

Toimittajat:
M. Ohlström, I. Savolainen
VTT Prosessit

Teknologiaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen

Taustatyö kansallisen ilmastostrategian päivitystä varten

KTM Julkaisuja
1/2005
Energiaosasto



KAUPPA- JA
TEOLLISUUSMINISTERIÖ

Käyntiosoite

Aleksanterinkatu 4
00170 HELSINKI

Postiosoite

PL 32
00023 VALTIONEUVOSTO

Puhelin (09) 16001
Telekopio (09) 1606 3666

Julkaisusarjan nimi ja tunnus

KTM Julkaisuja
1/2005

Tekijät (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri) M. Ohlström, I. Savolainen VTT Prosessit		Julkaisu-aika Helmikuu 2005
		Toimeksiantaja(t) Kauppa- ja teollisuusministeriö
		Toimielimen asettamispäivä
Julkaisun nimi Teknologiaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen – Taustatyö kansallisen ilmastostrategian päivitystä varten		
Tiivistelmä <p>Kansallinen ilmastostrategiamme linjaa, kuinka Suomi tulee vuosina 2008–2012 saavuttamaan kasvihuonekaasupäästöissään Kioton tavoitteen osana EU:n taakanjakoa. Ilmastostrategia valmistui vuonna 2001 ja sen valmistelussa tausta-aineistoksi teetettiin katsaus kasvihuonekaasupäästöjä vähentävään teknologiaan.</p> <p>Ilmastostrategiaa toimeenpannaan ja sen linjauksia sisäistetään valtionhallinnon toimenpiteisiin. Strategian valmistelun aikana monet kansainvälisen ilmastopolitiikan pelisäännöt olivat selkiytymättä, mutta sittemmin mm. mekanismien ja nielujen säännöt ovat valmistuneet ja Venäjän ratifointi vahvisti mekanismien käyttömahdollisuudet. Strategian valmistumisen jälkeen EU:n päästökauppa eteni nopeasti direktiiviehdotuksesta täytäntöönpanoon.</p> <p>Näistä lähtökohdista ja hallitusohjelman ohjeistamana ilmasto- ja energiastrategia ollaan uudistamassa. Osaksi ilmasto- ja energiastrategian uudistamista kauppa- ja teollisuusministeriö teetti tämän selvityksen teknologiasta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Koska aiempi selvitys ei ole kovin vanha, eikä siinä esitetyissä teknologioissa ole tapahtunut merkittävää kehitystä, keskityttiin tässä selvityksessä osiin, joita ei edellisessä selvityksessä käsitelty lainkaan tai riittävän tarkasti. Nyt käsitellyt osat ovat: vetyteknologia ja polttokennot, biopoltonesteet ja biokaasu sekä metallien jalostus ja mineraaliteollisuus.</p> <p>Tekesin yhteyshenkilönä on ollut teknologia-asiantuntija Sami Tuhkanen ja KTM:n yli-insinööri Timo Ritonummi. Raportin kirjoittamiseen ovat osallistuneet seuraavat henkilöt VTT Prosesseista: Ilkka Savolainen ja Mikael Ohlström (Johdanto ja Yhteenveto), Rolf Rosenberg (luku 2, Vetyteknologia ja polttokennot), Tuula Mäkinen (luku 3, Biopoltonesteet ja biokaasu), Mikko Hongisto (luvut 4–5, Metallien jalostus sekä Mineraaliteollisuus). Raportin ovat toimittaneet Mikael Ohlström ja Ilkka Savolainen VTT Prosesseista.</p> <p>KTM:n yhdyshenkilö: Energiaosasto/Timo Ritonummi, puh. (09) 1606 4798.</p>		
Asiasanat ilmastostrategia, teknologia		
ISSN 1459-9376	ISBN 951-739-850-6	
Kokonaissivumäärä 182	Kieli Suomi	Hinta 27 €
Julkaisija Kauppa- ja teollisuusministeriö		Kustantaja Edita Publishing Oy

Esipuhe

Kansallinen ilmastostrategiamme linjaa, kuinka Suomi tulee vuosina 2008–2012 saavuttamaan kasvihuonekaasupäästöissään Kioton tavoitteen osana EU:n taakanjakoa. Ilmastostrategia valmistui vuonna 2001 ja sen valmistelussa tausta-aineistoksi teetettiin katsaus kasvihuonekaasupäästöjä vähentävään teknologiaan.

Ilmastostrategiaa toimeenpannaan ja sen linjauksia sisäistetään valtionhallinnon toimenpiteisiin. Strategian valmistelun aikana monet kansainvälisen ilmastopoliitiikan pelisäännöt olivat selkiytymättä, mutta sittemmin mm. mekanismien ja nielujen säännöt ovat valmistuneet ja Venäjän ratifiointi vahvisti mekanismien käyttömahdollisuudet. Strategian valmistumisen jälkeen EU:n päästökauppa eteni nopeasti direktiiviehdotuksesta täytäntöönpanoon.

Näistä lähtökohdista ja hallitusohjelman ohjeistamana ilmasto- ja energiastrategia ollaan uudistamassa. Osaksi ilmasto- ja energiastrategian uudistamista kauppa- ja teollisuusministeriö teetti tämän selvityksen teknologiasta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Koska aiempi selvitys ei ole kovin vanha, eikä siinä esitetyissä teknologioissa ole tapahtunut merkittävää kehitystä, keskityttiin tässä selvityksessä osiin, joita ei edellisessä selvityksessä käsitelty lainkaan tai riittävän tarkasti. Nyt käsitellyt osat ovat: vetyteknologia ja polttokennot, biopolttonesteet ja biokaasu sekä metallien jalostus ja mineraaliteollisuus. Tekesin yhteyshenkilönä on ollut teknologia-asiantuntija Sami Tuhkanen ja KTM:n yli-insinööri Timo Ritonummi. Raportin ovat kirjoittaneet seuraavat henkilöt VTT Prosesseista: Ilkka Savolainen ja Mikael Ohlström (Johdanto ja Yhteenveto), Rolf Rosenberg (luku 2, Vetyteknologia ja polttokennot), Tuula Mäkinen (luku 3, Biopolttonesteet ja biokaasu), Mikko Hongisto (luvut 4–5, Metallien jalostus sekä Mineraaliteollisuus). Raportin ovat toimittaneet Mikael Ohlström ja Ilkka Savolainen VTT Prosesseista.

Helsingissä marraskuussa 2004

Kauppa- ja teollisuusministeriö
Energiaosasto

Sisällysluettelo

Esipuhe	5
Sisällysluettelo	7
1 Johdanto	11
2 Vetyteknologia ja polttokennot	16
2.1 Vetytalous	16
2.2 Vedyn valmistus	17
2.3 Vedyn jakelu ja kuljetus	20
2.4 Vedyn varastointi	21
2.5 Polttokennot	21
2.5.1 Polymeerimembraanipolttokenno (PEM)	24
2.5.2 Fosforihappopolttokenno (PAFC)	25
2.5.3 Sulakarbonaattipolttokenno (MCFC)	25
2.5.4 Kiinteäoksidipolttokenno (SOFC)	26
2.6 Vetytalouden ja polttokennojen kehitysnäkymät	27
2.7 Vetytalouden ja polttokennojen merkitys kasvihuonekaasujen päästöille	30
2.8 Lähdeviitteet ja lisätietoja	35
3 Biopolttonesteet ja biokaasu	37
3.1 Lämmön ja sähkön tuotannon biopolttonesteet	38
3.1.1 Tuotantoteknologiat ja käyttö	38
3.1.2 Kustannukset ja potentiaali	40
3.2 Liikenteen biopolttonesteet	41
3.2.1 Tuotantoteknologiat	41
3.2.2 Käyttö	44
3.2.3 Kustannukset ja potentiaali	46
3.3 Biokaasut	47
3.3.1 Orgaanisen aineen anaerobinen käsittely	47
3.3.2 Kaatopaikkakaasun talteenotto	48

3.3.3	Käyttö	49
3.3.4	Nykyinen tuotanto ja käyttö	50
3.3.5	Kustannukset ja potentiaali	51
3.4	Yhteenveto ja kehitysnäkymät	53
3.5	Lähdeviitteet ja lisätietoja	56
4	Metallien jalostus	58
4.1	Teräksen valmistus Suomessa	63
4.1.1	Malmipohjaisen teräksen valmistus, Raahen ja Koverharin terästehtaat	64
4.1.1.1	Malmipohjaisen terästuotannon kehittyminen	65
4.1.1.2	Malmipohjaisen teräksen valmistusprosessit	65
4.1.1.3	Hiilipitoiset tuotantopanokset, käyttökohteet ja päästölähteet	68
4.1.1.4	Raahen ja Koverharin terästehtaiden CO ₂ -päästöt	70
4.1.1.5	Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot	71
4.1.1.6	Arvio malmipohjaisen teräksenvalmistuksen hiilidioksidipäästöjen kehityksestä	74
4.1.2	Ruostumattoman teräksen valmistus, Tornion terästehtaat	75
4.1.2.1	Tornion tehtaiden tuotannon kehittyminen	77
4.1.2.2	Ruostumattoman teräksen valmistusprosessit	77
4.1.2.3	Toteutetut ja toteutuvat terästehtaan laajennukset	82
4.1.2.4	Tuotantopanokset ja CO ₂ -päästöt	82
4.1.2.5	Tuotannon ja päästöjen kehitysnäkymät	84
4.1.2.6	Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot	85
4.1.2.7	Johtopäätelmät	87
4.1.3	Romupohjaisen teräksen valmistus, Imatran Terästehdas	89
4.1.3.1	Imatran terästehtaan tuotanto ja tuotteet	89
4.1.3.2	Romupohjaisen teräksenvalmistuksen prosessikuvaus	91
4.1.3.3	Tuotantopanokset, CO ₂ -päästölähteet ja ominaispäästöjen kehittyminen	92
4.1.3.4	Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot	95
4.1.3.5	Yhteenveto ja arvio päästöjen vähennysmahdollisuuksista	97
4.1.4	Yhteenveto terästeollisuuden tuotannon ja CO ₂ -päästöjen kehittymisestä ja arvio päästöjen vähennysmahdollisuuksista	98
4.2	Lähdeviitteet ja lisätietoja	104

5	Mineraaliteollisuus	108
5.1	Johdanto	108
5.2	Sementin valmistus, Finnsementti Oy	109
5.2.1	Sementin valmistuksen keskeiset prosessit	110
5.2.2	Sementin tuotannon panokset ja CO ₂ -päästölähteet	110
5.2.3	Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot prosessi- polttoaineita, raaka-aineita ja teknologioita korvaamalla	112
5.2.4	Vähennyskeinojen tekniset potentiaaliarviot	115
5.2.5	Sementin valmistusta koskeva yhteenveto ja johtopäätelmät	116
5.3	Kalkkiteollisuus	118
5.3.1	Poltetun kalkin valmistus ja päästöt	119
5.3.2	CaO-tuotannon ominaiskulutukset ja -päästöt	120
5.3.3	Päästöjen vähentämiskeinot	121
5.3.4	Tulosityhteenveto, tulevaisuudennäkymät ja johtopäätelmät kalkkiteollisuuden tarkastelusta	123
5.4	Lasiteollisuus	124
5.4.1	Tasolasin valmistus, Pilkington Lahden lasitehdas Oy	125
5.4.1.1	Tasolasin valmistus	125
5.4.1.2	Lasinvalmistuksen tuotantopanokset ja CO ₂ -päästöt	126
5.4.1.3	Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot	127
5.4.1.4	Arvio CO ₂ -vähennyspotentiaalista	128
5.4.1.5	Johtopäätelmät	128
5.4.2	Vuorivillan valmistus, Paroc Oy Ab	129
5.4.2.1	Vuorivillan valmistusprosessi ja tuotantopanokset	129
5.4.2.2	Hiilidioksidipäästöt ja CO ₂ -ominaispäästökertoimet	131
5.4.2.3	Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot	131
5.4.2.4	Tulosityhteenveto ja johtopäätelmiä	133
5.4.3	Lasivillan valmistus, Saint-Gobain Isover Oy	134
5.4.3.1	Lasivillan valmistusprosessi	135
5.4.3.2	Lasivillan tuotantopanokset ja CO ₂ -päästölähteet	136
5.4.3.3	Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot ja potentiaaliarvio	137
5.4.3.4	Tulosityhteenveto ja johtopäätelmät	138
5.4.4	Lasikuidun valmistus, Ahlstrom Glassfibre Oy	138
5.4.4.1	Lasikuidun valmistuksen prosessikuvaus	139
5.4.4.2	Tuotantopanokset, hiilidioksidipäästöt ja ominaispäästökertoimet	140

5.4.4.3	CO ₂ -vähennyskeinot ja potentiaaliarvio	141
5.4.4.4	Johtopäätelmät	142
5.4.5	Lasipakkausten valmistus, Karhulan lasi Oy	143
5.4.5.1	Tuotantopanokset, hiilidioksidipäästöt ja CO ₂ -ominaispäästöarvio	143
5.4.5.2	Arvio hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinoista	144
5.5	Tiiliteollisuus	145
5.5.1	Poltettujen tiilien valmistus	146
5.5.2	Tiilenvalmistuksen hiilidioksidipäästöt	147
5.5.3	Tiiliteollisuuden hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot ja potentiaali	148
5.5.4	Tulosityhteenvedo, näkymät ja johtopäätelmät	149
5.6	Kevytsoran valmistus, Optiroc Oy Ab	150
5.6.1	Kevytsoran valmistuksen prosessikuvaus, panokset ja päästöt	151
5.6.2	Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot ja päästöjen vähennyspotentiaali	152
5.6.3	Tulosityhteenvedo ja johtopäätelmät	154
5.7	Hienokeraaminen teollisuus	155
5.7.1	Kylpyhuonekeramiikan valmistus, IDO Kylpyhuone Oy	155
5.7.2	Keraamisten laattojen valmistus, Pukkila Oy Ab	156
5.7.3	Posliini- ja lasituotteet, Iittala Oy Ab	157
5.7.4	Muurlan lasitehtaas	157
5.7.5	Kermansavi Oy	157
5.7.6	Pentik	158
5.7.7	Kultakeramiikka Oy	158
5.8	Yhteenvedo, mineraalisektorin poltto- ja raaka-aineiden käyttö ja hiilidioksidipäästöt	158
5.9	Yhteenvedo tiedossa olevien kasvihuonekaasupäästöjen vähennyskeinoista ja -teknologioista ja arvio päästöjen vähennysmahdollisuuksista	161
5.10	Johtopäätelmiä ja jatkotoimenpidesuosituksia	162
5.11	Lähdeviitteet ja lisätietoja	164

6 Yhteenvedo ja johtopäätöksiä 167

LIITE 1 Tekesin CLIMTECH-ohjelman (1999–2002) julkaisut 176

1 Johdanto

Ilmaston muuttumisen hillintä on suuri haaste. Ilmaston muutokseen vaikuttavia päästöjä voidaan vähentää periaatteessa kahdella tavalla. Kulutus voi muuttua vähemmän päästöjä aiheuttavaan suuntaan tai voidaan ottaa käyttöön teknisiä ratkaisuja, jotka aiheuttavat vähemmän päästöjä energian, tuotteiden ja palvelujen tuottamisessa. Kulutusta ja talouden laajuutta bruttokansantuotteella mitattuna pyritään kasvattamaan, joskin kasvu painottuu yhä enemmän vähän energiaa kuluttaville aloille, mutta juuri mikään sektori ei absoluuttisesti supistu. Teknisille ratkaisuille jää siis hyvin merkittävä osa päästöjen rajoittamisessa. Kyseeseen tulevat ratkaisut koskevat ennen kaikkea energian tuotantoa ja käyttöä sekä myös muita päästöjen lähteitä kuten esimerkiksi teollisuusprosesseja ja jätehuoltoa.

Kasvihuoneilmiön hillintä tulee muuttamaan hyvin suuresti energiateknologioita ja -taloutta koko maailmassa pitkällä aikavälillä. Uuden teknologian kehittämislä voidaan alentaa päästöjen rajoittamisen kustannuksia. Satojen miljardien eurojen vuotuiset energiainvestoinnit siirtyvät vähitellen lähivuosikymmeninä fossiilisia polttoaineita käyttävistä teknologioista suureksi osaksi uusiutuvia energialähteitä käyttäviin ja päästöttömiin teknologioihin sekä energian käytön tehokkuuden lisäämiseen.

Yritysten toimintaympäristö on muuttumassa globalisoituvassa maailmassa. Pääomaa siirtyy ja kauppaa käydään maailmanlaajuisesti, yhteiskunnan säätely vähennee monilla alueilla ja markkinat vapautuvat. Yritysten toimintaan vaikuttavat ajankänteet ovat lyhentyneet, mikä asettaa erittäin suuren haasteen pitkän aikavälin ympäristövaikutusten hallinnalle sekä yrityksissä että hallinnossa.

Pyrkimys kestäväan kehitykseen on hyväksytty laajasti pitkän aikavälin poliittiseksi tavoitteeksi, ja yksi osa tätä kehitystä on kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen. Muutospaineita yrityksille syntyy myös muiden ympäristövaikutusten vähentämisestä. Erilaisten tavoitteiden yhtensovittaminen ei aina ole helppoa edes eri ympäristökysymysten tai päästökomponenttien välillä.

Ilmastonmuutosta hillitään YK:n puiteissa laaditulla ilmastosopimuksella. Sopimus neuvoteltiin valmiiksi vuonna 1992 ja se astui voimaan vuonna 1994. Sopimuksen perimmäinen tavoite on ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksien rajoittaminen vaarattomalle tasolle. Tämä tavoite vaatii maailman päästöjen rajoittamista murto-osaan nykyisestä ja on saavutettavissa ehkä sadan vuoden päästä. Konkreettiseksi tavoitteeksi neuvoteltiin ilmastosopimusten osapuolten välillä vuonna 1997 niin sanottu Kioton pöytäkirja, joka asettaa määrälliset päästövelvoitteet teollisuusmaille kaudelle 2008–2012. EU sopi yhteisen päästövelvoit-

teensa jakamisesta jäsenmailleen vuonna 1998. Suomen velvoite on pitää päästöt alle vuoden 1990 tason velvoitekaudella.

Kioton pöytäkirja tulee voimaan 16.2.2005. Tällöin Kioton pöytäkirja asettaa sen ratifioineille teollisuusmaille kasvihuonekaasujen päästöjen päästökattot jaksolla 2008–2012 ja tekee mahdolliseksi teollisuusmaiden välisen päästökaupan. Lisäksi pöytäkirja mahdollistaa päästöoikeuksien siirtämisen teollisuusmaiden välillä projektikohtaisen yhteistoteutuksen avulla ja teollisuus- ja kehitysmaiden välillä ns. puhtaan kehityksen mekanismin avulla. Päästökaupan ja projektikohtaisen mekanismien tarkoituksena on tasoittaa suurimpia päästöjenrajoituskustannuksia ja ohjata rajoitustoimet hinnaltaan edullisimpiin kohteisiin.

Euroopan unioni on antanut useita direktiivejä, joilla vähennetään kasvihuonekaasujen päästöjä. Tällaisia ovat muun muassa päästökauppadirektiivi, biopoltoainedirektiivi, rakennusdirektiivi, energian tehokkuusdirektiivit (SAVE) sekä uusiutuvien energialähteiden sähködirektiivi. EU:lla on myös suunnitteilla uusia direktiivejä esimerkiksi liikenteen päästöjen rajoittamiseksi. Päästökauppadirektiivin mukaan EU:n sisäinen päästökauppa käsittää jo jakson 2005–2007.

Päästöjen rajoittamisen tuoma yritysten toimintaympäristön muutos vaikuttaa yritysten asemaan ja muuttaa vähitellen niiden käyttämää teknologiaa. Päästökauppa vaikuttaa taloudelliseen toimintaympäristöön ja sen odotetaan siksi vaikuttavan yrityksiin nopeasti.

EU:n päästökauppa kattaa hiilidioksidipäästöt energia-alan sekä teräs-, mineraali- ja metsäteollisuuden laitoksista. Soveltamisalaan kuuluisivat yli 20 MW:n polttolaitokset, öljynjalostamot, koksaamot, rautametallien tuotanto ja jalostus, sekä tiettyä kapasiteettia suurempi sementtiklinkkereiden, kalkin, lasin, lasikuidun ja keraamisten tuotteiden valmistus ynnä massan, paperin ja kartongin valmistus. Päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla toteutetaan myös päästöjenrajoitustoimia, Suomessa mm. polttoaineverojen sekä uusiutuvan energian ja energiasäästön edistämishjelmien avulla.

Kasvihuonekaasuja voidaan vähentää teknisesti useilla tavoilla. Pitkällä aikavälillä on tärkeää tehostaa energiankäyttöä eri kulutussektoreilla. Tehokkuutta voidaan lisätä uusilla teknisillä konsepteilla ja järjestelmillä, joihin kuuluvat uudet käyttötavat.

Energiantuotannossa voidaan parantaa tehokkuutta ja samalla pienentää polttoainekäyttöä muun muassa nostamalla sähköntuotannon hyötysuhdetta tai myös lisäämällä lämmön ja sähkön yhteistuotantoa. Suomessa yhteistuotanto on yleistä sekä teollisuudessa että yhdyskuntien energiahuollossa. Muualla maailmassa, kuten

useissa Keski-Euroopan maissa ja Pohjois-Amerikassa, yhteistuotantoa voidaan laajentaa vielä paljon.

Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää myös siirtymällä vähähiilisempiin polttoaineisiin, esimerkiksi hiilestä öljyyn ja maakaasuun. Päästöt vähenevät myös korvaamalla fossiilisia energialähteitä ydinvoimalla ja uusiutuvalla energialla, kuten puuperäisellä energialla, tuulella ja jätteillä. Vesivoimasta on suhteellisen vähän apua päästönvähennyksissä, sillä suurin osa siitä on otettu jo käyttöön teollisuudessa maissa etenkin Euroopassa.

Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää myös erottamalla hiilidioksidia energia- tai teollisuuslaitoksen savukaasuista. Erotettu hiilidioksidi voidaan pumpata esimerkiksi käytettyihin maakaasu- tai öljykenttiin tai merenpohjan alla oleviin pohjavesimuodostelmiin. Hiilidioksidin erottamiseksi on useita teknisiä ratkaisuja, mutta ne kuluttavat paljon energiaa ja ovat toistaiseksi kalliita.

Erilaisia ja monesti hiilidioksidia voimakkaampia kasvihuonekaasuja vapautuu muualtakin kuin teollisuudesta ja energiantuotannosta. Näitä ovat muun muassa typpihapon valmistuksesta peräisin oleva dityppioksidi (N_2O) sekä fluorihilivedyt (HCF:t), perfluorihilivedyt (PFC:t) ja rikkiheksafluoridi (SF_6). Näiden fluorattujen kaasujen lähteitä ovat muun muassa kylmälaitteet, eristevaahdot, aerosolit, alumiinin valmistus ja liuottimet.

Metaania vapautuu muun muassa kaatopaikoilta. Metaanipäästöjä voidaan vähentää ensisijaisesti estämällä jätteiden syntyä ja lisäämällä kierrätystä. Metaania voidaan vähentää myös muuttamalla jätehuoltojärjestelmää ja ottamalla metaani talteen kaatopaikoilla. Hyödyntämällä metaani energiantuotantoon päästöt vähenevät osin siksi, että metaanin poltossa syntyvä hiilidioksidi on metaania harmittomampi kasvihuonekaasu ja siksi, että tuotetulla energialla voidaan korvata fossiilista alkuperää olevaa energiaa. Lisäksi syntyvä hiilidioksidi on alun perin sidottu eloperäiseen ainekseen maanviljelys- tai metsäekosysteemissä ilmakehästä, jolloin tämän hiilidioksidin suhteen nettopäästö on nolla. Erilaisia jättejakeita voidaan myös käyttää joko suoraan tai tiettyyn sovelluskohteeseen prosessoituna energian lähteenä. Monet jätehuolto- ja kierrätysratkaisut ovat suhteellisen kustannustehokkaita keinoja vähentää kasvihuonekaasujen kokonaismäärää.

Energiahyötykäytön lisäksi runsaasti päästöjä aiheuttavien materiaalien korvaaminen vähemmän päästöjä aiheuttavilla (ns. materiaalisubstituutio) ja hyötykäytökettujen kehittäminen ovatkin niukemmin tutkittuja keinoja tuotanto-kulutusjärjestelmien päästöjen vähentämiseksi. Kokonaispäästöjä voidaan myös pienentää sitomalla ilmakehän hiilidioksidia varastoon ns. nieluihin. Tavallisesti tällöin ajatellaan metsäekosysteemiä mukaan lukien sekä puusto että maaperä, joissa ole-

vaa hiilivarastoa lisätään. Myös puusta tehtyjen tuotteiden voidaan nähdä muodostavan hiilivaraston, jota voidaan pyrkiä lisäämään.

Maataloudessa syntyy merkittäviä metaani- ja dityppioksidipäästöjä muun muassa eläinten ruoansulatuksesta ja peltojen lannoittamisesta. Näiden päästöjen rajoittamisen kustannukset vaihtelevat ja riippuvat tuotantotavoista sekä näitä ohjaavista tuista. Aihepiiriä on tutkittu vähän.

Eri teknologioilla voidaan vähentää päästöjä teoreettisesti paljon. Kuitenkin käytännössä teknologioiden vaikutusmahdollisuuksista, teknisestä potentiaalista, toteutuu taloudellisista ja osaamiseen liittyvistä syistä vain osa. Teknologioiden käyttöön saatavissa olevaa määrää kuvaa markkinapotentiaali. Teknologian hioutuessa käytössä tehokkaammaksi, edullisemmaksi ja taloudelliseen toimintaympäristöön sopivammaksi tämä potentiaali kasvaa vähitellen. Potentiaalia voidaan lisätä esimerkiksi taloudellisilla ohjaukskeinoilla, kuten investointituella, päästöveroilla, verohuojennuksilla tai päästökaupalla. Poistamalla markkinoiden vääristymiä ja lisäämällä teknologian ja rahoituksen liikkuvuutta potentiaalia voidaan nostaa kohti niin sanottua taloudellista potentiaalia. Teknologian kehittämisen lisäksi myös teknologian kysyntää tulee edistää. Kysynnän suunnalta markkinoilta tulevat ohjauksignaalit ovat ratkaisevan tärkeitä yritysten tutkimus- ja kehitystoiminnan suuntauksen kannalta. Julkiset hankinnat ovatkin olleet eräiden innovaatioiden kaupallistumisen alkutaipaleella hyvin tärkeitä. Markkinoita voidaan edistää myös uusilla liiketoimintatavoilla luomalla esimerkiksi uusia palvelukonsepteja.

Vaikuttamalla sosiaalisiin normeihin ja yksilöiden ja yhteisöjen toimintatapoihin voidaan lisätä teknologioiden käyttöönottoa. Yhteistoiminta- ja innovaatioverkostoilla ja toimintaohjelmilla on tärkeä tehtävä kaupallistamisessa. Teknologisen potentiaalin taso kuvaa teknologian mahdollisuuksia kaikkiaan. Tätä voidaan lisätä panostamalla tutkimukseen ja kehitykseen. Erilaisten esteiden poistaminen on keskeistä pyrittäessä lisäämään uuden teknologian käyttöä.

Suomen kansallinen ilmastostrategia valmistui vuonna 2001. Tätä strategiaa varten valmisteltiin raportti Teknologia ja kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen – taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten (KTM 1/2001). Parhailtaan Suomen ilmastostrategiaa ollaan päivittämässä. Uudessa strategiassa otetaan huomioon muun muassa EU:n päästökauppa, Kioton pöytäkirjan mekanismit sekä hiilinielut ja sopeutuminen ilmaston muutokseen.

Energiaan ja teollisuusprosesseihin liittyvät teknologiat kehittyvät suhteellisen hitaasti usein vuosien tai vuosikymmenien aikajänteellä. Joidenkin teknologioiden asemassa on kuitenkin viime vuosina tapahtunut selvää muutosta nimenomaan siksi, että niiden kehittämiseen on panostettu tavoitteena juuri kasvihuonekaasujen

päästöjen rajoittaminen. Toisaalta edellisessä raportissa (KTM 1/2001) joitakin teknologioita ja teollisuuden alueita käsiteltiin vain vähän tai ei lainkaan.

Tässä raportissa esitetään eräitä teknologisia mahdollisuuksia vähentää Suomen kasvihuonekaasujen päästöjä. Nämä ovat täydennyksenä ja päivityksenä KTM:n aikaisempaan julkaisuun (KTM 1/2001), nyt kun Suomen ilmastostrategiaa ollaan päivittämässä ja EU:n päästökauppajärjestelmää käynnistämässä.

Raportin luvussa 2 tarkastellaan vetyteknologian ja polttokennojen mahdollisuuksia pidemmällä aikavälillä, luvussa 3 esitetään biopoltonesteiden ja biokaasujen teknologiat ja potentiaalit kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamiseksi keskipitkällä aikavälillä sekä luvuissa 4 ja 5 metalliteollisuuden ja mineraaliteollisuuden teknologioita ja päästöjä vähennysmahdollisuuksia nykytekniikalla ja lähitulevaisuudessa.

Luvuissa esitetään yhteenveto aihepiirin teknologisista mahdollisuuksista rajoittaa Suomen kasvihuonekaasujen päästöjä. Raportti sisältää kuvauksen teknologian kehittymisestä eri vaihtoehdoissa ja arvioita niihin liittyvistä investointi- ja käyttökustannuksista. Raportissa ei oteta kantaa eri toimenpiteiden paremmuusjärjestykseen, vaan tuodaan esille tällaisissa tarkasteluissa tarvittavaa taustatietoa. Esimerkiksi metalli- ja mineraaliteollisuuden tuotantoprosessit on kuvattu seikkaeräisesti, koska tällainen tieto palvelee mm. päästökauppajärjestelmän käynnistämisen tarpeita.

2 Vetyteknologia ja polttokennot

2.1 Vetytalous

Tulevaisuuden energiaskenaarioissa monet tahot, etenkin EU:ssa, Japanissa ja USA:ssa, ovat päätyneet siihen että vety, sähkön rinnalla, tulee olemaan merkittävä energian kantaja tulevaisuudessa. Tämä koskee erityisesti liikennettä. Kannattaa huomioida, että vetytalouteen siirtyminen on ennen kaikkea teknologis-yhteiskunnallinen visio, jonka toteutus kuitenkin edellyttää kaikkien tahojen osallistumista. Vetyyn on päädytty etenkin siksi, että sitä voidaan sähkön lailla valmistaa monella eri tavalla ja sen käyttö on puhdasta. Lisäksi vetyä voidaan varastoida. Vedyn laajamittaisen hyödyntämisen edellytyksenä on polttokennoteknologia. Polttokenno muuttaa vedyn suoraan sähköksi kemiallisen reaktion kautta.

Euroopassa pyrkimyksenä on kehittää yhteiskunta, jossa energian tuotanto, jakelu ja käyttö perustuvat ekologisesti hyväksyttävälle pohjalle. Tämän lisäksi halutaan taata energian saatavuus, riittävyys ja turvallisuus, sekä kehittää kilpailukykyistä energiateollisuutta. USA:ssa pääasiallinen motivaatio näyttää olevan energian saannin varmuus, siis öljyriippuvuuden vähentäminen. Energian kantajana sähkö tulee entisestään kasvattamaan osuuttaan, paitsi silloin kun energiaa pitää varastoida. Tämä tarkoittaa pääasiassa liikennettä.

Vedyn laajamittaiseen käyttöön liittyy suuri joukko teknisiä ja taloudellisia ongelmia. Monessa maassa, kuten Euroopassa, Japanissa ja USA:ssa on kuitenkin innostuttu asiasta ja vetyteknologian ja polttokennojen kehittämiseen sijoitetaan paljon julkista rahaa. EU:n johtavat elimet ovat monessa yhteydessä julistaneet, että EU:sta luodaan maailman johtaja vetyteknologiassa.

Paitsi että vetytalouden on ajateltu toteuttavan vision luotettavasta ja puhtaasta energiasta, se saattaa myös luoda kokonaan uuden teollisuuden haaran, jonka merkitys voi olla verrattavissa IT-teollisuuteen. PriceWaterhouseCoopers on arvioinut, että polttokenno- ja siihen liittyvät muut laitemarkkinat voivat olla 20 miljardia euroa vuonna 2011 ja jopa biljoonaa euroa vuonna 2021. Nämä luvut ovat tietysti erittäin spekulatiivisia, mutta indikoivat kuitenkin että mahdollisuuksia on. Siksi – ja etenkin kasvavan EU-rahoituksen takia – olisi järkevää, että Suomi osallistuisi tähän kehitykseen. Polttokennoteknologian kehitys on jo aloitettu teollisuudessa ja tutkimuslaitoksissa ja osallistumme jo EU:n 5. ja 6. puiteohjelman hankkeisiin. Muuta vetyteknologiaan liittyvää kehitystyötä ollaan vasta aloittelemassa.

Vetytalouteen siirtyminen ei tapahdu hyppäyksenä, vaan siirtyminen tapahtuu vähän kerrallaan seuraavan viidenkymmenen vuoden aikana. Välituotteena syntyy paljon hyödyllistä teknologiaa ja teollista tuotantoa, jota voidaan hyödyntää vaikka täydellistä vetytaloutta ei syntyisikään. Esimerkkinä tästä ovat polttokennot, jotka voivat hyödyntää vedyn lisäksi muitakin polttoaineita. Polttokennojen laajamittainen käyttöönotto on edellytys vetytalouden syntymiselle, mutta polttokennot voivat saada merkittävän osuuden energiantuotannosta, vaikka vetytaloutta ei syntyisikään suunnitellussa laajuudessa. Tämä johtuu siitä, että polttokennot voivat käyttää hiilivetyperäisiä polttoaineita. Polttokennojen ympärille on jo maailmalla syntynyt teollista tuotantoa, joka on voimakkaassa kasvussa. Vuonna 2003 polttokennoteollisuuden liikevaihdon on arvioitu olevan maailmanlaajuisesti yli 600 miljoonaa euroa.

Kehitysmaiden kannalta polttokennot ovat erityisasemassa. Joidenkin skenaarioiden mukaan kehitysmaat siirtyvät energiaratkaisuissaan suoraan hajautettuihin järjestelmiin, aivan kuten IT-teknologiassakin. Näin vältetään rakentamasta raskasta sähköverkostoa. Sen asemasta sähkö voidaan tuottaa pienimuotoisesti paikallisista primäärienergian lähteistä, kuten biomassasta. Tämä olisi sekä taloudellisten investointien että ympäristön kannalta edullista. Siten sähkö voitaisiin tuoda kyliin nopeammin ja halvemmalla. Polttokennot soveltuisivat tähän hyvin, koska ne kykenevät hyödyntämään hyvin erilaisia polttoaineita.

Mitä siis olisi tehtävä, jotta tämä uljas uusi maailma toteutuisi? Ongelmia on niin paljon, että pessimistit haluavat luopua välittömästi. Monet kuitenkin uskovat, että tarvittava teknologia ja infrastruktuuri voidaan kehittää seuraavien vuosikymmenien aikana.

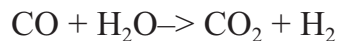
2.2 Vedyn valmistus

Kemian teollisuudessa syntyy merkittäviä määriä vetyä sivutuotteena vesiliuoksessa tapahtuvassa elektrolyysissä. Suomessa Finnish Chemicals tuottaa sivutuotevetyä 30 milj.m³/v (2700 t/v). Osa tästä käytetään lämmön tuotantoon, osa pulloetaan ja osa poltetaan soihduna ilmassa. Teollisuuden käyttöön vety yleensä valmistetaan joko reformoimalla maakaasua tai elektrolysoimalla vettä. Vedyn teollinen tuotanto koko maailmassa on 550 miljardia m³/v. Euroopassa tuotanto on 5,4 miljoonaa tonnia vuodessa.

Maaailman vedystä 48 % tuotetaan maakaasun höyryreformoinnilla. Höyryreformointi on endoterminen katalyyttinen prosessi. Katalyytin myrkyttymisen estämiseksi rikki poistetaan ennen konversiota. Maakaasu paineistetaan ja siihen sekoitetaan tulistettua höyryä. Kokonaisreaktio on seuraava:



Hiilimonoksidi konvertoidaan hiilidioksidiksi ns. shift-reaktion kautta.



Suurissa tuotantolaitoksissa päästään 82 prosentin kokonaishyötysuhteeseen. Teollisuuden tarpeisiin vety tuotetaan joko prosessikohtaisesti, tai suurissa keskitetyissä laitoksissa. Esimerkiksi Air Liquid Ranskassa toimittaa vetyä teollisuudelle useaan Euroopan maahan. Sitä vastoin muutamat nykyisistä autojen vetytankkausasemista tuottavat vedyn paikallisesti höyryreformoinnilla. Maakaasu tuodaan paikalle putkea pitkin. Tuotantokustannus vaihtelee välillä 6 - 11 €/GJ määrästä riippuen.

Pienessä mittakaavassa vetyä ja vedyn ja metaanin seosta valmistetaan paikallisesti polttokennojen polttoaineeksi erilaisia reformointimenetelmiä käyttäen. Esimerkiksi joissain polttokennoautoissa tai niiden apuvoimalaitteissa on metanolin ja bensiinin reformointi jo käytössä. Maakaasun reformointi on jo rutiinitekniikkaa ja se onnistuu hyvin. Myös bensiiniä ja metanolia osataan reformoida. Dieselin reformointia kehitellään parhaillaan. Siinä on vielä selviä ongelmia. Etenkin dieselöljyn tasainen ja hallittu annostelu tuottaa ongelmia. Reformointiteknologiat heikentävät yleensä kokonaishyötysuhdetta, mutta ovat tärkeä ”silta” vetyteknologian kehitysmahdollisuuksien kannalta.

Kivihielestä ja raskaasta polttoöljystä voidaan valmistaa synteetikaasua ja myös puhdasta vetyä kaasuttamalla. Synteetikaasun valmistamiseen on olemassa useita valmiita prosesseja. Veden kanssa kaasutuksessa syntyy CO - CO₂ - H₂ -seosta, joka voidaan konvertoida hiilidioksidin ja vedyn seokseksi. Etenkin USA:ssa ja Japanissa on jälleen herätelty tätä teknologiaa, ajatuksena polttoaineen valmistaminen polttokennoille. Vedylle hintaa tulee nykyteknologialla keskitetyssä valmistuksessa noin 10 €/GJ.

Ongelmana on tietysti se, että hiilivetyjä reformoimalla syntyy hiilidioksidia, joka päästetään ilmaan. Toinen vaihtoehto on, että muodostunut hiilidioksidi otetaan talteen jollain keinolla ja varastoidaan. Tämä teknologia on vielä kehitysasteella, mutta USA:ssa on käynnistymässä jo demonstraatiolaitos FutureGen-hankkeen yhteydessä. Kaupallista teknologian arvellaan olevan vasta vuoteen 2020 mennessä.

Parasta olisi, jos hiilidioksidi saataisiin pelkistettyä hiileksi ja hapeksi. Tämä reaktio kuitenkin kuluttaa paljon energiaa. Maailmalla kehitetään parhaillaan menetelmiä, joilla korkeassa lämpötilassa voitaisiin suoraan hajottaa hiilivetyjä vedyksi ja hiileksi. Kvaerner Engineeringillä on jo Norjassa pilot-mittakaavan laitteisto, jolla plasmakaareissa aikaansaadussa 1 600 °C:n lämpötilassa tämä hajottaminen onnistuu. Tuotteina saadaan vetyä ja aktiivihiihtä. Hyötysuhde on melkein 100 %.

Tällä hetkellä toiseksi yleisin tapa valmistaa vetyä on elektrolysoimalla vettä. Puhtaan veden elektrolyysi kuluttaa paljon sähköä. Siksi veteen sekoitetaan yleensä kaliumhydroksidia johtokyvyn parantamiseksi. Yleensä toimintalämpötila on 70 - 90 °C, kennon jännite 1,75 - 2,04 V ja virrantiheys 1,34 - 2 kA/m². Sähköä kuluu yli 400 kWh/GJ H₂. Tästä saadaan hyötysuhteeksi 61 - 70 % ja tuotantohinnaksi 20 - 30 €/GJ H₂. Tämä on 2 - 3 -kertainen höyryreformoinnin hintaan verrattuna. Useat maailman vetytankkausasemista käyttävät elektrolyysiä. Johtava tankkausasemien valmistaja on kanadalainen Stuart Energy. Elektrolyysin hyvä puoli on se, ettei se tuota lainkaan hiilidioksidia.

Myös uusia elektrolyysimenetelmiä on kehitteillä. Näitä ovat paineistettu ja korkealämpötilaelektrolyysi. Käänteinen PEM-polttokenno on jo käytössä laboratoriomittakaavassa, ja käänteistä SOFC-polttokennoa tutkitaan parhaillaan. Suomessa Labgas Oy valmistaa PEM-periaatteeseen perustuvia elektrolyysereitä laboratorioden vedyn valmistukseen.

Vettä voidaan myös hajottaa suoraan vedyksi ja hapeksi korkeassa lämpötilassa erilaisten kemiallisten välireaktioiden kautta. Korkean lämpötilan voi tuottaa joko aurinkoenergialla tai ydinvoimalla. Auringon valo voidaan kohdistaa suurilla peileillä pieneen tilavuuteen. Toisena vaihtoehtona kaavaillaan kehitettävään uusia korkealämpötilaydinreaktoreita. 800 °C:n lämpötilassa vedyn tuotannon hyötysuhde voisi laskelmien mukaan olla 40 %. Korkea lämpötila aiheuttaa kuitenkin materiaalien kestävyysongelmia, jotka pitää ratkaista.

Euroopassa lähtökohtana on hiilidioksidivapaan vedyn tuotanto. Tässä tulee kysymykseen elektrolyysi tuulisähköllä, tai vedyn valmistus biomassasta tai biologisesti. Jälkimmäisiä menetelmiä on periaatteessa kolme. Biomassan kaasutus, fermentaatio eli käyminen sekä levien tai bakteerien hyväksikäyttö. Yksikään näistä menetelmistä ei ole kaupallisesti saatavissa. Sitä vastoin metaanin valmistus fermentoimalla on jo käytössä ja kaatopaikkakaasuja on hyödynnetty korkealämpötilapolttokennojen, SOFC:n ja MCFC:n, polttoaineena.

