ Yhdiste	Pitoisuus p-%	Alkuaine/ Yhdiste	Pitoisuus p-%	Alkuaine/ yhdiste	Pitoisuus p-%
Fe ₂ O ₃	95,94	SiO ₂	1,86	S	0,64
Al ₂ O ₃	0,39	CaO	0,3	BaO	0,27
MgO	0,26	Zn	0,19	Na ₂ O	0,14
Cu	0,07	K ₂ O	0,04	Co	0,01

Taulukko 2. Rikastushiekan alkuaineita ja niiden pitoisuuksia (Geoinsinöörit 1999).

Alkuaine	Pitoisuus p-%	Alkuaine	Pitoisuus p-%	Alkuaine	Pitoisuus p-%	Alkuaine	Pitoisuus p-%
Cu	0,37	Zn	2,4	Ag	0	As	0,07
Fe	42,9	Mn	0,05	Co	0,08	Cd	0,002
Ni	0,13	Hg	<0,0001	Si	12,0	Pb	0,46

Taulukko 3. Nikkeliraekuonan alkuaineita ja niiden pitoisuuksia (Geoinsinöörit 1999).

Alkuaine	Pitoisuus p-%	Alkuaine	Pitoisuus p-%	Alkuaine	Pitoisuus p-%	Alkuaine	Pitoisuus p-%
Cu	0,24	Zn	0,11	Ag	0	As	0,001
Fe	42,0	Mn	0,16	Co	0,35	Cd	0,00002
Ni	0,12	Hg	0,0016	Si	11,9	Pb	0,009

238. Kolli, Tanja (2006) Pd/Al₂O₃ -based automotive exhaust gas catalysts. The effect of BaO and OSC material on NO_x reduction
239. Torkko, Margit (2006) Maatilakytöntäisten yritysten toimintamalleja. Laadullinen tutkimus resursseista, kehittämisestä ja ohjaustarpeista
240. Hämmäläinen, Matti (2006) Singleband UWB systems. Analysis and measurements of coexistence with selected existing radio systems
241. Virtanen, Jani (2006) Enhancing the compatibility of surgical robots with magnetic resonance imaging
242. Lumijärvi, Jouko (2006) Optimization of critical flow velocity in cantilevered fluid-conveying pipes, with a subsequent non-linear analysis
243. Stoor, Tuomas (2006) Air in pulp and papermaking processes
244. György, Zsuzsanna (2006) Glycoside production by in vitro *Rhodiola rosea* cultures
245. Özer-Kemppainen, Özlem (2006) Alternative housing environments for the elderly in the information society. The Finnish experience
246. Laurinen, Perttu (2006) A top-down approach for creating and implementing data mining solutions
247. Jortama, Timo (2006) A self-assessment based method for post-completion audits in paper production line investment projects
248. Remes, Janne (2006) The development of laser chemical vapor deposition and focused ion beam methods for prototype integrated circuit modification
249. Kinnunen, Matti (2006) Comparison of optical coherence tomography, the pulsed photoacoustic technique, and the time-of-flight technique in glucose measurements *in vitro*
250. Iskanius, Päivi (2006) An agile supply chain for a project-oriented steel product network
251. Rantanen, Rami (2006) Modelling and control of cooking degree in conventional and modified continuous pulping processes
252. Koskiahio, Jari (2006) Retention performance and hydraulic design of constructed wetlands treating runoff waters from arable land
253. Koskinen, Miika (2006) Automatic assessment of functional suppression of the central nervous system due to propofol anesthetic infusion. From EEG phenomena to a quantitative index

Book orders:
OULU UNIVERSITY PRESS
P.O. Box 8200, FI-90014
University of Oulu, Finland

Distributed by
OULU UNIVERSITY LIBRARY
P.O. Box 7500, FI-90014
University of Oulu, Finland

S E R I E S E D I T O R S

A
SCIENTIAE RERUM NATURALIUM

Professor Mikko Siponen

B
HUMANIORA

Professor Harri Mantila

C
TECHNICA

Professor Juha Kostamovaara

D
MEDICA

Professor Olli Vuolteenaho

E
SCIENTIAE RERUM SOCIALIUM

Senior Assistant Timo Latomaa

E
SCRIPTA ACADEMICA

Communications Officer Elna Stjerna

G
OECONOMICA

Senior Lecturer Seppo Eriksson

EDITOR IN CHIEF

Professor Olli Vuolteenaho

EDITORIAL SECRETARY

Publication Editor Kirsti Nurkkala

ISBN 951-42-8196-9 (Paperback)

ISBN 951-42-8197-7 (PDF)

ISSN 0355-3213 (Print)

ISSN 1796-2226 (Online)