Biomassan kaasutus tuottaa kaasuseoksen, jonka koostumus on tyypillisesti seuraavanlainen: CO 14 %, H₂ 18 %, CO₂ 14 %, CH₄ 2 %, N₂ 45 % ja H₂O 7 %. Shift-reaktiota hyödyntämällä ja puhdistamalla saadaan puhdasta vetyä. Suomes-

sa käyttökelpoista biomassaa saadaan tyypillisesti metsäteollisuuden sivutuotteista. Maatalouden potentiaali tuottaa biomassaa kaasutukseen on Suomessa pienempi. Euroopassa sen merkitys on suurempi.

Anaerobisen fermentaation kautta syntyy Suomessakin paljon metaania. Sitä syntyy kuitenkin hyvin hajautetusti. Siksi polttokennot soveltuisivat hyvin sen hyödyntämiseen. Hyödyntäminen edellyttää joko paikallista esireformointia tai kokonaisreformointia vetytöisen polttoaineen tai puhtaan vedyn aikaansaamiseksi. Vedenpuhdistamot, kaatopaikat, suuret kasvihuoneet, sikalat, karjatilat ja kanalrat ovat hyviä kohteita. Pienmuotoisesti metaania syntyy kaikissa maataloissa.

Levien ja bakteerien hyödyntäminen vedyn valmistukseen on toistaiseksi puhtasta perustutkimusta, ja soveltuu ehkä muutenkin paremmin lämpimimpiin maihin.

2.3 Vedyn jakelu ja kuljetus

Vedyn jakelu edellyttää suuria investointeja. USA:ssa on laskettu, että jotta poltto-kennoautojen käyttö voisi yleistyä, 30 % huoltoasemista pitäisi pystyä vedyn jakeluun. EU:ssa lasketaan, että mikäli vuonna 2020 maanteillä olisi arvioidut 2 - 9 miljoonaa poltto-kennoautoa, pitäisi Euroopassa olla vastaavasti 5 000 - 10 000 vetyjakeluasemaa. Ongelmana on lähinnä se, että autoja ei saa kaupaksi ennen kuin investoinnit on tehty, mutta ne taas eivät maksa itseään takaisin pitkään aikaan. Ratkaisuna lienee julkinen tuki. Vedyn kuljetus, joko putkistossa tai tankkiautoilla, on nykyteknologialla kallista. Siitä huolimatta vety kuljetetaan muualta suurimpaan osaan nykyisistä vetytankkausasemista, joita maailmalla on tällä hetkellä 80 kappaletta, muissa asemissa vedyn valmistus tapahtuu paikalla, joko reformoimalla maakaasua, tai elektrolysoimalla vettä.

Air Liquid ylläpitää Euroopassa 1 100 kilometriä pitkää vetykaasuverkostoa ja jakelee vetyä Pohjois-Euroopassa useassa maassa. Vety diffundoituu helposti eri materiaaleissa, se aiheuttaa korroosio-ongelmia ja sen pumppaus vaatii selvästi enemmän energiaa kuin maakaasun pumppaus. Siten vedyn kuljetus putkistoa pitkin edellyttää kalliimpaa putkistoa ja suurempaa energiankulutusta kuin maakaasu. Kuljetuskustannus on kokonaisuudessaan 50 - 80 % suurempi kuin maakaasun kuljetuksessa.

Vetyä voisi kuljettaa nykyistä maakaasuverkostoa pitkin sekoittamalla sitä maakaasuun. Silloin sitä käytettäisiin maakaasubusseissa polttoaineena, tai poltettaisiin sellaisenaan tai reformoitaisiin yhdessä maakaasun kanssa. Vety voidaan myös erottaa maakaasusta membraanitekniikan avulla, mutta ainakin toistaiseksi se tulisi kalliiksi.

Vedyn kuljetus tankkiautoilla, junalla tai laivalla on myös kallista, koska tarvittavat kuljetussäiliöt ovat raskaita, joko painepulloja tai nestemäisen vedyn eristettyjä säiliöitä. Laivakuljetus onnistuu vain nestemäisenä. Autolla vetyä voisi kuljettaa sekä nestemäisenä että paineistettuna. Kustannukset on nykyteknologialla arvioitu kohtuullisen suuriksi. Esimerkiksi autolla 160 kilometrin kuljetus maksaisi 0,5 - 1,8 €/GJ nesteytettynä ja paineistettuna jopa 10 €/GJ.

2.4 Vedyn varastointi

Vetyä varastoidaan nykyteknologialla kolmella eri menetelmällä. Vety voidaan paineistaa, nesteyttää tai absorboida. Ajoneuvoissa vetyä varastoidaan paineistettuna komposiittisäiliöissä. Tällä hetkellä 350 barin paine on standardi, mutta 700 barin säiliöitä luvitetaan parhaillaan USA:ssa. Suuremmassa mittakaavassa käytetään terässäiliöitä 210 barin paineessa, tai suuria pallomaisia säiliöitä. Joissain maissa vetyä säilötään kallioluolissa 50 barin paineessa. Vedyn paineistaminen vaatii paljon energiaa, ja on siksi kallista. Esimerkiksi paineistaminen 350 bariin kuluttaa noin 9 % vedyn energiasisällöstä. Kalliosäiliössä vedyn varastoinnin kokonaiskustannuksiksi on arvioitu 1 - 4,7 €/GJ.

Vetyä säilötään ja kuljetetaan myös nestemäisenä. Säilytys vaatii erittäin alhaisen lämpötilan, 20 Kelviniä (-253 °C). Nesteytys vaatii energiaa noin 25 - 30 % vedyn energiasisällöstä, eikä siksi tunnu järkevältä muuten kuin silloin kun käyttö edellyttää nestemäistä polttoainetta. Kyseeseen tulee siis lähinnä polttomoottorikäyttö. Myös mahdollinen laivakuljetus edellyttää nesteytystä.

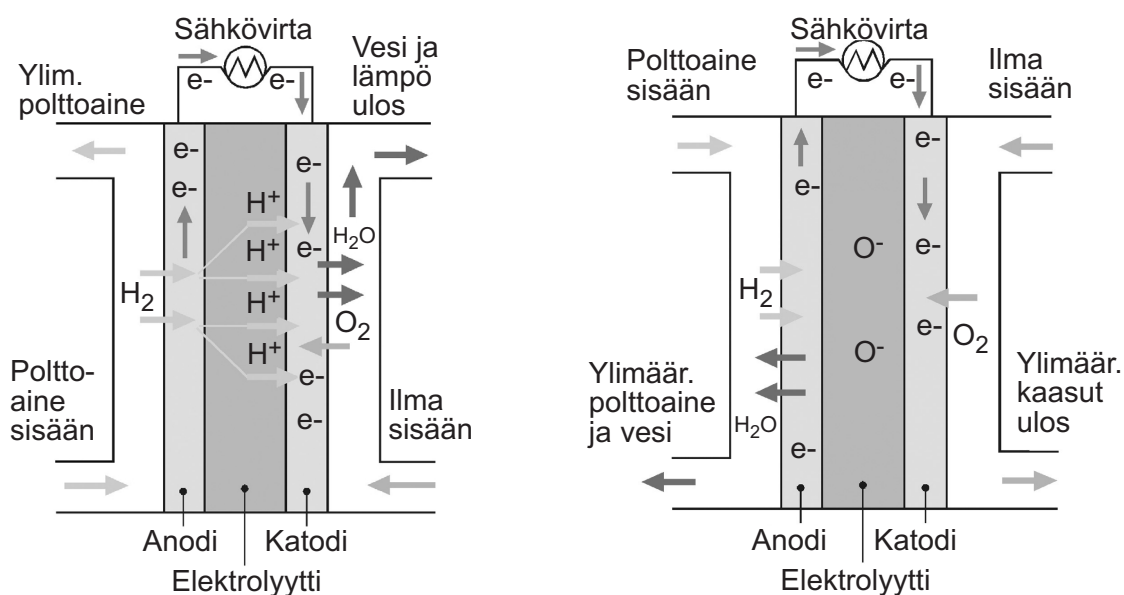
Kehitteillä on myös metallihydridisäiliöitä, joissa paine on matala, joten ne ovat turvallisempia. Ongelmana on hinta, ja liikennekäytössä paino. Uusia kehitettäviä menetelmiä ovat mm. nanoputket ja aktiivihiihi. Nämä ovat vielä perustutkimusvaiheessa, eikä niiden tulemisesta ole vielä varmuutta. Tehtävää riittää vielä pitkäksi aikaa ja uusia innovatiivisia menetelmiä etsitään jatkuvasti.

2.5 Polttokennot

Vaikka vetyä voidaan hyödyntää turbiineissa ja polttomoottoreissa, on vaikea kuvitella että vetytaloutta syntyisi, ellei polttokennoja saada tyydyttävälle tekniselle tasolle, ja niiden hintaa alhaiseksi. Polttokennoissa on vielä paljon kehitettävää ennen kuin kestävyys ja luotettavuus ovat riittävät. Hintojen alentaminen edellyttää massatuotannon lisäksi teknologian kehittämistä. Positiivista on se, että polttokennoteknologian kehittämiseen sijoitetaan paljon rahaa, ja useat yritykset ovat tuomassa tuotteita markkinoille. Hajautetussa energiantuotannossa prototyyppinä

myydään demonstraatiotarkoituksessa jo satoja vuosittain. Hintakehitys on alene-
maan päin siihen tahtiin, että markkinoiden uskotaan avautuvan tämän vuosikym-
menen loppuun mennessä. Tässä pitää huomioida, että polttoaineena on yleensä
maakaasu ja jossain tapauksessa kaatopaikkakaasu. Mutta sama teknologia käy
myös vedylle, mikäli tämä joskus olisi ajankohtaista.

Polttokenno on laite, joka muuntaa polttoaineen kemiallisen energian suoraan säh-
köksi. Tämä tapahtuu kuvan 1 mukaisesti siten, että polttoaine ja happi, yleensä
ilma, erotetaan toisistaan kalvolla, joka ei johda sähköä eikä kaasuja tai nesteitä,
vaan vain yhdenlaisia ioneja. Laitteessa polttoaine johdetaan kalvon (elektrolyyt-
ti) yhdelle puolelle (anodi). Kalvo on katalysoitu siten, että tapahtuu polttoaineen
hajoaminen peruskomponentteihin ja niiden ionisaatio. Samalla tavalla tapahtuu
hapelle kalvon toisella puolella (katodi). Ionisaatiossa vapautuvat elektronit joh-
detaan johdinta pitkin kuorman kautta anodilta katodille. Määrätty ioni kulkee kal-
von läpi ja reagoi toisella puolella kemiallisesti, jolloin syntyy jälleen neutraali
kemiallinen yhdiste. Johdinta pitkin kulkeva elektroni osallistuu reaktioon. Kuvas-
sa 1 esitellään PEMFC- ja SOFC-polttokennotyyppien rakenneperiaatteet.



Kuva 1. Polttokennon periaate a) PEMFC, b) SOFC.

Alkalipolttokenno (AFC) oli ensimmäinen käytännössä sovellettu polttokenno-
tyyppi. USA on käyttänyt sitä avaruuslennoilla sähkön valmistukseen aina kuu-
lennoilta saakka. Polttokennon käytön etuna on se, että sähkön lisäksi se tuottaa
myös tarvittavan juomaveden. UTC Fuel Cells on valmistanut nämä kennot. AFC
on kuitenkin katsottu niin kalliiksi valmistaa, että sitä kehitetään enää harvoissa
paikoissa. Suomessa Hydrocell Oy valmistaa näitä kannettaviin sovelluksiin. Mui-
ta, energiantuotannon ja liikenteen kannalta merkittävämpiä polttokennotyyppijä

ovat polymeerimembraanipolttokenno (PEM tai PEFC), kiinteäoksidipolttokenno (SOFC), sulakarbonaattipolttokenno (MCFC) ja fosforihappopolttokenno (PAFC), joten vain niitä käsitellään lähemmin seuraavassa. Yhteenvedo polttokennojen rakenteesta ja ominaisuuksista on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Yhteenvedo eri polttokennotyyppien rakenteesta ja ominaisuuksista.

	AFC	PEFC	PAFC	MCFC	SOFC
Elektrolyytti	KOH	Ioninvaihtomembraani	Nestemäinen fosforihappopiikarbidissa	Sula alkali-karbonaatti LiAlO ₂ -matriisissa	Y ₂ O ₃ -stabiloitu ZrO ₂
Anodi	Pt seokset tai Rayney Ni	Pt hiilen päällä	Huokoinen Pt	Huokoinen Ni	Ni-ZrO ₂ cermet
Katodi	Pt, Ag, NiO	Pt hiilen päällä	Huokoinen Pt päällä	Ni-oksidi	Sr-dopattu LaMnO ₃
Käyntilämpötila	65-220 °C	80 °C	205 °C	650 °C	600 - 1000 °C
Varauksen kantaja	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ⁻	O ⁻
H ₂	Polttoaine	Polttoaine	Polttoaine	Polttoaine	Polttoaine
CO		Myrkkyy	Myrkkyy	Polttoaine	Polttoaine
CO ₂	Myrkkyy	Laimennin	Laimennin	Laimennin	Laimennin
CH ₄		Laimennin	Laimennin	Laimennin	Polttoaine
S		Ei tietoa	Myrkkyy	Myrkkyy	Myrkkyy

Polttokenno yksin ei vielä tee paljoakaan. Auton voimanlähde tai voimalaitos tarvitsee toimiakseen itsenäisesti polttoaineen ja hapettimen käsittelyjärjestelmät, erilaisia polttoaineen kierrätys- ja jälkikäsitteilylaitteita, jäähditysjärjestelmän, kostuttimia, käynnistyslaitteita, tehoelektroniikkaa sekä ohjaus- ja säätölaitteita. Järjestelmän tyypillisiä osia ovat usein reformeri, puhaltimet, lämmönvaihtimet, jälkipolttimet, neutraalikaasun käsittelylaitteet jne. Yleensä tämä ns. lisäosa, ”balance of plant, BOP”, voi olla 50 - 70 % koko järjestelmän hinnasta.

Polttokennoja pidetään yleisesti ympäristöystävällisenä teknologiana. Ajatuksena on, että vetyä ja happea yhdyttämällä saadaan sähköä, ja päästönä on puhdas vesi. Asia ei tietenkään ole niin yksinkertainen. Koska vety ei ole primäärienergian lähde, myös polttokennon ominaisuuksiin pitää liittää koko energiaketju. Totta on kuitenkin, että polttokennon paikalliset päästöt ovat pienet. Vaikka polttoaineena käytettäisiin polttoaineen prosessorin, eli reformerin avulla maakaasua tai dieselöljyä, paikalliset päästöt jäävät vähiin, koska polttoaine on puhdistettava ennen käyttöön ottoa. Rikki ja raskasmetallit on poistettava. Polttokennon reaktio ei myöskään tuota typen oksideja, eikä hiukkasia. Mikäli polttoaine sisältää hiiltä, päästönä on kuitenkin hiilidioksidi (CO₂). Hiilidioksidipäästöjä vähentää ainoastaan joidenkin polttokennojen hyvä hyötysuhde, jolloin päästö tuotettua sähköyksikköä kohti on

pienempi. Polttokennon parhaana ominaisuutena pidetäänkin hyvää hyötysuhdetta, ja etenkin sitä että hyötysuhde on hyvä myös osatehoilla. Polttokenno on myös tärinätön ja äänetön, ainakin teoriassa. Käytännössä puhaltimet saattavat pitää ääntä, jos ne on huonosti mitoitettu.

2.5.1 Polymeerimembraanipolttokenno (PEM)

Polymeerimembraanipolttokennostoja (PEM) valmistetaan aina muutaman milliwatin tehoisista 250 kW:n tehoisiin saakka. Pieniä kennostoja aina yhteen kW:n saakka valmistavat useat pienet yritykset USA:ssa, ja niitä saa ostaa vapaasti. Esimerkkinä voi mainita 100 W:n kennoston, jonka hinta vaihtelee välillä 3 000 - 7 500 dollaria ominaisuuksista riippuen. 100 W:n, 12 V:n itsenäisen tehonlähteen hinta on tyypillisesti 5000 dollaria. Ballardilta saa NEXA-nimisen 1,2 kW:n tehonlähteen samaan hintaan.

Viiden kilowatin PEM-voimanlähteen hyötysuhde on tyypillisesti 25 % 5 kW:n teholla ja nousee 28 prosenttiin 2 kW:n teholla. Suurempien PEM-kennostojen sähköhyötysuhteet ovat käytännössä 35 %. Kokonaishyötysuhteet CHP-käytössä (yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa) ovat luokkaa 75 %. CHP-laitoksena PEM:n käyttö rajoittuu lähialueelle, kuten yhteen taloon, koska sen 60 - 80 -asteista vettä ei voi kuljettaa kauas. Kestävyydestä on joskus vaikea saada tarkkaa tietoa, mutta ainakin UTC Fuel Cells väittää jo osoittaneensa 15 000 tunnin kestävyden 150 kW:n voimalaitoksessaan, ja lähestyvän tähtäimessä olevaa 40 000 tuntia. Liikennekäytössä pyritään tällä hetkellä 5 000 tuntiin.

PEM-kenno on suosittu liikennekäytössä. Useimmat suuret autonvalmistajat kehittävät polttokennoautoja. Maailmalla on rakennettu yli 300 prototyyppiä, ja tällä hetkellä ainakin Honda, Toyota, Daimler Benz ja GM valmistavat pieniä sarjoja liisattaviksi. Niitä voidaan käyttää hyvin rajoitetuilla alueilla Tokiossa ja Kaliforniassa, joissa on muutamia vetytankkausasemia. Lisäksi maailmassa on rakennettu 60 polttokennokäyttöistä bussia, joita on käytössä ainakin Kaliforniassa, Japanissa ja useassa Euroopan kaupungissa. Uusin näistä hankkeista on EU:n CUTE projekti, jonka puitteissa yhdeksään eurooppalaiseen kaupunkiin on rakennettu vetytankkausasemat, ja yhteensä 27 bussia julkisen liikenteen käyttöön. Tukholma on yksi näistä kaupungeista. Autoja ja busseja varten on kehitetty polttokennoja useassa yrityksessä. Esimerkkejä ovat Ballard, jolla on 85 - 190 kW:n tehonlähteet, UTC Fuel Cells (58 - 300 kW), Nuvera (75 - 300 kW), Toyota (90-180 kW) ja GM, jolla on ainakin 75 - 94 kW:n tehonlähteet. Muun muassa Daimler Benz käyttää Ballardin kennoja.

GM on tehnyt mielenkiintoisen sopimuksen Dow Chemical Companyn kanssa. GM toimittaa Dowille 400 kappaletta 75 kW:n polttokennoja, yhteiseltä teholtaan

35 MW. Polttoaine on ilmaista, koska vety syntyy tehtaan sivutuotteena. Muuten PEM:n suosio voimalaitoksena on vaihdellut. Useat yritykset, mm Vaillant, Nuvera ja Plugpower ovat kehittäneet ja asentaneet satoja pientalokohtaisia 3,5 - 5 kW:n voimalaitoksia etenkin USA:ssa ja Saksassa. Suurempiakin yksiköitä on suunniteltu. Yllämainittu UTC:n polttokennovoimalaitos on vasta kehitysasteella, eikä yhtään kappaletta ole vielä käytössä. Ballard Ahlstrom valmisti 1990-luvulla muutamana 250 kW:n CHP-laitoksen, joita asennettiin Eurooppaan ainakin kolme kappaletta. Kokemukset ovat huonoja, eikä näistä yksiköistä ole tällä hetkellä tietämisen mukaan yksikään käytössä. Ballard on lopettanut, tai ainakin keskeyttänyt tämän kehitysprojektin.

Muita mahdollisia PEM-sovelluksia, joilla ei kuitenkaan ole merkitystä hiilidioksidipäästöjen kannalta, ovat erilaisten kannettavien laitteiden tehonlähteet, varavoimalaitokset toimistoihin ja linkkiasemiin, erilaiset puolustusvoimien kuljetettavat voimanlähteet ja hajaseutujen sähkölähteet.

2.5.2 Fosforihappopolttokenno (PAFC)

Fosforihappopolttokennoa (PAFC) sovelletaan vain voimantuotantoon. USA:ssa on tuotettu 1990-luvun alusta yli 200 kappaletta 200 kW:n CHP-laitoksia. Pääasiallinen valmistaja on UTC Fuel Cells USA:ssa. Myös IVO:lla oli Suomessa yksi koekäytössä 1990-luvun alussa. Laitoksen pääasiallinen polttoaine on maakaasu, joka reformoidaan erillisellä reformerilla puhtaaksi vedyksi. Sillä se saavuttaa 37 %:n sähköhyötysuhteen ja 90 %:n kokonaishyötysuhteen. 200 °C-asteinen vesi on jo hyvin hyödynnettävissä kaukolämpönäkin. Kestävyys on myös kohtuullinen, ainakin 40 000 tuntia. Ongelmana on se, ettei hintaa ole saatu alas. Hinta 4 000 \$/kW on pysynyt vakiona jonkin aikaa, eikä hinnan alentaminen enää näytä mahdolliselta. Siksi laitoksen jatkokehitys on lopetettu ja UTC on siirtynyt kehittämään PEM-voimalaitosta.

2.5.3 Sulakarbonaattipolttokenno (MCFC)

Sulakarbonaattipolttokenno (MCFC) on myös teknologia, jota ei kannata tehdä pienessä mittakaavassa. Siksi se soveltuu sähkön ja lämmön tuotantoon. Nykyiset laitokset ovat sähköteholtaan 200 - 300 kW, ja yhdistämällä näitä voidaan tehdä MW-kokoluokan laitoksia. Teknologia on nyt esikaupallisella asteella ja useita laitoksia on käytössä. Vaikuttaa siltä, että valmistuskapasiteetti olisi nyt rajoittava tekijä, sillä kaikki menevät kaupaksi. USA:ssa Fuel Cell Energy (FCE) on johtava valmistaja. Sillä on jo USA:ssa ja Japanissa 20 laitosta toiminnassa. Euroopassa on kymmenen, mutta näistä kerrotaan alla MTU:n yhteydessä. FCE rakentaa tuotantokapasiteettia, joka on jo 50 MW/v. Perusyksikkö on 250 kW sähköä, ja monistamalla näitä

tuotannossa ovat 1 MW:n ja 2 MW:n laitokset. Sähköhyötysuhde on 50 %. Laitoksessa on kennoston paineastiaan integroitu reformeri, joten polttoaineena voi käyttää suoraan joko maakaasua, kaatopaikkakaasua tai hiilen kaasutuskaasua. Käyttölämpötila on 650 °C, joten kuumaa vettä voi hyvin käyttää kaukolämpöverkostossa.

MTU Saksassa tuottaa FCE:n teknologiaa ja tekee jo omia laitoksia. MTU:n CHP-laitos on sähköteholtaan 245 kW ja hyötysuhteeltaan 50 %. Kokonaishyötysuhde on 90 %. Hinta on tällä hetkellä 8 000 €/kW ja kuulemma laskeva, tavoitteena 1 500 €/kW tämän vuosikymmenen aikana. Tällä hetkellä Euroopassa on koekäytössä kahdeksan MTU:n laitosta, ja kaksi USA:ssa. Kaksi niistä on jo käynyt 16 000 tuntia ja ne ovat toimineet hyvin. Näiden lisäksi Italiassa Ansaldo kehittää MCFC-voimalaitosta. Japanissa IHI on jo toimittanut kolme 300 kW:n laitosta, joilla tosin on toimintaongelmia.

2.5.4 Kiinteäoksidipolttokenno (SOFC)

Kiinteäoksidipolttokennoa (SOFC) valmistetaan kahdella tekniikalla. Ns. tubulaarikennolla varustettua kennostoa valmistaa pääasiassa Siemens Westinghouse USA:ssa ja Siemensin kennoja hyväksi käyttäen Fuel Cell Technology Kanadassa. Siemens valmisti ja koekäytti 110 kW:n laitoksen 1990-luvulla, ja tämä toimi hyvin, yli 20 000 tuntia. Sähköhyötysuhde oli 46 %. Tämän jälkeen Siemens teki paineistetun 200 kW:n laitoksen, johon oli liitetty mikroturbiini lisäsähkön toimittamiseksi. Sähköhyötysuhde oli 52 %. Tämä ei kuitenkaan toiminut kunnolla. Näiden perusteella Siemens sai kuitenkin useita tilauksia eri puolilta maailmaa. Nämä jouduttiin kuitenkin kaikki perumaan, koska Siemensin uudet tuotantolaitokset eivät enää kyenneet tuottamaan kestäviä kennoja. Tällä hetkellä Siemens on joutunut aloittamaan kehitystyönsä melkein alusta, eikä ole tietoa koska toimiva laitos saadaan aikaan. Fuel Cell Technology tekee Siemensin kennoista talokohtaisia viiden kilowatin CHP-laitoksia, joita on toimitettu muutama kappale. Ne näyttävät toimivan, mutta hinta on erittäin korkea, yli 35 000 €/kW.

Planaaritekniologia on vasta kehitysasteella. Tosin Sulzer Hexis Sveitsissä on valmistanut ja asentanut yli sata kappaletta yhden kilowatin talokohtaisia CHP-yksiköitä, mutta tekniset vaikeudet ovat vielä suuria. Kennostot eivät kestä; ne on vaihdettava kolme kertaa vuodessa, ja lämpöhäviöt ovat niin suuret, että ilmoitettua 30 %:n sähköhyötysuhdetta on vaikea saavuttaa. Uudesta kehittämisestä odotetaan pelastajaa.

Planaari-SOFC on erittäin intensiivisessä kehitysvaiheessa Euroopassa, Japanissa ja USA:ssa, mutta muita kuin Sulzer Hexisen tuotteita ei vielä ole markkinoilla.

Kennostoja kehittävät mm. Rolls-Royce, Haldor Topsoe, Prototech, HT Ceramics, Delphi, Mitsubishi, Acumetrics, Cummins Power Generation ja UTC Fuel Cells. Tähtäimessä useimmilla on tässä ensimmäisessä vaiheessa kehittää 5 kW:n toimiva, halpa ja kestävä kennosto.

Voimalaitoksia kehittävät tällä hetkellä mm. Mitsubishi, Rolls-Royce ja Wärtsilä. Rolls-Royce ilmoittaa saavansa 1 MW:n prototyypin valmiiksi vuonna 2007, ja Wärtsilä 250 kW:n CHP:n joskus tämän vuosikymmenen loppupuolella. Vaikka useimmat ovat sitä mieltä, että SOFC on tulevaisuuden voimalaitosteknologia, on MCFC kuitenkin kehityksessä selvästi edellä.

2.6 Vetytalouden ja polttokennojen kehitysnäkymät

Vetytalouteen siirtymisen perusmotivaatiot vaihtelevat eri maissa, mutta joka paikassa ajavana voimana ovat poliittiset visiot. USA:ssa tärkeimpänä motivaationa näyttää olevan öljyriippuvuuden vähentäminen. Syy on tietysti se, että nykyiset öljyvarat ovat suurelta osin poliittisesti epästabiileissa maissa. Euroopassa pääasiallinen motivaatio näyttää olevan ilmastonmuutoksen hillintä, mutta lisäksi halutaan vähentää riippuvuutta tuontien energiasta ja yleensäkin varmentaa energian saatavuus ja turvallisuus. Muita motivaatioita ovat kilpailukykyisen teollisuuden luominen. Julkisella sektorilla sekä Euroopassa, Japanissa että USA:ssa ymmärretään että vety- ja polttokennoteknologian ja vetyteknologian infrastruktuurin kehitys vaatii suuria investointeja, joita ei lähiaikoina saada takaisin. Siksi kehitystyöhön ollaan alkuvaiheessa valmiita sijoittamaan julkista rahaa merkittävässä määrin.

Eri maiden visioista voidaan johtaa mahdolliset energian tuotantoskenaariot. Euroopassa päämotivaationa on kasvihuonekaasujen vähentäminen. Siksi vety halutaan valmistaa uusiutuvista lähteistä. Lähinnä kysymykseen tulevat elektrolyysi käyttäen tuulivoimalla tuotettua sähköä, biomassan kaasutus ja biologiset menetelmät. Näitä ovat biomassan fermentaatio ja mikrobiologiset menetelmät. Useat asiantuntijajahot asettavat kuitenkin näin tuotetun energian riittävyyden kyseenalaiseksi. Erittäin pitkällä tähtäimellä muutkin menetelmät, kuten veden hajottaminen korkealämpötilaprosesseissa, ovat mahdollisia. USA:ssa vety on ajateltu tuottaa hiilestä kaasuttamalla ja myöhemmin myös ydinvoimalla käyttäen korkealämpötila reaktoreita. Kivihiilen riittävyys on hyvä, mutta hiilen kaasutukseen liitetään aina hiilidioksidin talteenotto. Vaikka talteenotto onnistuisikin, on erittäin kyseenalaista löydetäänkö syntyville valtaville hiilidioksidimäärille turvallinen, hyväksyttävissä oleva varastointikeino. Korkealämpötilareaktorien kehittämiseen liittyy erittäin suuria materiaalien kestävyysongelmia.

Kuten jo luvun alussa mainittiin, vetytalouden laajamittainen käyttöönotto edellyttää polttokennoja. Polttokennot on kuitenkin myös pidettävä erillään vetytaloudesta siinä suhteessa, että ne voivat hyödyntää kaikkia hiilivetyperäisiä polttoaineita. Etenkin korkealämpötilapolttokennot, SOFC ja MCFC, voivat käyttää maakaasun puhdistettua metaania polttoaineena sisäisen reformoinnin kautta. Siksi kohtuullisen yksinkertainen esireformointi riittää niin, että kaikkia hiilivetyperäisiä polttoaineita, dieselistä ja maakaasusta aina biopohjaisiin saakka, voidaan käyttää. Koska siis polttokennojen hyödyntäminen ei edellytä vetyä, maakaasu on tulevana kymmeninä vuosina sähköntuotantoon käytettävien polttokennojen pääasiallinen polttoaine. Tämä myös takaa sen, että polttokennoille löytyy markkinoita myös lähivuosina edellyttäen, että kestävyys ja hinta ovat sopivat. Tämä tosiseikka on hyvä huomioida.

Kuten on jo tuotu esille, useat yritykset ympäri maailmaa kehittävät ja rakentavat erikokoisia polttokennovoimalaitoksia. Niitä on jo rakennettu yli 2 000 kappaletta. Tällä hetkellä kysyntä, lähinnä demonstraatiotarkoituksiin, ylittää selvästi tuotantokapasiteetin. Useat markkinaennusteet povaavat laitteille suurta kysyntää jo lähivuosina, mikäli hinta ja teknologian taso saadaan vaadittavalle tasolle.

Julkisessa liikenteessä testataan jo polttokennobusseja useassa maassa, mm. Ruotsissa. Henkilöautojen määrän ennustetaan kasvavan voimakkaasti. Vaikka monet suhtautuvat asiaan epäilleen, puolustajat sanovat, että autonvalmistajille markkinoille tulo on välttämätöntä, jotta kehitysrahat saataisiin takaisin.

Kaikki suuret autonvalmistajat ovat jo kehittäneet polttokennoautojen prototyyppejä. Ne ovat jo nyt kiihtyvyydeltään, ajomukavuudeltaan ja äänettömyydeltään nykyisten polttomoottoriautojen tasoa, tai joiltain ominaisuuksiltaan parempia. Polttokenno mahdollistaa auton täydellisen elektronisoitumisen, mikä poistaa suuren osan mekaanisista osista. Siksi uuden sukupolven, tällä hetkellä piirustuslaudalla olevat mallit, ovat nykyisiä polttomoottoriautoja huomattavasti kevyempiä ja tilavampia.

Vety- ja polttokennoteknologian menestymisen esteenä on vielä suuri joukko teknistaloudellisia ongelmia, jotka kaipaavat ratkaisua. Monessa maassa on kuitenkin voimakas poliittinen sitoutuminen asiaan, koska teknologian nähdään olevan keskeisessä asemassa ratkaistaessa tulevaisuuden energiaongelmia, joita ovat mm. liiallinen riippuvuus maakaasusta ja öljystä sekä kasvihuoneilmiö. Samalla tajutaan, että ainakin vuoteen 2015 saakka valtiovalta joutuu kantamaan taloudellisen vastuun teknologian ja infrastruktuurin kehityksestä, tietysti yhteistyössä yritysten kanssa. Tästä syystä kaikki kehittyneet valtiot ovat valmiita sijoittamaan julkista rahaa teknologian kehittämiseen.

Pohjois-Amerikassa ja Japanissa valtiovalta sijoittaa suuria summia vetyteknologian ja polttokennojen kehitystyöhön. Ilmoitetut rahamäärät vaihtelevat aika paljon

riippuen lähteestä. Suunnitelmat ja toteumat voivat erota toistaan aika paljon. USA:ssa julkista rahoitusta jakavat useat eri ministeriöt. Tärkeimmät rahoittajat ovat Department of energy (DOE), jolla on kaksi ohjelmaa sekä Department of defence (DOD) ja NASA. Ensimmäinen ohjelma, ”Hydrogen and fuel cells” käsittää vedyn kokonaisuudessaan ja PEM-polttokennot. Toinen, ”Solid state alliance” käsittää SOFC-polttokennot sekä hiilen kaasutuksen. DOD tukee erilaisia demonstraatiohankkeita, joissa osoitetaan polttokennoteknologian käytettävyys erilaisissa sovelluksissa. Yhteinen rahoitus lienee noin 200 - 250 miljoonaa dollaria vuonna 2004. Tarkkaa summaa on vaikea selvittää, koska rahoittavia organisaatioita on monta.

Japanissa polttokenno-ohjelmia hoitaa Teollisuusministeriön (METI) alainen NEDO. Se vetää erittäin pitkäjännitteistä tukiohjelmaa, jossa on tuettu kaikkia eri polttokennotekniikoita vuorotellen. Vuonna 2004 jaettava rahamäärä on noin 300 miljoonaa dollaria. Varsinaisen polttokennotutkimuksen ohessa tutkitaan myös polttokennojen polttoaineita. Muun muassa hiilen kaasutus kiinnostaa.

Euroopassa kuudes puiteohjelma on jo lisännyt vety- ja polttokennoteknologian rahoitusta. Kuudennessa puiteohjelmassa tämä jo näkyy vety- ja polttokennoteknologiaan liittyvien projektien kasvaneena rahoituksena. Parhaillaan ollaan luomassa eurooppalaista yhteistyötä tämän toteuttamiseksi. Yhteistyö organisoidaan siten, että perustetaan ”EU Technology Platform for Hydrogen and Fuel Cells (ERA)” (H2FC technology platform). H2FC:n organisointi on parhaillaan käynnissä. Ensimmäinen general assembly -kokous oli Brysselissä tammikuussa 2004.

Varsinaista rahoituksen kasvua odotetaan kuitenkin seuraavassa vaiheessa, kun kehittyneillä oleva ”Hydrogen and fuel cells technology platform” pääsee vauhtiin, viimeistään seitsemännen puiteohjelman puitteissa. Puhutaan erittäin suurista summista tulevina vuosina. Nämä tulevat kuitenkin edellyttämään voimakasta kädenväntöä, koska kilpailu tulee tapahtumaan eri tutkimusaiheiden välillä. Euroopassa monet maat, kuten Saksa, Ranska, Hollanti, Tanska ja Italia sijoittavat jo kohutuullisen suuria summia vety- ja etenkin polttokennotutkimukseen. Saksan rahoitus on noin 70 miljoonaa euroa vuonna 2004. Saksa onkin omaa luokkaansa Euroopassa. Siellä on jo toista sataa demonstraatiolaitosta yhden kilowatin talokohtaisista sovelluksista aina 250 kW:n laitoksiin saakka. Valtio tukee polttokennosähköä viidellä sentillä kilowattituntia kohti.

Myös Suomessa Tekes on ottanut vastuunsa polttokennohankkeiden rahoittajana. Rahoitus on kasvanut nopeasti viime vuosina siten, että Tekesin rahoittamien polttokennoprojektien volyymi oli yhteensä 4,5 miljoonaa euroa vuonna 2003. Tekesin osuus rahoituksesta oli noin puolet. Myös yritykset ovat lähteneet liikkeelle. Wärtsilä Corporation Oy on aktiviteetiltään merkittävin. Tavoitteena on aloittaa polttokennovoimallaitoksen valmistus ja myynti tämän vuosikymmenen loppuun mennessä. Hydro-

cell Oy ja Enfucell Oy kehittävät pieniä kannettavia polttokennoja. Labgas Oy valmistaa elektrolyysereitä vedyn valmistukseen. Sandvik Tamrock Oy, Patria Vehicles Oy, Kalmar Industries Oy ja Valtra selvittävät valmistamiensa koneiden polttokennoon perustuvaa sähköistämistä. Vertego Oy kehittää inverttereitä polttokennokäyttöön.

Korkeakoulut, yliopistot ja VTT tekevät polttokennoihin liittyvää tutkimustyötä, jota Tekes tukee rahallisesti. Wärtsilän polttokennovoimalaitoskehityksen tukena on VTT:ssa laaja FINSOFC-hanke, jossa kehitetään kiinteäoksidipolttokenno-teknoologiaan (SOFC) perustuvia voimalaitosratkaisuja. TKK, VTT ja ÅA kehittävät yhteistyössä polymeerimembraani- (PEFC) ja alkali- (AFC) polttokennoteknologiaa. TKK ja VTT kehittävät yhdessä kertakäyttöistä mikropolttokennoa. VTT ja Wärtsilä osallistuvat aktiivisesti Eurooppalaiseen ja kansainväliseen yhteistyöhön. Näitä ovat EU:n polttokennoverkostot SOFCNet ja FCtestnet sekä tämän vuoden alussa alkava EU:n 6:n puiteohjelman ”Integrated Project” Real-SOFC. VTT osallistuu kansainvälisen energiajärjestön, IEA:n Advanced Fuels Cells -työryhmän toimintaan. Lisäksi VTT on aloittamassa EU-yhteistyön puitteissa hankkeita, joissa kehitetään vedyn valmistusta biomassasta ja fossiilisista polttoaineista.

Suomen kehityksen kannalta olisi tärkeää saada mukaan teollisuutta mahdollisimman laajasti. EU:n rakentaessa organisaatiotaan ja rahoitustaan vety- ja polttokennoteknologian kehittämiseksi on myös tärkeää, että Suomi kehittää kansallista tutkimustoimintaansa, jotta se voisi osallistua aktiivisesti EU:n H2FC-tekнологia -platformin toimintaan.

2.7 Vetytalouden ja polttokennojen merkitys kasvihuonekaasujen päästöille

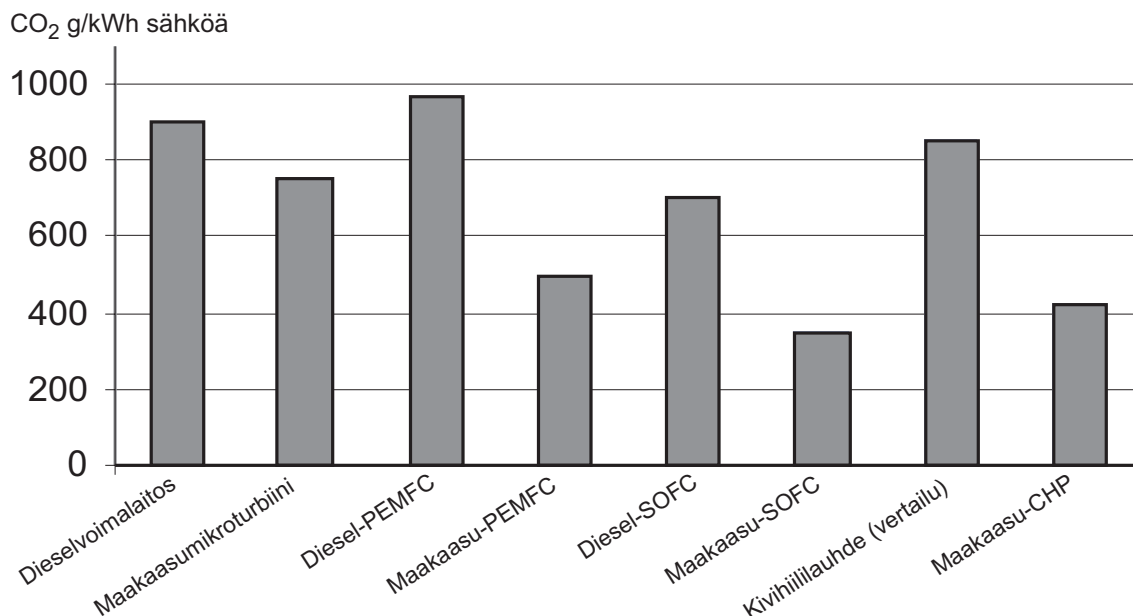
Oheisessa tarkastelussa ei huomioida kustannuskysymyksiä lainkaan. Tämä johtuu kahdesta syystä. Kyseessä on niin pitkä ajanjakso, ettei sitä teknologiaa, jolla vetytalous mahdollisesti toteutetaan, luultavasti ole vielä olemassa. Eri teknologioiden, kuten polttokennojen hintakehitys on vielä tuntematon. On olemassa joukko tavoitteita, jotka kuitenkin eivät perustu teknologian kehitysnäkymiin, vaan markkinoiden vaatimukseen. Seuraavassa tarkastellaan vain hiilidioksidipäästöjä.

On täysin mahdotonta ennustaa, missä muodossa ja missä määrin vetytalous toteutuu, ja toteutuuko lainkaan. Siksi on mahdotonta tässä vaiheessa antaa määrällisiä lukuja. Seuraavassa on vain tarkoitus esittää, mitä potentiaalisia mekanismeja kasvihuonekaasujen päästöjen määrään vaikuttamiseksi vety- ja polttokennoteknologia antavat. Jo aikataulu on pitkä, puhutaan kymmenien vuosien kehitysjaksoista, kuten kuvassa 2 esitetystä alustavasta roadmapista näkee.

Kehitys alkaa heti, mutta merkittävä asema on saavutettu vasta vuoden 2040 paikkeilla. Mutta mitä vetytalous oikein tarkoittaa? Sähkö tulee kuitenkin aina olemaan pääasiallinen energian kantaja ja sen merkitys tulee vain kasvamaan. Nyt on vaikea kuvitella, että sähköä tehtäisiin vedystä. Siinä kierrossa hukkuisi energiaa. Siten on johdonmukaisen tuntuista, että sähköntuotannossa korkealämpötilapolttokennot, SOFC ja MCFC, käyttävät tulevaisuudessakin metaania polttoaineena. Tämä metaani voi olla peräisin maakaasusta, hiilen reformoinnista, biomassan kaasutuksesta tai anaerobisesta käymisestä. Mikäli PEM-polttokennot kehittyvät hinnaltaan niin edullisiksi, että niitä kannattaa matalammasta hyötysuhteestaan huolimatta käyttää sähköntuotantoon, tilanne voi muuttua. Silloin esimerkiksi biomassasta tehtyä vetyä voi hyödyntää myös sähkön tuotantoon. Joka tapauksessa polttokennojen asema sähköntuotannossa kasvaa merkittäväksi vasta vuonna 2040 ja sen jälkeen.

Liikenteessä vedylle voi olla käyttöä polttokennoautoissa. Monet uskovat, että tulevaisuuden polttokennoautot käyttävät metanolia, bensiiniä tai dieseliä polttoaineena johtuen vedyn varastoinnin ongelmista. Silloin ei kuitenkaan saada etua hiilidioksidipäästöissä. Ja on tietenkin mahdollista, että tulevaisuuden autot onkin varustettu dieselmoottorilla. Luultavaa on kuitenkin, että liikenteessä on monenlaisia autoja. Eurooppalaisten ennusteiden mukaan polttokennoautojen osuus on 1 - 5 % vuonna 2020 ja kasvaa siitä voimakkaasti ollen hallitsevassa asemassa vuonna 2040, joten kovin nopeasti muutos ei tapahdu. Ellei Suomessa saada muu-
tosta valtion verotuskäytäntöön, polttokennoautot valtaavat asemia huomattavasti hitaammin kuin muualla Euroopassa. Tämä johtuu siitä, että verotuksen takia alkuvaiheen autot tulevat olemaan hyvin kalliita Suomessa.

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, polttokennot ovat periaatteessa hyvin ympäristöystävällisiä, ja niiden aiheuttamat hiukkas- ja haitalliset oksidipäästöt ovat erittäin alhaiset. Sitä vastoin polttokennojen hiilidioksidipäästöt riippuvat käytetystä polttoaineesta, aivan kuten muidenkin energiantuotantomenetelmien päästöt. Kun, tai jos, polttokennot joskus käyttävät polttoaineena puhdasta hiilidioksidivapaasti valmistettua vetyä, ne tietenkin ovat hiilidioksidinkin suhteen puhtaat. Samoin, jos biomassasta valmistettu polttoaine lasketaan hiilidioksidineutraaliksi, myös polttokennolla tuotettu sähkö on sitä. Tällöin polttokennojen potentiaali vähentää hiilidioksidipäästöjä voi olla merkittävä. On kuitenkin otettava huomioon, että myös muut biomassan suoran hyödyntämisen teknologiat kehittyvät.



Kuva 3. Eri voimalaitostyyppien ominaishiilidioksidipäästöt. Tiedot perustuvat *Fuel Cell Market Prospects and Intervention Strategies*, (ICCEPT), (UNEP), January 2002 raporttiin ja Helsingin Energialta saatuihin tietoihin.

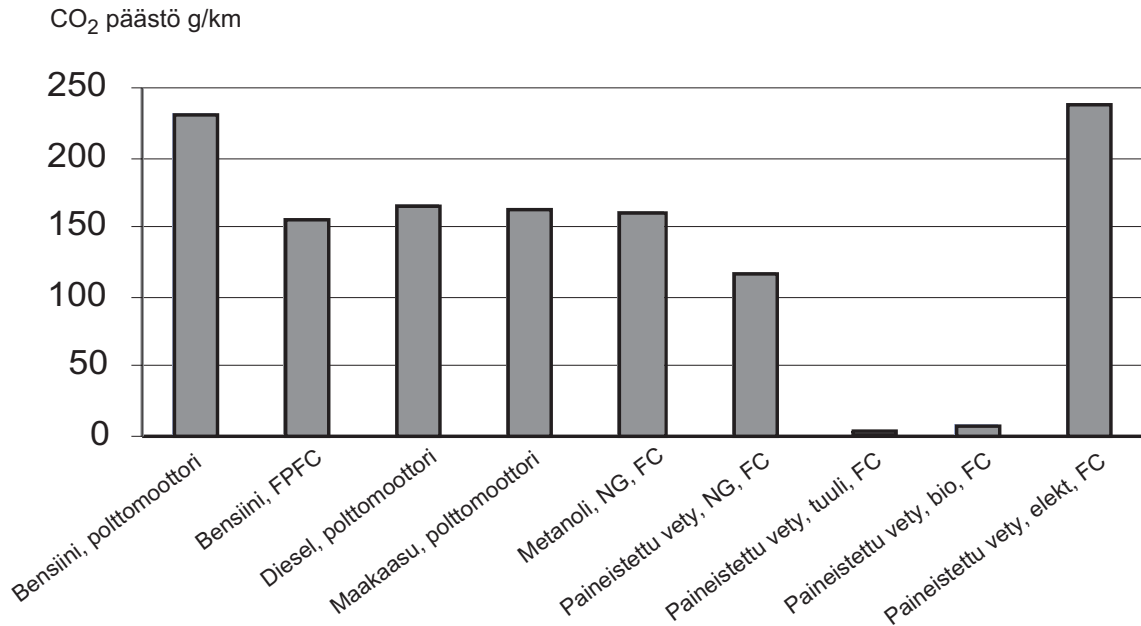
Käytännössä polttokennot tulevat vielä monta vuotta hyödyntämään fossiilisia polttoaineita. Tässä tapauksessa niiden potentiaali vähentää hiilidioksidipäästöjä on suhteessa niiden hyötysuhteeseen. Kuvassa 3 on verrattu eri voimalaitostyyppien ominaishiilidioksidipäästöjä toisiinsa. Mukana on sekä tyypillisiä hajautetun sähköntuotannon laitoksia että keskitettyjä CHP-laitoksia. Tässä on vertailtu vain sähköntuotannon päästöjä. Vertailu on suuruusluokaltaan oikea, koska kaikkien laitojen käyttö yhdistettyyn tuotantoon on mahdollista, ja niiden kokonaishyötysuhteet ovat välillä 80 - 90 %. Rakennusaste kyllä vaihtelee, mutta useimmissa maissa sähkön arvo on suurempi kuin lämmön. Tämän mukaan suuri maakaasua polttava laitos ja maakaasua käyttävä SOFC-voimalaitos ovat päästöjen suhteen vertailukelpoisia. Kumpi on parempi, riippuu siitä miten SOFC:n investointikustannukset kehittyvät tulevina vuosina, ja halutaanko rakentaa pienimuotoista hajautettua tuotantoa. Verrattuna tämän hetkiseen sähköntuotantoon polttokennoteknologialla on ilman muuta suuri potentiaali vähentää hiilidioksidipäästöjä. Kannattaa vielä huomioda, että jos opitaan joskus rakentamaan SOFC-hybridilaitoksia, ominaishiilidioksidipäästö vähenee vielä alle tason 300 g/kWh. Muut vaihtoehdot ovat selvästi huonompia.

Lisäksi voidaan mainita eräs SOFC:n ominaisuus. Sen anodipäästökaasu on puhdas vesi ja hiilidioksidin seos. Kondensoimalla vesi saadaan puhtaasta hiilidioksidia, jonka nesteyttäminen ei kuluta paljoa energiaa. Siten hiilidioksidin talteenotto voidaan tehdä kohtuullisin kustannuksin, jos niin päätetään.

Sähköntuotannon rinnalla toinen suuri hiilidioksidin lähde on liikenne. Onko vedyllä yhdistettynä polttokennoihin potentiaali vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä? Tätä on tutkittu paljon viime aikoina, ja tutkimuksista löytyy tietoa alla olevista kirjallisuusviitteistä. Hiilidioksidineutraalisti tehty vety ei aiheuta päästöjä. Polttokennoauton hyötysuhde vetykäytössä on parempi kuin polttomoottorin, joten polttokennoauto on energiataloudellisesti parempi, vaikka kumpikaan ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä. Käytännössä tullaan kuitenkin pitkän aikaa käyttämään hiilivetyperusteisia polttoaineita. Johtuen aikaisemmin kuvatuista vedyn varastointi- ja jakeluongelmista vaihtoehtona on vetykäytön lisäksi nestemäisen polttoaineen käyttö. Vedyn valmistus, jakelu ja varastointi kuluttavat energiaa ja huonontavat siten kilpailuasemaa verrattuna polttomoottoriin. Tätä yritetään kompensoida sillä, että polttokennokäyttö on parempi hyötysuhteeltaan. Mutta kannattaako näistä syistä kuljettaa nestemäistä polttoainetta ja reformoida autossa. Ainakaan hiilidioksidin talteenotto ei onnistu autossa. Näistä syntyy sitten monta erilaista vaihtoehtoa. Energian käytön ja hiilidioksidipäästöjen analyysit tehdään siksi kokonaisvaltaisesti, analysoidaan koko polttoaineketju alkulähteiltä aina käyttöön saakka. Tätä kutsutaan englannin kielellä Well-to-wheel -analyysiksi. Seuraavassa esitetään lyhyesti analyysin tuloksia.

Seuraava esimerkki on otettu GM European Well-to-Wheel Study (2002) raportista. Energian käytön kannalta (sisältää myös itse polttoaineen sisältämän energian) bensiini ja diesel sekä maakaasu saadaan tankattua selvästi edullisemmin kuin vety, riippumatta siitä, miten vety on valmistettu, jaeltu ja varastoitu. Siten bensiinin ja dieselin sekä maakaasun saaminen auton tankkiin ei vielä tuota paljokaan hiilidioksidipäästöjä. Sitä vastoin monet vedyn valmistusteknologiat aiheuttavat päästöjä. Tässä on siis huomioitu koko polku, esimerkiksi elektrolyysissä huomiodaan sähkön tuotantoon kulunut energia ja hiilidioksidipäästöt.

Auton käytössä energiantarve on suurimmillaan bensiini-, maakaasu- ja dieselkäyttöisissä polttomoottoreissa, alenevasti tässä järjestyksessä. Raportissa määritellyissä ajo-olosuhteissa bensiinihybridien kulutus on 15 - 25 % pienempi teknii-kasta riippuen. Ajon aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat kaikissa muissa vaihtoehtoissa välillä 100 - 180 g/km, paitsi vetykäyttöisissä autoissa, joissa se on nolla. Esimerkiksi etanolia käyttävän reformerilla varustetun polttokennoauton päästö on 110 g/km. Koko polttoaineketjun analyysi osoittaa, että dieselpolttomoottorilla varustetun ja polttokennoauton energian kulutus ovat samaa suuruusluokkaa. Sitä vastoin hiilidioksidipäästöissä on selvä ero. Esimerkki näistä tuloksista on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Eri ajoneuvojen ominaishiilidioksidipäästöt koko polttoaineketju huomioiden. FC= polttokenno, FP= polttoaineen prosessori, NG= tehty maakaasusta, bio= tehty biomassasta, elekt= elektrolysoitu EU:n keskimääräistä sähköseosta hyväksikäyttäen.

Tästä huomaa myös sen, ettei bensiinin tai metanolin tankkaus ja käyttö autossa vähenä hiilidioksidipäästöjä verrattuna dieselmoottorilla varustettuun autoon. Maakaasusta tehty vety autoon tankattuna vähentää päästöjä muutama kymmenen prosenttia verrattuna dieselpolttomoottoriin. Tämän eron dieseltknologian kehitys saattaa kuroa umpeen nopeasti, mikäli se katsotaan tärkeäksi suhteessa suorituskykyyn, jota nyt painotetaan. Yhteenvetona tästä voidaan sanoa, että varsinainen hyöty hiilidioksidipäästöjen kannalta polttokennoista saadaan vasta kun käytetään hiilidioksidineutraalia vetyä. Polttokennojen mahdollistamalla täysisähköisellä autolla saattaa olla muita etuja, mutta ne eivät kuulu tähän yhteyteen.

2.8 Lähdeviitteet ja lisätietoja

Bossel, U., Eliasson, B. & Taylor, G. 2003. Final Report, The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak? United Kingdom, 15 April 2003.

Choudhury, R. et al. 2002. GM Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study, L-B Systemtechnik GmbH, 27 September 2002, Germany.

EC 2003. Market development of Alternative fuels, Report of the European Commission Alternative Fuels Contact Group, December 2003.

Hottinen, T. 2001. Technical Review and Economic Aspects of Hydrogen Storage Technologies, Master's thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology, Espoo, 22.10.2001. (Climtech-raportti).

Huber, A. & Altmann, M. 1999. Hydrogen Production Costs for Fuel Cell Vehicle Applications, International Energy Agency Implementing Agreement 026, Fuel Cell Systems for Transportation, Annex X, Final Report 1997 - 1999, December 1999.

Kara et al. 2001. Energy Visions 2030 for Finland, VTT Energy, Edita, Helsinki. 226 s. + liitt.

Kara et al. 1999. Energia Suomessa, Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset, VTT Energia, Edita, Helsinki. 324 s. + liitt.

Mäki-Petäys, K. 2001. Kirjallisuustutkimus vetyenergiateknologian mahdollisuuksista hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen Fysiikan ja Matematiikan Osasto, DI-Työ, Espoo 2001. (Tekesin Climtech-ohjelman raportti).

Tuhkanen, S., Koljonen, T., Marjaniemi, M., Ohlström, M. & Poteri, A. 2001. Vetytalous ja sen soveltuvuus Suomeen, VTT Energian raportteja 6/2001, Helmikuu 2001.

UNEP 2002. Fuel Cell Market Prospects and Intervention Strategies, Final Report, Imperial College Centre for Energy Policy and Technology, (ICCEPT), United Nations Environment Programme (UNEP), January 2002.

Internet:

<http://www.hyweb.de/gazette-e/>

<http://www.fuelcelltoday.com/index/>

<http://www.fuelcells.org/>

<http://www.hynet.info/>

http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt_hlg1_en.html

<http://forum.europa.eu.int/Public/irc/rtd/eurhydrofuelcellplat/library?l=/public-sarea/generalsassembly/1stsgeneralsassemblysjan&vm=detailed&sb=Title>

<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/>

http://energy.gov/engine/content.do?BT_CODE=ES_HYDROGEN

<http://www.seca.doe.gov/>

http://forum.europa.eu.int/irc/Download/k4euALJHmlG6tmOvUj4vPPk1rUwFOUv7/yhKqHjHIR0mSIUoc9SZIXXRi_6Be76f3/gDYWJ2Z0ur9WQxQp2fo5g9YbHSZICx2Z/Lxrf6UbTyA4xHLqxwNW2z6vS2p3hImu/UCqtp9ppb4pq6Hc/HyNet_HTP_Launch_Conference_21_01-04.pdf

3 Biopolttonesteet ja biokaasu

Kiinteistä biomassaraaka-aineista voidaan jalostaa nestemäisiä tuotteita lukuisin tavoin sekä sähkön ja lämmön tuotantoon että liikenteen polttoaineiksi. Jalostus mahdollistaa biopolttoaineiden käytön kohteissa, joissa kiinteitä polttoaineita ei voida teknisistä syistä käyttää, luoden näin uusia markkinoita biopolttoaineille. Raaka-aineina voidaan käyttää perinteisiä viljelykasveja, puubiomassaa ja jätete-räisiä polttoaineita.

Tutkimus- ja kehitystoiminnan sekä biopolttonesteiden käyttöönoton ajavana voi-mana on ollut mm. halu vähentää öljyriippuvuutta ja parantaa näin energiaomava-raisuutta ja huoltovarmuutta. Biopolttonesteet nähdään yhtenä keinona rajoittaa lii-kenteen hiilidioksidipäästöjä, ajoneuvojen polttoainekulutuksen pienentämisen ja muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden rinnalla. Muita vaihtoehtoisia polttoaineita ovat maakaasu ja tulevaisuudessa mahdollisesti vety. Lisäksi biopolttonesteiden käyttöönotto on monissa maissa ollut maatalouspoliittinen kysymys.

EU:n direktiivi [2003/30/EC] liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polt-toaineiden käytön edistämisestä asettaa ohjeelliset tavoitteet biopolttoaineiden hyödyn-tämiselle ajoneuvojen polttoaineena. Tavoitteena on saavuttaa vuonna 2005 biopoltto-aineilla 2 %:n osuus liikenteen polttoaineista (laskettuna energiasisällön perusteella) ja vuonna 2010 5,75 %:n osuus. Nykykulutuksella laskettuna nämä tavoitteet vastaisi-ivat Suomessa 2,9 PJ:n (0,07 Mtoe) määrää vuonna 2005 ja 8,8 PJ:n (0,21 Mtoe) vuon-na 2010. EU:n komission vihreässä kirjassa ”Energiahuoltostrategia Euroopalle” [COM(2000)769] on esitetty vastaavat tavoitteet muille vaihtoehtoisille polttoaineil-le: maakaasulle ja vedylle. Tavoitteena on, että 20 % tavanomaisista polttoaineista kor-vataan vaihtoehtoisilla polttoaineilla vuoteen 2020 mennessä.

Liikenteen biopolttoainedirektiivissä esitetyistä kansallisista tavoitteista poikkea-minen on perusteltava. Poikkeaminen voi perustua seuraaviin tekijöihin:

- objektiiviset tekijät, kuten rajalliset kansalliset voimavarat tuottaa liikenteen biopolttoaineita
- niiden kansallisten voimavarojen määrä, jotka on osoitettu biomassan tuotantoon energian tuottamiseksi muuta kuin liikennettä varten, sekä liikenteessä käytettävien polttoaineiden kansallisten markkinoiden tekniset ja ilmastolliset erityispiirteet
- kansalliset politiikat, joilla osoitetaan vertailukelpoiset voimavarat muiden, uusiutuviin energialähteisiin perustuvien liikennepolttoaineiden tuotantoon ja joilla pyritään samoihin päämääriin kuin tällä direktiivillä.

Biopolttonesteiden tuotantokustannukset ovat yleensä korkeammat kuin kilpailevien kaupallisten fossiilipolttoaineiden. Tuotanto ja käyttö onkin nykyisin kilpailukykyistä vain erityisolosuhteissa ja edellytyksenä ovat yleensä olleet yhteiskunnan tukitoimenpiteet esimerkiksi verohuojennusten muodossa. Kilpailukykyä on kuitenkin mahdollista parantaa mm. etsimällä parhaita sovelluskohteita, integroimalla biopolttonesteiden tuotanto esimerkiksi teollisuus- tai voimalaitokseen tai hyödyntämällä jäteperäisiä raaka-aineita.

Orgaanisesta materiaalista, esim. jätevesilietteistä tai biojätteistä, voidaan anaerobikäsittelyssä tuottaa ns. biokaasua, joka koostuu lähinnä metaanista ja hiilidioksidista. Kaatopaikoilla muodostuu vastaavaa kaasua, ns. kaatopaikkakaasua. Bio- ja kaatopaikkakaasua voidaan teknisesti hyödyntää kaikissa maakaasulle suunnitelluissa sovelluksissa sähkön ja lämmön tuotannossa sekä liikenteen polttoaineena kunkin sovelluksen edellyttämän esikäsittelyn jälkeen. Biokaasulla voidaan paikoin korvata myös teollisuuden nestekaasun tarvetta.

Seuraavissa luvuissa esitetään yhteenveto biopolttonesteiden ja biokaasun teknologisista mahdollisuuksista rajoittaa kasvihuonekaasujen päästöjä Suomessa vuoteen 2010 ja 2020 mennessä. Esityksessä keskitytään erityisesti teknologioiden kehitysnäkymiin sekä potentiaaleihin ja kustannuksiin Suomen päästöjen rajoittamisessa. Lämmön ja sähkön tuotannon biopolttonesteet on esitetty luvussa 3.1, liikenteen biopolttonesteet luvussa 3.2 ja biokaasut näissä käyttökohteissa luvussa 3.3. Yhteenveto on esitetty luvussa 3.4.

3.1 Lämmön ja sähkön tuotannon biopolttonesteet

3.1.1 Tuotantoteknologiat ja käyttö

Biomassasta voidaan valmistaa biopolttonesteitä käytettäväksi sähkön, lämmön tai yhdistettyyn lämmön ja sähkön (CHP) tuotantoon esim. öljykattiloissa ja dieselvoimaloissa.

Biomassasta voidaan valmistaa bioöljyä ns. pyrolyysitekniikalla (Helynen ym. 2002, Solantausta ym. 1997). Pyrolyysissä biomassa kuumennetaan hapettomassa tilassa, jolloin syntyy kaasuja, nestemäinen tuote ja kiinteä hiiltojäännös. Nestejakeen määrä voidaan maksimoida nopealla pyrolyysillä. Nopeassa pyrolyysissä jauhettu biomassa kuumennetaan nopeasti noin 500 °C:n lämpötilaan. Viipymäaika reaktorissa on lyhyt, puolesta sekunnista muutamaan sekuntiin. Tämän jälkeen prosessissa kiintoaines erotetaan sykloneilla ja tuotekaasu lauhdutetaan nopeasti nesteeksi. Parhaimmillaan kuivasta biomassasta voidaan saada 70 - 75 paino-% nestetuotetta.

Pyrolyysiprosesseja on kehitetty lähinnä Kanadassa, Yhdysvalloissa ja Euroopassa. Suomessa Fortum ja Vapo rakensivat koetuotantolaitoksen, jonka kapasiteetti on noin 350 kg pyrolyysiöljyä tunnissa. Koetuotantolaitoksessa valmistettiin puuraaka-aineista hyvälaatuista bioöljyä, jota voidaan käyttää lämmityksessä kevyen ja raskaan polttoöljyn sijaan. Tuotettua bioöljyä käytettiin onnistuneesti kevytöljykattilassa (200 - 1 000 kW). Päästöt saatiin pudotettua yhtä vähäisiksi kuin hyväkuntoisessa öljykattilassa. Tuotteen, Forestera-polttonesteen, markkinoille tuloa on kuitenkin siirretty taloudellisin perustein. (Fortum & Vapo 2003)

Pyrolyysitekniikalla tuotettua bioöljyä on testattu myös dieselmoottorin, kaasuturbiinin ja Stirling-koneen polttoaineena (Czernik 2004). Bioöljylle voi avautua uudet markkinat fossiilisten polttoöljyjen korvaajana moottorivoimalaitoksissa. Yhteispolton vaatimat investointikustannukset olisivat pienemmät kuin uuden biovoimalaitoksen. Tutkimus- ja kehitystyö bioöljyn kehittämiseksi tasalaatuiseksi ja standardoiduksi polttoaineeksi jatkuu niin Pohjois-Amerikassa kuin Euroopassa.

Sulfaattiselutehtaiden sivutuotteista, joista merkittävimmät ovat sellunkeiton jäte-liemi eli mustalipeä sekä raakasuopa ja mäntyöljy, voidaan valmistaa monenlaisia polttonesteitä lähinnä korvaamaan raskasta ja kevyttä polttoöljyä (Helynen ym. 2002, Solantausta ym. 1997). Näitä polttonesteitä ei valmisteta kaupallisesti. Sulfaattiseluprosessissa muodostuu sivutuotteena myös metanolia, joka mahdollisesti voitaisiin puhdistaa polttonesteinä hyödynnettäväksi.

Vaihtoehtoisia prosesseja, joissa mustalipeästä valmistetaan polttokaasuja tai -nestettä, on tutkittu sekä Suomessa että muualla. Vaihtoehtoisista prosesseista kaasutus ja kaasun hyödyntäminen sähkön ja lämmön tuotannossa on osoittautunut kilpailukykyisimmäksi. Tällä hetkellä erityisesti Ruotsissa tarkastellaan mahdollisuuksia valmistaa mustalipeästä synteetikaasua liikenteen biopolttonesteiden tuotantoon.

Mäntyöljy, joka on peräisin puun tuoteaineista, eristetään sulfaattikeitossa muodostuvasta raakasuovasta hapottamalla (palstoitus). Raakasuopa erottuu mustalipeästä mustalipeähaihduttamon välilipeäsäiliössä. Raakamäntyöljystä voidaan tislamalla eristää edelleen rasva- ja hartsihappofraktioita. Lisäksi saadaan ns. esiöljyä ja mäntypikeä. Nykyään ainoa palstoituksen kaupallinen vaihtoehto on raakasuovan poltto soodakattilassa.

Mäntyöljypohjaisia tuotteita voidaan käyttää nestemäisinä polttoaineina tai jalostaa sellaisiksi. Tärkeimmät vaihtoehdot ovat suora käyttö polttonesteinä tai mäntyrasvahapon jalostus esteriksi ja esterin käyttö hyvälaatuisena dieselpolttoöljynä. Taloudellisista syistä johtuen suora käyttö polttonesteinä koskee lähinnä vain raakamäntyöljyä, ja enemmän sekaöljyä kuin hyvälaatuista mäntyöljyä, sekä esiöljyä ja mäntypikeä.

Laboratoriossa tehdyissä nestefaasikokeissa raakasuovasta on saatu hyvänlaatuisen tuote pelkällä termisellä käsittelyllä. Kyseisellä käsittelyllä on saatu kevyt hiilivetytypitoinen polttoneste, jonka polttoaineominaisuudet ovat paremmat kuin raakamäntyöljyn vastaavat ominaisuudet. Prosessia sovellettaisiin lähinnä sellaiseen sekasuopaan, josta ei voida valmistaa hyvälaatuisia raakamäntyöljyä. Prosessin kehittäminen kaupalliselle asteelle vaatisi kuitenkin vielä paljon kehitystyötä. Toinen kiinnostava menetelmä polttonesteiden valmistamiseksi suoraan raakasuovasta on nopea pyrolyysi.

Mäntyöljypohjaisten tuotteiden käyttö raskaan polttoöljyn korvikkeena on tunnettua tekniikkaa. Niiden suorasta käytöstä dieselvoimalan polttoaineena on sen sijaan hyvin rajoitetusti tietoa. Mäntyrasvahappoesteriä voidaan käyttää konventionaalisessa dieselmoottorissa.

Lisäksi on ollut esillä kevyttä polttoöljyä vastaavan tuotteen valmistaminen rypsiöljystä. Tuote edellyttää raakarypsiöljyn lievää käsittelyä (puhdistus). Tätä ns. rypsi-POK:ia on ehdotettu kevyttä polttoöljyä korvaavaksi kattilapolttoaineeksi seos-
suhteilla 5 - 30 %. Perinteisistä viljelykasveista jalostetuista polttonesteistä rypsi-
polttoöljy olisi kilpailukykyisin (Solantausta ym 1997).

Erilaisia kasviöljyjä ja eläinrasvoja on mahdollista käyttää voimalaitosmoottoreiden polttoaineena. Erityisesti eläinrasvojen hyödyntäminen vaatii kuitenkin vielä moottorikehitystä. Pitkällä aikajänteellä kehitystyön kohteena on lisäksi pienen kokoluokan CHP-tuotanto polttokennoilla käyttäen polttoaineena alkoholeja tai vetyä.

3.1.2 Kustannukset ja potentiaali

Metsätähdepohjaisen pyrolyysiöljyn valmistuskustannuksiksi on arvioitu 6,4 €/GJ (23 €/MWh) erillistuotantolaitoksessa ja teollisuuden CHP-tuotantoon integroituna 5 €/GJ (18 €/MWh), jos raaka-aineen hinta on 2,3 €/GJ (8,2 €/MWh). Kustannusarvio perustuu 50 MW:n tuotantokapasiteettiin (McKeough & Solantausta 2003).

VTT on arvioinut, että rakennusten lämmityksessä voitaisiin pyrolyysiöljyllä korvata fossiilisia polttoaineita 8,4 PJ/a (0,2 Mtoe/a) vuonna 2010 (Helynen ym. 2002). Arvio sekä uusiutuvien edistämishjelman tavoite vuoteen 2010 on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Bioenergialla korvattava fossiilinen polttoaine rakennusten lämmityksessä (Helynen ym. 2002)

	Käytön lisäys v. 2010 (vertailuvuosi 1999)	Käytettävät biopolttoaineet
Maksimivaihtoehto	33,5 PJ (0,8 Mtoe), korvataan pääosin kevyttä polttoöljyä	16,8 PJ (0,4 Mtoe) haketta ja pilkettä 8,4 PJ (0,2 Mtoe) puupellettejä 8,4 PJ (0,2 Mtoe) pyrolyysiöljyä
Uusiutuvien edistämishjelma	21 PJ (0,5 Mtoe)	Ei eritelty
Uusiutuvien edistämishjelman päivitysehdotus	23 PJ (0,55 Mtoe) (vuoteen 2001 verrattuna)	Ei eritelty

Fortum on arvioinut, että Suomen kevyen polttoöljyn 90 PJ:n (25 TWh, 2,15 Mtoe) kokonaismarkkinoista potentiaali bioöljylle olisi 25 PJ (7 TWh, 0,6 Mtoe). Tästä olisi mahdollista saavuttaa noin 11 PJ (3 TWh, 0,26 Mtoe) vuoteen 2010 mennessä. (Electrowatt-Ekono 2003).

Jos koko potentiaalilla, 25 PJ, korvattaisiin kevyttä polttoöljyä (73,4 g CO₂/MJ), saavutettaisiin noin 1,8 Mt CO₂:n vuosittainen päästövähennys.

Sellutehtaiden raakasuovasta (sekasuopa) on arvioitu voitavan valmistaa polttoöljyä 3,8 €/GJ:n (13,5 €/MWh) kustannuksin (Solantausta ym. 1997). Potentiaali on kuitenkin rajallinen. Viidellä sellutehtaalla voitaisiin tuottaa suopapohjaista polttoöljyä yhteensä 1,9 PJ (45 ktoe/a), kokonaispotentiaali Suomessa olisi tuotanto kymmenellä sellutehtaalla (Solantausta ym. 1997). Toisaalta suopaa, jossa on suuri männyn osuus, käytettäneen jatkossakin mäntyöljyn valmistukseen ja jalostukseen. Suomessa käynnistyi vuoden 2002 lopulla maailman suurin mäntyöljytislaamo Raumalla (Forchem Oy).

3.2 Liikenteen biopolttonesteet

3.2.1 Tuotantoteknologiat

Bioraaka-aineista voidaan valmistaa useita eri liikennepolttoaineita, joista tavallisimmat vaihtoehdot ovat:

- biodiesel (FAME, kasviöljyjen esterit)
- alkoholit (etanoli, metanoli)

- bioalkoholeista tuotetut eetterit kuten MTBE ja ETBE (bio-osuus <100 %)
- biokaasut
- synteettiset polttoaineet, esim. Fischer-Tropsch-polttoaine, dime-tyylieetteri (DME)

Lisäksi on ollut esillä muita vaihtoehtoja kuten mäntyöljypohjaiset tuotteet (mäntyöljyn esterit) tai biokomponentit, jotka jalostettaisiin pyrolyysitekniikalla tuotusta bioöljystä.

Nykyisin valmistetaan kaupallisesti viljelykasvipohjaista etanolia ja biodieseliä lähinnä Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja joissakin EU-maissa. Vuonna 2003 etanolin ja biodieselin tuotanto EU:ssa oli yhteensä noin 1,5 miljoonaa öljyekvivalenttitonnia (EU15). Etanoli käytetään joko sellaisenaan tai ETBE:nä. Lähinnä Ruotsissa on tällä hetkellä tutkimus- ja demonstrointitoimintaa biokaasun käytöstä maakaasukäyttöisissä ajoneuvoissa. Muiden biopoltonesteiden tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia.

Kasviöljyjen estereitä, ns. biodieseliä, voidaan valmistaa monista raaka-aineista. Yleisimmät raaka-aineet Euroopassa ovat rypsi-, rapsi- ja auringonkukkaöljy, Yhdysvalloissa soijaöljy. Suomen oloissa kasviöljypohjaisen biodieselin pääraaka-aine olisi rypsi (tuotteena RME, rypsimetyyliesteri). Uusimmissa tuotantolaitoksissa Euroopassa hyödynnetään raaka-aineena myös käytettyjä kasviöljyjä, lisäksi tarkastellaan mahdollisuuksia eläinrasvojen hyödyntämiseen raaka-aineena. Vuonna 2004 Suomessa aloitti toimintansa kaksi pienen mittakaavan biodieselin valmistajaa (Limetti Oy Elimäellä ja Oy Vegoleum Ab Karjaalla). Fortum on kehittänyt uudentyyppisen biodieselprosessin, jossa tuotetaan hiilivedyistä koostuvaa diesel-polttoainetta perinteisen rasvahappoestereistä muodostuvan biodieselin sijasta.

Rypsimetyyliesterin valmistuksessa siemenet puristetaan ensin mekaanisesti, jolloin saadaan raakarypsiöljyä sekä valkuaispitoiseksi eläinrehuksi kelpavaa kiinteää jäännöstä eli rypsirouhetta. Kuumapuristuksella saadaan kylmäpuristusta hie-man korkeampi öljysaanto. Kiinteä jäännös voidaan vielä uuttaa liuottimilla, jolloin öljysaanto paranee. Rypsimetyyliesteriä saadaan esteröimällä raakarypsiöljy metanolilla. Sivutuotteena syntyy glyserolia. Suomessa rypsin siementen keskimääräinen saanto on noin 1,75 t/ha, joka vastaisi rypsimetyyliesterin saantoa noin 0,61 t RME/ha.

Etanolia valmistetaan pääasiassa fermentoimalla sokereita mikro-organismien avulla alkoholiksi. Sokeripitoisia raaka-aineita on käytössä useita. Noin 60 % maailmassa tuotetusta etanolista on valmistettu sokeripitoisista viljelykasveista, kuten sokeriruo'osta tai sokerijuurikkaasta, ja suurin osa lopusta valmistetaan viljasta, lähinnä maissista. Tärkkelyspitoisten raaka-aineiden, kuten perunan ja viljojen,

tärkkelys on muunnettava ensin sokereiksi ns. hydrolyysin avulla. Tärkkelys on suhteellisen helposti hydrolysoitavissa sokereiksi. Prosessi on tunnettua tekniikkaa ja käytössä polttoainetuotannossa laajassa mittakaavassa Brasiliassa ja Yhdysvalloissa. Suomessa viljaetanolin saanto olisi noin 0,91 t/ha, kun raaka-aineena olisi ohra.

Puusta on mahdollista valmistaa etanolia vapauttamalla ensin selluloosan ja hemiselluloosan sokerit kemiallisesti ns. hydrolyysin avulla. Puun rakenteen vuoksi hydrolyysi on kuitenkin hankalampaa kuin tärkkelyspitoisen raaka-aineen. Hydrolyysi voidaan tehdä kolmella eri perustekniikalla: vahvahappo-, laimeahappo- tai entsyymaattisella hydrolyysillä. Entsyymaattiseen hydrolyysiin perustuvien prosessien osalta kehitteillä on eri prosessiratkaisuja, jotka eroavat toisistaan entsyymien valmistuksen sekä hydrolyysin ja fermentoinnin kytkennän osalta. Lisäksi laboratorioasteella on kehitteillä synteetikaasun fermentointiin perustuvia prosesseja.

Etanolin saanto metsätähteestä hydrolyysiin perustuvissa prosesseissa olisi arviolta 17 - 22 paino-% kuivasta puusta. Etanolin lisäksi prosessissa saadaan huomattava määrä sivutuotteita, joista tärkein on ligniinipolttoaine. Ligniinipolttoaineen massasaanto on lähes kaksinkertainen etanolin saantoon verrattuna.

Etanolin valmistusta puusta tutkitaan lähinnä Yhdysvalloissa, Ruotsissa ja Kanadassa. Useitakin demonstraatiohankkeita on suunnitteilla, mutta mitään em. tekniikkaa ei ole vielä kokonaisuudessaan demonstroitu laboratorion ulkopuolella puupohjaisille polttoaineille eikä niitä voida pitää tällä hetkellä kaupallisina prosesseina. Laimeahappohydrolyysiin perustuva prosessi on lähimpänä teollisen mittakaavan toteutusta. Ruotsissa on keväällä 2004 käynnistynyt koetehdas, jossa tuotetaan 400 - 500 litraa etanolia vuorokaudessa puuraaka-aineista. Havupuun, ja erityisesti metsätähteen, hyödyntäminen raaka-aineena saattaa kuitenkin olla ongelmallista mm. korkean pihka- ja kuoripitoisuuden vuoksi.

Biomassasta on mahdollista valmistaa liikenteen biopolttoaineita myös ns. synteetikaasureitin kautta. Biomassasta valmistetaan ensin termisesti kaasuttamalla synteetikaasua ja edelleen synteetikaasusta polttonesteitä, esimerkiksi metanolia, ns. Fischer-Tropsch-polttoaineita tai dimetyylieetteriä (DME). Kaasutuksen tuotekaasu täytyy puhdistaa epäpuhtauksista eri kaasunpuhdistusmenetelmillä ja edelleen konvertoida synteetiproessin vaatimusten mukaiseksi synteetikaasuksi. Hyvin optimoidussa prosessissa voidaan saavuttaa esim. metanolille jonkin verran yli 55 %:n massasaanto kuivasta puusta.

Synteetikaasupohjaiset prosessit ovat periaatteessa tunnettua tekniikkaa. Vastaava prosessi demonstroitii 1980-luvulla Oulussa Kemira Oyj:n laitoksella, jossa tuotettiin turpeesta ammoniakkia. Laitoksen kapasiteetti oli 80 000 tonnia NH₃/a.

Koeajoissa raaka-aineena käytettiin myös sahanpurua. Etelä-Afrikassa sijaitsevilla Sasolin laitoksilla valmistetaan kivihiilestä polttonesteitä kaasutuksen kautta ns. Fischer-Tropsch-tekniikalla.

Biomassan käyttöönotto synteetikaasupohjaisten prosessien raaka-aineena vaatii kuitenkin vielä kehitystyötä. Tutkimus- ja kehitystyöllä haetaan korkeahyötysuh-teisia ja kustannustehokkaita prosessiratkaisuja. EU:n rahoituksella käynnistyi vuoden 2004 alussa Volkswagenin vetämä IP-hanke, jossa kehitetään erityisesti synteetikaasupohjaisia liikenteen biopolttonesteiden tuotantoprosesseja.

Suomessa panostetaan synteetikaasun valmistusprosessin kehittämiseen VTT:n Ultra clean gas -hankkeessa. Hankkeella tavoitellaan uuden teknologian demonstroitintia vuosina 2008–2009 ja kaupallistumista vuosina 2010–2012. Suomessa kaavailtujen konseptien perusajatuksena on ollut biopolttonesteiden ja sähkön/lämmön yhteistuotanto, mikä näyttäisi tarjoavan useita vaihtoehtoja kehittää kokonaisyhteistyösuhteitaan ja taloudeltaan houkuttelevia yhteistuotantolaitoksia, esim. metsäteollisuusintegraatin tai jalostamon yhteydessä. Yhtenä vaihtoehtoisena ratkaisuna voitaisiin Suomessa ajatella olevan hajautettu ja CHP-tuotantoon integroitu pyrolyysiöljyn tuotanto ja öljyn hyödyntäminen synteetikaasuprosessin raaka-aineena esimerkiksi Fortumin Porvoon jalostamon yhteydessä.

3.2.2 Käyttö

Useimpia biopolttoaineita voidaan käyttää joko polttoainekomponentteina tai polttoaineena sellaisenaan. Alkoholi ja kaasumaiset polttoaineet soveltuvat kipinäsytytteisten moottorien (ottomoottorien) polttoaineeksi ja biodiesel puristussytytteisten (dieselmoottorien) polttoaineeksi.

Nykyisin kaupallisessa käytössä liikenteen biopolttonesteistä ovat viljelykasvipohjaiset etanoli ja biodiesel. Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja Ruotsissa pääasiallisesti käytettävä biopolttoaine on etanoli ja sen seokset fossiilisten polttoaineiden kanssa. Ranskassa ja Espanjassa käytetään biodieseliä ja ETBE:tä. Biodieseliä käytetään myös Saksassa, Italiassa, Itävallassa ja Yhdysvalloissa. Italiassa biodieseliä käytetään kuitenkin pääasiassa lämmityssektorilla. Maakaasukäyttöisissä autoissa voidaan käyttää biokaasua; tutkimus- ja demonstroitintoimintaa on tällä hetkellä lähinnä Ruotsissa.

Suomessa Fortum aloitti biobensiinin valmistuksen kesällä 2002 ja valmistus jatkuu vuoden 2004 loppuun. 98-oktaanisen bensiinin biokomponenttina käytetään EU:n ylijäämäviinistä valmistettua etanolia, jota tuotteessa on enintään 5 tilavuus-%. Biobensiiniä myydään Etelä-Suomessa (Fortum 2004).

Nykymoottoreissa pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteistoilla ja moottorin palamisen tarkalla ohjauksella on ratkaiseva asema säänneltyjen päästöjen rajoittamisessa. Varsinaisten lainsäädännöllä rajoitettavien pakokaasupäästöjen (CO, HC, NO_x, hiukkaset) suhteen minkään biopolttoaineen käyttö, metaania lukuunottamatta, ei tuo nykyautoissa merkittäviä etuja Nykytekniikalla biopolttoaineiden etu on mahdollisuudessa vähentää fossiilista CO₂-päästöä.

Raaka-aineena käytetystä kasviöljystä riippumatta biodieselit (FAME) ovat ominaisuuksiltaan melko samanlaisia. Biodiesel sekoittuu ongelmitta dieselpolttoaineeseen, joten sitä voi käyttää dieselpolttoaineen komponenttina eri seossuhteina (tyypillisesti 5 - 30 %). Etanolia voidaan teknisesti käyttää bensiiniin sekoitettuna noin 10 %:n pitoisuuksiin asti tavallisissa bensiiniautoissa. Yli 10 %:n seoksina etanolia voidaan käyttää vain autoissa, joiden moottori ja polttoainejärjestelmä ovat alkoholeille tarkoitettuja. Metanolia voidaan käyttää sellaisenaan ainoastaan metanolille tarkoitetuissa moottoreissa ja pieninä pitoisuuksina bensiinikomponenttina, ns. oksygenaattina (alle 3 %). Alkoholeista valmistettuja eettereitä, kuten MTBE, ETBE ja TAME, voidaan käyttää bensiinikomponentteina. (Ikonen ym. 2000)

Fischer-Tropsch-synteeseillä voidaan valmistaa periaatteessa samankaltaisia hiilivetyjakeita kuin nykyiset polttoaineet ovat. DME soveltuu dieselmoottorin polttoaineeksi, mutta vaatii normaalista dieselmoottorista poikkeavan polttoainejärjestelmän (Ikonen ym. 2000).

Euroopassa EN-standardit ja EU:n direktiivit määrittelevät tieliikennepolttoaineiden laadun. Lähtökohtaisesti polttoainelaatujen tulisi soveltua koko ajoneuvokaluustoon. Biopolttoaineiden tulee täyttää nykyiset ja tulevat EU:n tieliikennepolttoaineiden normit ja direktiivit, mistä seuraa selkeitä rajoitteita. Standardin EN590:2003 mukaisessa dieselpolttoaineessa biodiesel-komponentin osuus voi käytännössä olla enintään 5 tilavuusprosenttia (til-%), joka vastaa energiaosuutena 4,6 %:a. Fortumin antamien tietojen mukaan heidän kehittämänsä uusi biodieseltuote vastaa ominaisuuksiltaan hyvälaatuista dieselpolttoainetta, joten sitä voitaneen käyttää joustavammin ja ilman tavanomaiseen biodieseliin liittyviä rajoitteita. Etanolin osuus bensiinissä saa olla enintään 5 til-%, joka vastaa energiaosuutena 3,4 %:a (direktiivi 98/70/EC). Sama direktiivi määrittää ETBE:n maksimiosuudeksi 15 til-%. Bioetanolista valmistetun ETBE:n bio-osuus on kuitenkin vain 47 til-%, koska prosessin toinen raaka-aine on fossiilinen isobutyleeni (direktiivi 2003/30/EC). Tilavuusosuus 15 til-% vastaa energiaosuutta 4,5 %, jos bio-osuus huomioidaan etanolina (6,1 %, jos huomioidaan ETBE:nä).

3.2.3 Kustannukset ja potentiaali

Biopolttoneesteistä ja tuotantotekniikasta riippuen biopolttoneesten tuotantokustannukset ovat 2 - 5 -kertaisia verrattuna nykyisten fossiilisten polttoaineiden verotomiin hintoihin. Nykyiset kaupalliset biopolttoneestet, biodiesel ja viljapohjainen etanoli, on saatu monissa maissa kuluttajille kilpailukykyisiksi verohelpoituksin. Biopolttoneesten tuotantokustannuksia pyritään alentamaan tutkimus- ja kehitystyöllä niin EU:ssa kuin Yhdysvalloissa. Tuotantokustannusten alentamiseen pyritään mm. etsimällä toimintamalleja, joissa biopolttoneesten tuotanto yhdistettäisiin teollisuus- tai voimalaitokseen sekä hyödyntämällä jäteperäisiä raaka-aineita.

Metanolin tuotantokustannuksiksi Suomessa integroituna sellutehtaan yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon on arvioitu olevan 13,5 - 17 €/GJ (48 - 60 €/MWh) tekniikasta riippuen, kun laitoksen raaka-ainekapasiteetti on 100 MW (166 000 t ka/a). Raaka-aineena käytettävän metsätähteen hinnan arvioitiin olevan 2,2 €/GJ (8 €/MWh). Jos hyödynnettäisiin jäteperäistä raaka-ainetta, 5 €/MWh:n käsittelymaksulla metanolin tuotantokustannukset olisivat 8 v/GJ (28 €/MWh). Etanolin tuotantokustannuksiksi arvioitiin 20 - 26 €/GJ (71 - 94 €/MWh) (Mäkinen & Sipilä 2003).

Nykystandardien mukaisilla osuuksilla biokomponentit eivät juuri aiheuta käytössä lisäkustannuksia, mutta suuremmissa pitoisuuksissa tai käytössä sellaisenaan biopolttaineiden käyttöönotto edellyttää muutoksia jakelujärjestelmissä ja ajoneuvoissa. Esimerkiksi biodieselin dieselpolttoainetta parempi liuotuskyky ja huonompi stabiilisuus varastoinnissa on huomioitava tankkaus- ja varastointijärjestelmissä.

EU:n liikenteen biopolttainedirektiivissä (2003/30/EC) esitetyt tavoitteet, biopolttaineiden osuus energiana liikenteen polttoainekulutuksesta 2 % vuonna 2005 ja 5,75 % vuonna 2010, vastaisivat Suomessa polttoaineen nykykulutuksen perusteella arvioiden biopolttaineiden käyttöä 2,9 PJ (73 ktoe) vuonna 2005 ja 8,8 PJ (209 ktoe) vuonna 2010. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman päivityksessä on alustavasti esitetty Suomelle tavoitetta 2 % liikenteen energiakulutuksesta vuonna 2010.

Tällä hetkellä kaupallisessa tuotannossa ovat vain perinteiset biopolttoneestet, siis viljapohjainen etanoli sekä biodiesel. Fortum on esittänyt suunnitelman käynnistää lähivuosina biodieselin tuotanto kasviöljyistä ja eläinrasvoista pohjautuen prosessiin, joka ei perustu esteröintiin vaan jossa tuotetaan perinteistä dieselpolttoainetta vastaavia hiilivetyjä.

Sekä synteetikaasupohjaisen tekniikan että puupohjaisen etanolin tuotantotekniikan on arvioitu voivan kaupallistua vuoteen 2010 mennessä, jos tutkimus- ja kehi-

tystyöhön panostetaan riittävästi. Ensimmäiset kaupalliset koelaitokset voisivat olla tuotannossa 10 000 - 50 000 toe/a:n kokoluokassa arviolta vuosina 2008–2010.

Suomessa voitaisiin kesantopeltoja hyödyntäen tuottaa joko viljaetanolia tai RME:tä. Viljelyalojen perusteella arvioituna tuotanto voisi olla 50 000 - 100 000 toe/a. Tuotantomääriä rajoittaa kuitenkin suurien tukitarpeiden lisäksi viljelytekniset rajoitukset, esim. rypsin vuoroviljely.

Periaatteessa Suomessa olisi tulossa markkinoille riittävästi puu- ja jättepohjaisia raaka-aineita direktiivin vuoden 2010 tavoitteen mukaisen biopoltonestemäärän tuottamiseksi, mutta tällä hetkellä uuden puupolttainepotentiaalin oletetaan menevän pääasiassa teollisuuden ja yhdyskuntien kasvavaan yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon.

Liikenteen polttoaineilla on tyypillisesti maailmanlaajuiset markkinat ja biopoltonesteille onkin odotettavasti laajaa kauppaa EU:n sisällä ja mahdollisesti tuontia EU:n ulkopuolelta.

Arviot liikenteen biopoltonesteillä saavutettavista kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä vaihtelevat raaka-aineen ja prosessin sekä laskennassa käytettyjen oletusten mukaan. Tyypillisiä laskentaoletuksia ovat raaka-aineen viljelyssä käytetty energia, raaka-aineiden kuljetuksessa käytetty energia, tuotannon hyötysuhde sekä sivutuotteiden hyödyntämisvaihtoehdot. Biodieselillä on esitetty saatavan 50 - 80 %:n päästövähennys verrattuna fossiiliseen dieselpolttaineeseen ja vastaavasti viljaetanolilla 20 - 40 %:n päästövähennys verrattuna bensiiniin. Puupohjaisilla polttoaineilla on mahdollista saada 75 - 100 %:n päästövähennys (Fulton 2002).

3.3 Biokaasut

3.3.1 Orgaanisen aineen anaerobinen käsittely

Anaerobikäsittelyssä, ns. mädätyksessä, orgaanista ainetta hajotetaan hapettomissa olosuhteissa toimivien mikro-organismien avulla. Lopputuotteiksi saadaan kiinteää ja nestemäistä mädätettä sekä pääasiassa metaanista ja hiilidioksidista koostuvaa biokaasua. Biokaasun tuotto mädätysprosessissa määräytyy käytetyn jätetyypin, orgaanisen aineen määrän, kuormitusasteen, viipymääjan sekä reaktoriityypin mukaan.

Biokaasu on usein käsiteltävä ennen loppukäyttöä. Esimerkiksi biokaasun sisältämä vesi aiheuttaa kondensaatiota putkistoissa, joten se poistetaan tavallisesti lauhduttamalla. Liikennekäyttö edellyttää kaasun puhdistusta ja paineistusta.

Mädätyksen jälkeinen materiaali, mädäte, tarvitsee tavallisesti käsittelyä ennen kuin se voidaan hyödyntää. Useimpien teollisten biojätteen mädätyslaitosten prosesseihin kuuluu 1 - 2 viikon aerobinen jälkikäsittely (kompostointi). Mädätettä voidaan käyttää esimerkiksi lannoitteena tai maisemoinnissa.

Mädätys on jo pitkään ollut vakiintuneessa käytössä jätevesilietteiden käsittelyssä. Periaatteessa mitä tahansa biohajoavaa orgaanista materiaalia voidaan käyttää anaerobisen käsittelyn raaka-aineena, mutta taloudellisista ja teknisistä syistä toisia materiaaleja käytetään tavallisemmin kuin toisia. Valittaessa jätteitä mädätykseen tulee huolellisesti harkita kiintoainepitoisuus, orgaanisen aineen määrä, hiili/typpi-suhde ja biohajoavuus. Tavallisesti biohajoavan orgaanisen aineen määrä vaihtelee 70 - 95 % kuiva-aineen sisällöstä. Aineita, joiden kuiva-aineen orgaanisen aineksen osuus on alle 60 %, pidetään harvoin kannattavina anaerobisen käsittelyn raaka-aineena. Anaerobinen prosessi ei kykene hajottamaan ligniiniä, yhtä puun pääainesosista. Puhdas selluloosa on helposti hajoavaa anaerobisessa reaktorissa, mutta sen luonnossa esiintyvät muodot ovat usein suojattuja biohajoavuudelta niiden sisältämän ligniinin vuoksi. Esimerkiksi heinä, olki ja sinimailanen hajoavat 40 - 70 %:sti anaerobisessa reaktorissa, mutta sahanpuru on käytännössä inertti.

Jätevesilietemädättämön käsittelykustannusten on arvioitu olevan noin 120 €/tonnia kuiva-ainetta (Lohiniva ym. 2001). Hydrolyysijäännöksen jälkikompostointi lisää kustannuksia 50 - 75 €/tonnia kuiva-ainetta. Kiinteää biojätettä käsittelevän laitoksen kustannukset ovat korkeammat, noin 230 €/tonnia kuiva-ainetta.

3.3.2 Kaatopaikkakaasun talteenotto

Kaatopaikoilla muodostuu biokaasua vastaavaa kaasua, ns. kaatopaikkakaasua. Kaatopaikkakaasun talteenoton potentiaalia arvioitiin Climtech-ohjelman hankkeessa ”Jätteiden merkitys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä”. Tässä esitetty yhteenveto perustuu projektin raporttiin (Tuhkanen 2002).

Kaatopaikkakaasua on orgaanisesta jätteestä hapettomassa tilassa tapahtuvan (anaerobisen) hajoamisen tuloksena syntyvää kaasua, joka sisältää lähinnä metaania ja hiilidioksidia. Lisäksi se sisältää esim. vesihöyryä, typpeä, happea ja vetyä sekä pieninä pitoisuuksina kloori- ja fluorivetyjä sekä rikkiyhdisteitä. Kaasun muodostumiseen vaikuttavat eniten jätteen koostumus ja kaatopaikalla vallitsevat olosuhteet.

Kaatopaikkakaasun talteenottojärjestelmät ovat melko vakiintunutta teknologiaa. Talteenottojärjestelmä koostuu jätekerrokseen asennettavista siivilämäisistä imu-kaivoista tai salaojaputkistoista. Imukaivot asennetaan pystyyn, kun taas salaoja-

järjestelmä perustuu vaakaputkistoihin. Myös näiden yhdistelmiä käytetään. Lisäksi järjestelmään kuuluu imuputkisto ja pumppaamo, jossa tehdään putkistoon ja kaivoihin tarvittava imu. Pumppaamosta kaasu johdetaan joko poltettavaksi soihdussa tai energiakäyttöön. Kaasu täytyy usein myös puhdistaa, varsinkin ennen energiakäyttöä.

Talteenoton tehokkuus riippuu luonnollisesti aloittamisajankohdasta. Monesti talteenotto aloitetaan vasta kaatopaikan sulkemisen jälkeen, jolloin suuri osa jätekerroksissa syntyvästä metaanista on jo päässyt ilmakehään. Tosin kaatopaikan toiminnan aikana aloitettu talteenotto on yleistymässä, jolloin tehokkuus paranee. Kun talteenottojärjestelmä on otettu käyttöön, saadaan syntyvästä kaatopaikkakaasusta usein yli 70 % talteen. Hoidetulle kaatopaikalle tuotavan jätteen sisältämästä orgaanisesti hajoavasta hiilestä osa hajoaa tuottaen metaania ja hiilidioksidia ja loppuosa varastoituu kaatopaikalle tai huuhtoutuu suotovesien mukana pois.

Talteenoton (keräilyjärjestelmä ja pumppaamo) kokonaiskustannuksiksi arvioitiin noin 120 - 170 €/Nm³/a. Tuotettua energiayksikköä kohti kustannukset olisivat noin 1,0 - 1,3 €/GJ (3,4 - 4,5 €/MWh).

3.3.3 Käyttö

Bio- ja kaatopaikkakaasua voidaan teknisesti hyödyntää kaikissa maakaasulle suunnitelluissa sovelluksissa ja joissakin nestekaasua ja öljyä käyttävissä teollisissa kohteissa. Samoihin käyttökohteisiin voidaan valmistaa polttokaasua jätteistä myös termisillä kaasutusprosesseilla. Nykyään biokaasu tavallisesti käytetään polttomoottorissa sähkön tuottamiseksi. Biokaasua käytetään myös lämmityskattiloissa.

Pumpatusta kaatopaikkakaasusta valtaosa poltetaan nykyisin soihdussa. Kaatopaikkakaasun energiakäyttö soveltuu vain suurille kaatopaikoille. Kaasu hyödynnetään joko kaasumoottorissa tai kattilassa. Hollannissa kaatopaikkakaasua on myös syötetty paikalliseen maakaasuverkkoon.

Bio- ja kaatopaikkakaasua voidaan käyttää myös liikennepolttoaineena maakaasukäyttöisissä ajoneuvoissa. Alan tutkimusta ja demonstraatioprojektitoimintaa on toistaiseksi pääasiassa Ruotsissa. Suomessa on meneillään yksittäisiä kokeiluja maatilakohtaisen biokaasun tuotannon yhteydessä.

Ennen käyttöä ajoneuvojen polttoaineena bio- ja kaatopaikkakaasusta on poistettava hiilidioksidi, kaasu on puhdistettava epäpuhtauksista sekä paineistettava. Pesu tapahtuu esimerkiksi vedellä 22 bar:in paineessa, jolloin rikkivety ja suurin osa

hiilidioksidista liukenevat veteen. Puhdistettu kaasu paineistetaan käyttöä varten noin 250 bar:in paineeseen. Tuloksena on kaasu, joka sisältää noin 98 % metaania ja 2 % hiilidioksidia. Lisäksi tarvitaan investoinnit biokaasun jakelujärjestelmään. Ruotsissa biokaasun puhdistuksesta, paineistuksesta ja jakelusta aiheutuvat kokonaiskustannukset on arvioitu olevan 3 - 6 €/GJ (11 - 22 €/MWh).

Kaasumaisten biopolttoaineiden käyttöä rajoittaa kaasun saatavuus, polttoainejakelun logistiikka sekä vaadittavat investoinnit tankkausasemiin ja kaasujoneuvoihin. Bio- tai maakaasua käyttävät autot ovat kalliimpia kuin vastaavat bensiini- tai dieselkäyttöiset ajoneuvot. Lisäksi toimintamatka tankkausta kohti jää lyhyemmäksi. Biokaasun soveliaimpia käyttökohteita ovat kaupungeissa liikkuvat keskitetysti samalta tankkauspaikalta tankkaavat autot. Yksi mahdollisuus biokaasun käytön edistämiseksi olisi maa- ja biokaasun yhteiskäyttö.

3.3.4 Nykyinen tuotanto ja käyttö

Suomen biokaasukeskuksen tilaston mukaan Suomessa oli vuoden 2002 lopussa kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla 15 biokaasureaktorilaitosta. Kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsiteltiin Stormossenin laitoksella Vaasan Mustasaaressa. Teollisuuden jätevesiä käsiteltiin anaerobisesti kolmessa eri laitoksessa. Maatalouden tilakohtaisia biokaasulaitoksia oli viidellä tilalla. Vuonna 2002 reaktorilaitoksilla tuotettiin biokaasua 25,1 milj. m³. Tuotettua biokaasua hyödynnettiin lämpö- ja sähköenergiana yhteensä 0,43 PJ (119,9 GWh). Ylijäämäpolttoon biokaasua kului 2,7 milj. m³. Reaktorilaitosten biokaasun tuotto ja sillä tuotetun energian määrä pysyivät kutakuinkin samana verrattuna vuoden 2001 tilanteeseen. (Biokaasukeskus 2004)

Vuoden 2002 lopussa kaatopaikkakaasua kerättiin talteen 26 kaatopaikalta. Vuonna 2002 käyttöön otetussa Kajaanin pumppaamossa ei ollut vielä saatavilla tuotantotietoja. Vuonna 2002 kaatopaikkakaasua kerättiin talteen 75,0 milj. m³. Kaatopaikkakaasua tuotettiin noin 23 % enemmän kuin edellisellä vuonna, mutta kaasun suhteellinen hyötykäyttö laski vuoteen 2001 verrattuna. Pumppatusta kaatopaikkakaasusta 25,3 milj. m³ käytettiin sähkön ja lämmön tuotantoon. Energiaa kaatopaikkakaasusta tuotettiin 0,3 PJ (84,6 GWh). Uusia laitoksia on tulossa Kuopion kahdelle kaatopaikalle vuonna 2003 ja Anjalankosken kaatopaikalle vuonna 2004. (Biokaasukeskus 2004)

Kaatopaikkakaasun talteenotto on viime vuosina lisääntynyt voimakkaasti lähinnä lainsäädännön (VNp 861/1997 ja 1049/1999) ansiosta. Talteen otettua kaatopaikkakaasua hyödynnetään energiana monilla eri tekniikoilla ja monissa eri käyttökohteissa. Kaatopaikkakaasun talteenotto tuli pakolliseksi yli 100 000 asukkaan alueiden kaatopaikoilta vuoden 2002 alusta.

3.3.5 Kustannukset ja potentiaali

Elektrowatt-Ekonon (2003) arvion mukaan Suomen kaatopaikka- ja biokaasun potentiaali vuonna 2010 olisi yhteensä 6,6 PJ (1,82 TWh, 360 milj. m³). Suurin biokaasun kasvupotentiaali olisi kaatopaikkojen, yhdyskuntien biojätteiden ja maatalouden jätteiden käsittelyssä. Potentiaali on esitetty taulukossa 3. Lähteessä ei ole esitetty arviota potentiaalın toteutuksen vaatimista investointikustannuksista eikä vuosittaisesta tuen tarpeesta.

Taulukko 3. Suomen biokaasupotentiaali (Electrowatt-Ekono 2003).

Biokaasupotentiaali	Kaasua <milj. m ³	Polttoainetta PJ (TWh)	Laitosten lukumäärä
Lanta	121	2,4 (0,67)	752 laitosta
Non-food -kasvit	24	0,47 (0,13)	16 suurta laitosta
Jätevedenpuhdistamot	30	0,61 (0,17)	24 5 laitosta lisää
Kaatopaikat	160	2,6 (0,72)	80 50 laitosta lisää
Yhdyskuntien biojäte	25	0,50 (0,14)	17 16 laitosta lisää
Yhteensä	360	6,6 (1,82)	889

Kaatopaikkakaasujen talteenoton osalta suurimmat kohteet on jo rakennettu. Lisäpotentiaali on noin viidelläkymmenellä kooltaan 2 - 5 hehtaarin kaatopaikalla ja muutamalla vanhalla kaatopaikalla, joita VNp 861 ei koske. Näissä kohteissa kaatopaikkakaasun taloudellinen hyödyntäminen on kuitenkin vaikeaa. (Electrowatt-Ekono 2003)

Yhdyskuntien biojätteiden biokaasupotentiaaliksi on esitetty noin 0,5 PJ (140 GWh), mikä edellyttäisi 16 uuden suuren laitoksen rakentamista (vastaavia kuin Vaasan Mustasaaren laitos). Maatalouden potentiaaliksi on arvioitu 2,4 PJ (670 GWh) lannan käsittelystä ja 0,47 PJ (130 GWh) non-food -kasvituotannosta (viljelypinta-ala 10 000 ha). Lannan osalta potentiaalın hyödyntäminen edellyttäisi 752 laitoksen rakentamista ja non-food -hyödyntäminen 16 suurta biokaasulaitosta. (Electrowatt-Ekono 2003)

Ehdotuksessa kansalliseksi biojätestrategiaksi (Ympäristöministeriö 2003) uusien yhdyskuntien biojätteen mädätyslaitosten lukumääräksi vuoteen 2010 on arvioitu neljä ja laitosten yhteiseksi biokaasutuotannoksi 9 milj. m³/a.

Biokaasureaktoreilla tuotetun biokaasun määrä on pysynyt melkein samana vuodesta 1996. Vuonna 2002 tuotanto oli noin 25 milj. m³. Tiukentuvien kaatopaikka- ja ympäristösäädösten johdosta biokaasu- ja kompostointilaitosten lukumäärän on arvioitu kasvavan nykyisestä. Kasvuennusteet vaihtelevat riippuen siitä, kuinka

kilpailevia tekniikoita painotetaan ja kuinka pieniä biokaasulaitoksia Suomeen voidaan kohtuullisten valtion tukien avulla rakentaa. Yhteiskunnan tukimuodot ja tuen taso vaikuttavat merkittävästi tulevaisuuden biokaasupotentiaaliin Suomessa.

Eläintuotannon sivutuotteiden käyttöä ja valvontaa koskeva uusi lainsäädäntö tulee rajaamaan, millaisia sivutuotteita voidaan käyttää biokaasu- ja kompostointilaitoksissa. Tämä aiheuttanee sivutuotteiden keräilylle ja käsittelylle lisäkustannuksia, jotka saattavat johtaa polton ja kaatopaikkasijoituksen lisääntymiseen.

Biokaasunurmea voitaisiin periaatteessa viljellä kesantopelloilla Suomessa. Biokaasunurmen hinta on kuitenkin varsin korkea kaikki maataloustuetkin huomioonottaen. Kilpailukykyisimmän non-food-biomassan on arvioitu Suomessa olevan energiantuotantoon viljeltävän ruokohelven. Peltoenergiastrategiassa non-food-tuotannon esitetään perustuvan jatkossa ruokohelven tuotantoon. Vaihtoehtoinen käyttö kesantopelloille on myös niiden käyttö liikenteen biopoltonesteiden raaka-aineiden tuotantoon.

Kaatopaikkakaasun talteenotolla saavutettava päästövähennys muodostuu suurimmaksi osaksi talteenotetusta metaanista. Jos kaasu käytetään energiana, voidaan sillä mahdollisesti korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä, jolloin voidaan saavuttaa pieni lisävähennys. Jos kaatopaikkakaasun talteenotto olisi 160 milj. m³, voitaisiin saavuttaa noin 0,6 Mt CO₂-ekv. suuruinen päästövähennys vuonna 2010. Jos talteenotetusta metaanista 75 % hyödynnetään energiana korvaamalla kevyen polttoöljyn käyttöä, saavutettaisiin lisäksi noin 0,05 Mt CO₂-ekv:n päästövähennys. Kaasua otettaisiin siis talteen noin 80 kaatopaikalta. Pidemmällä tulevaisuudessa kaatopaikkojen kaasuntuotanto tullee vähenevän, jolloin myös kaatopaikkakaasun talteenottopotentiaali pienenee jonkin verran.

Jos uusien talteenottolaitosten kaasusta voitaisiin hyödyntää energiana 75 %, tulisi energiakäyttöön lisää kaatopaikkakaasua noin 1 PJ vuoteen 2010 mennessä. Jos talteenotettu kaasu poltetaan soihdussa, ovat päästöjen vähentämisen ominaiskustannukset keskimäärin noin 2,5 - 5,0 €/t CO₂-ekv. Jos talteenotettu kaasu hyödynnetään energiana, ovat kustannukset todennäköisesti alhaisempia ja joissakin tapauksissa jopa negatiivisia.

Vuonna 2002 tuotettua biokaasua hyödynnettiin lämpö- ja sähköenergiana yhteensä 0,43 PJ (119,9 GWh). Taulukossa 3 on esitetty jätevedenpuhdistamoilta ja yhdyskuntien biojätteistä tuotettavissa olevan biokaasun potentiaaliksi yhteensä 1,1 PJ (310 GWh). Jos lisäpotentiaalilla tuotettaisiin sähköä (hyötysuhde 30 %) verkkoon korvaten Suomen sähkön tuotannon keskiarvoa (päästöt 200 kg CO₂/MWh sähköä) saavutettaisiin noin 0,02 Mt CO₂-ekv:n päästövähennys.

3.4 Yhteenveto ja kehitysnäkymät

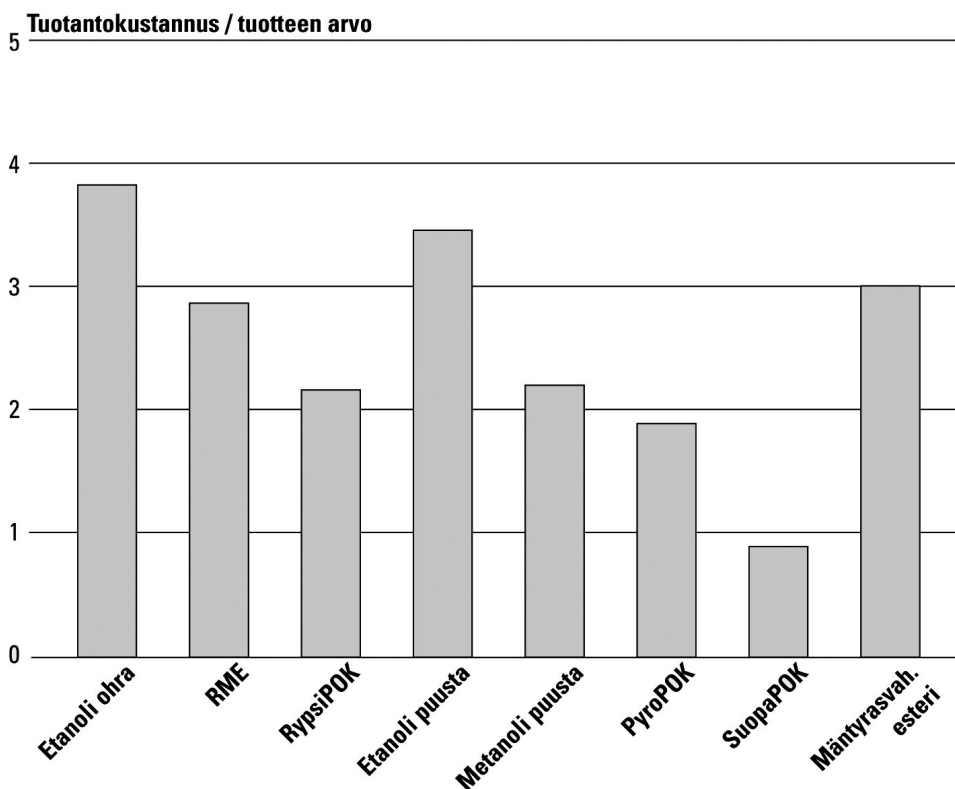
EU:n uusi liikenteen biopolttoaineiden käyttöä edistävä direktiivi asettaa ohjeelliset tavoitteet biopolttoaineiden hyödyntämiselle ajoneuvojen polttoaineena. Tavoitteena on saavuttaa vuonna 2005 biopolttoaineilla 2 %:n osuus liikenteen polttoaineista (laskettuna energiasisällön perusteella) ja vuonna 2010 5,75 %:n osuus. EU:n jäsenmaiden pitää perustella asetetuista tavoitteista poikkeaminen. Nykykulutuksella laskettuna nämä tavoitteet vastaisivat Suomessa 2,9 PJ (0,07 Mtoe) biopolttoaineita vuonna 2005 ja 8,8 PJ (0,21 Mtoe) vuonna 2010. EU:n komission vihreässä kirjassa ”Energiahuoltostrategia Euroopalle” on esitetty vastaavat tavoitteet myös muille vaihtoehtoisille polttoaineille, maakaasulle ja vedylle.

Bioraaka-aineista voidaan valmistaa useita eri liikennepolttoaineita, joista tavallimmat vaihtoehdot ovat kasviöljypohjainen biodiesel, alkoholit (etanoli ja metanoli), bioalkoholeista tuotetut eetterit kuten MTBE ja ETBE, biokaasut sekä synteettiset polttoaineet kuten Fischer-Tropsch-polttoaineet ja dimetyylieetteri (DME). Lisäksi bioraaka-aineista voidaan valmistaa kevyttä ja raskasta polttoöljyä korvaavia bioöljyjä.

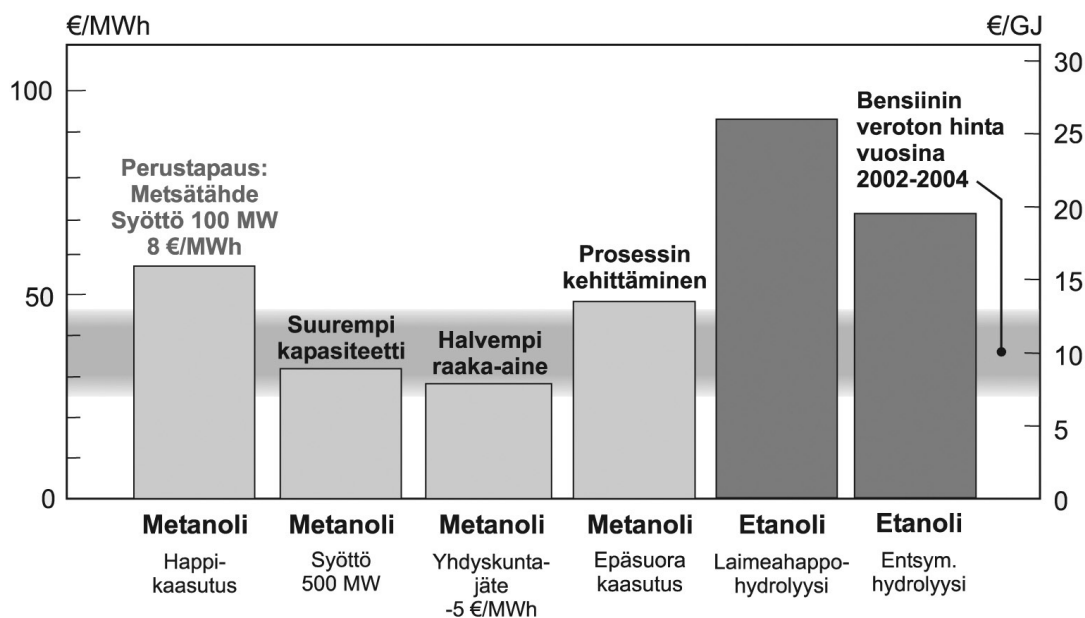
Nykyisin liikennepolttoaineiksi valmistetaan kaupallisesti viljelykasvipohjaista etanolia ja biodieseliä lähinnä Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja joissakin EU-maissa. Vuonna 2003 etanolin ja biodieselin tuotanto EU:ssa oli yhteensä noin 1,5 miljoonaa öljyekvivalenttitonnia (EU15). Etanoli käytetään joko sellaisenaan tai ETBE:nä. Lähinnä Ruotsissa on tällä hetkellä tutkimus- ja demonstrointitoimintaa biokaasun käytöstä maakaasukäyttöisissä ajoneuvoissa. Muiden biopolttoaineiden tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia.

Kuvassa 5 on esitetty eri biopoltonesteiden tuotantokustannuksia suhteessa niiden markkina-arvoon. Kuvassa 6 on arvioitu mahdollisuuksia pienentää liikenteen biopolttoaineiden tuotantokustannuksia tutkimus- ja kehitystyöllä. Tavoitteena on kehittää tuotantoteknologioita, jotka mahdollistaisivat liikenteen biopolttoaineiden käyttöönoton mahdollisimman alhaisin tukitasoin. Tutkimus- ja kehitystyössä tulisi panostaa niiden teknologioiden kehitykseen, jossa tukitarve olisi alle nykyisen liikenteen polttoaineeverotuksen, joka on dieselpolttoaineella 32 snt/l ja bensiinillä 59 snt/l.

Lämmön ja sähköntuotantoon soveltuvien bioöljytuotteiden valmistaminen olisi edullisempaa kuin liikenteen biopoltonesteiden valmistaminen nykyteknologioilla. Bioöljyillä voitaisiin korvata lämmön tuotannossa kevyttä polttoöljyä, jolloin sitä vapautuisi dieselpolttoaineeksi liikenteeseen. Fortum (Electrowatt-Ekono 2003) on arvioinut, että Suomen kevyen polttoöljyn 90 PJ:n (25 TWh, 2,15 Mtoe) kokonaismarkkinoista potentiaali bioöljylle olisi 25 PJ (7 TWh, 0,6 Mtoe). Tästä olisi mahdollista saavuttaa noin 11 PJ (3 TWh, 0,26 Mtoe) vuoteen 2010 mennessä.



Kuva 5. Biopoltonesteiden tuotantokustannuksia suhteessa niiden markkina-arvoon (Solantausta ym. 1997).



Kuva 6. Liikenteen biopoltoaineiden tuotantokustannuksien alentaminen kustannustehokkaimmilla prosesseilla, esimerkkinä biometanoli ja -etanoli.

Oman tuotannon lisäksi on mahdollista hyödyntää myös tuontipolttoaineita. Euroopan markkinoille ei ole kuitenkaan saatavissa suuria eriä niin edullisia biopolttoaineita, että tuontipolttoaineita voitaisiin hyödyntää ilman tukitoimia. Liikenteen polttoaineina voidaan hyödyntää myös biokaasuja, sekä mädätyksen kautta että termisesti kaasuttamalla valmistettuja, sellaisenaan tai maakaasun sekoitettuina. Kaasumaisten polttoaineiden hyödyntäminen edellyttää muutoksia polttoaineen jakelussa ja ajoneuvokannassa. Biokaasun soveliaimpia käyttökohteita voisivat olla kaupungeissa liikkuvat keskitetyt samalta tankkauspaikalta tankkaavat autot.

Raaka-ainevarojen perusteella tehty arvio liikenteen biopolttoaineiden tuotantopotentiaaleista Suomessa on esitetty taulukossa 4.

Tällä hetkellä kaupallisessa tuotannossa ovat vain perinteiset biopolttonesteet, siis viljapohjainen etanoli sekä biodiesel. Fortum on esittänyt suunnitelman käynnistää lähivuosina biodieselin tuotanto kasviöljyistä ja eläinrasvoista pohjautuen prosessiin, joka ei perustu esteröintiin vaan jossa tuotetaan perinteistä dieselpolttoainetta vastaavia hiilivetyjä.

Synteesikaasupohjaisen tekniikan on arvioitu voivan kaupallistua ensimmäisissä demonstrointilaitoksissa vuoteen 2010 mennessä, jos tutkimus- ja kehitystyöhön panostetaan riittävästi. Ensimmäiset kaupalliset koelaitokset voisivat olla tuotannossa 10 000 - 50 000 toe/a:n kokoluokassa arviolta vuonna 2010. Laajamittainen tuotanto vuosi olla mahdollista aikaisintaan vuodesta 2015 alkaen. Puupohjaisen etanolin tuotannon ei arvioida olevan kaupallista vielä vuoteen 2010 mennessä, koska vuonna 2004 käynnistyi vasta ensimmäinen pienimuotoinen koelaitos (Örnsköldvik, Ruotsi).

Suomessa voitaisiin kesantopeltoja hyödyntäen tuottaa joko viljaetanolia tai RME:tä. Viljelyalojen perusteella arvioituna tuotanto voisi olla 50 000 - 100 000 toe/a. Tuotantomääriä rajoittaa kuitenkin suurien tukitarpeiden lisäksi viljelytekniset rajoitukset, esim. rypsin vuoroviljely.

Periaatteessa Suomessa olisi tulossa markkinoille riittävästi puu- ja jättepohjaisia raaka-aineita direktiivin vuoden 2010 tavoitteen mukaisen biopolttonestemäärän tuottamiseksi, mutta tällä hetkellä uuden puupolttoainepotentiaalin oletetaan menevän pääasiassa teollisuuden ja yhdyskuntien kasvavaan yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon. Suopaa käytettäneen jatkossakin mäntyöljyn valmistukseen ja jalostukseen.

Kaasumaisten biopolttoaineiden käyttöä liikenteen polttoaineena rajoittaa kaasun saatavuus, polttoainejakelun logistiikka sekä vaadittavat investoinnit tankkausasemiin ja kaasujoneuvoihin. Taulukossa 4 on arvioitu biokaasun potentiaaliksi

jätevedenpuhdistamoiden, kaatopaikkojen ja yhdyskuntien biojätteiden osuus Suomen biokaasupotentiaalista. Elektrowatt-Ekonon (2003) arvion mukaan Suomen kaatopaikka- ja biokaasun potentiaali vuonna 2010 olisi yhteensä 6,6 PJ (1,82 TWh, 360 milj. m³). Yksi mahdollisuus biokaasun käytön edistämiseksi olisi maa- ja biokaasun yhteiskäyttö.

Taulukko 4. Raaka-ainevarojen perusteella tehty arvio liikenteen biopolttoaineiden tuotantopotentiaaleista Suomessa, kilpailevia käyttökohteita raaka-aineille ei huomioitu (Mäkinen & Sipilä 2003).

Polttoaine	Potentiaali, PJ/a (Mtoe/a)
RME tai viljapohjainen etanoli kesantopelloilta	2 - 4,2 (0,05 - 0,1)
Biokaasu	4,2 (0,10)
Kierrätyspolttoaine synteetisikaasupohjaisiin tuotteisiin	2 - 4,2 (0,05 - 0,1)
	(bion osuus)
Sulfaattiselluprosessin sivutuotteet	2 (0,05) suopadiesel
– suopapohjainen dieselpolttoaine, sivutuote metanoli	1,3 (0,03) metanoli
Lisäpuu energiamarkkinoille, pääasiassa metsähake ensiharvennuksista ja päätehakuista	
– 36–84 PJ:n (0,86 – 2,0 Mtoe/a)	12,6 - 42 (0,3 - 1,0)
lisäys vuoden 1999 tasosta vuoteen 2010	EtOH, MeOH
Yhteensä	24 - 58 (0,6 - 1,4)

3.5 Lähdeviitteet ja lisätietoja

Czernik, S. and Bridgwater, A. V. 2004. Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil. *Energy Fuels*, 18(2), ss. 590-598.

Elektrowatt-Ekono. 2003. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman arviointi. Raportti 60K03410-Q060-002. 19.02.2003.

Fortum 2004. Fortum - Öljytoiminnot - Öljytuotteet - Biotuotteet - Biobensiini. www.fortum.fi [Luettu 19.3.2004]

Fortum & Vapo. 2003. Foresteran kenttäkokeet päätöksessä. *Lehdistötiedote*. 20.11.2003

Fulton, L. 2002. Penetration of alternative fuels in the EU and potential impact on conventional fuels market. IEA. IFQC European Automotive Fuels Briefing. Pariisi, Ranska. 12.11.2002.

Helynen, S., Flyktman, M., Mäkinen, T., Sipilä, K. & Vesterinen, P. 2002. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. VTT, Espoo. VTT Tiedotteita 2145. 110 s. + liitt. 2 s.

Ikonen, M., Nylund, N.-O., Aakko, P., Laurikko, J., Eklund, T. ja Mäkelä, S. 2000. Katsaus ajoneuvoliikenteen polttoainevaihtoehtoihin. VTT, Espoo. VTT Energian raportteja 18/2000. 130 s.

Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT Tiedotteita 2081. Espoo.

McKeough, P. & Solantausta, Y. 2003. Techno-economic assessment of production of pyrolysis oil, Intermediate report for Tekes project "New Product Alternatives for Pyrolysis Technology", VTT Processes, December 2003.

Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2003. Liquid biofuels for transportation: production potential, utilisation and production costs in Scandinavia. International Nordic Bioenergy 2003 Conference. Jyväskylä, 2-5.9.2003.

Solantausta, Y. & Gust, S. 1994. Polttonestetuotanto biomassasta. Helsinki. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Energiaosasto.134 s. (Katsauksia B:185).

Solantausta, Y., McKeough, P. & Sipilä, K. 1997. Biopoltonesteet. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 105 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 5/1997).

Suomen biokaasukeskus ry. 2004. Biokaasulaitosrekisteri VI - Tiedot vuodelta 2002. <http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/> Luettu 17.2.2004

Tuhkanen, S. 2002. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. VTT, Espoo. VTT Tiedotteita 2142. 46 s.

Ympäristöministeriö 2003. Biojätestrategiatyöryhmän ehdotus kansalliseksi biojätestrategiaksi sekä sihteeristön muistio perusteluista. 25.4.2003. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=7346&lan=fi>

4 Metallien jalostus

Edellisistä luvuista poiketen metallinjalostusta ja mineraaliteollisuutta koskevat luvut on kirjoitettu toimialan, ei siis tietyn teknologian, näkökulmista. Lukujen tavoitteena on hahmottaa toimialojen merkitystä kansallisten hiilidioksidipäästöjen kannalta sekä toimialoilla käytettävissä olevia päästöjen vähentämiskeinoja ja niihin liittyviä teknisiä päästövähennyspotentiaaleja. Taloudellinen päästövähennyspotentiaali on teknistä potentiaalia vähäisempi, ja siitä on hyvin vaikea luoda kokonaiskuvaa.

Metalliteollisuus (toimialaryhmät 27 - 35) muodostuu metallien jalostuksesta (toimialaryhmä 27, aikaisemmin perusmetallien valmistus), metallituotteiden valmistuksesta (28), koneiden ja laitteiden valmistuksesta (29), sähköteknisestä teollisuudesta (30 - 33) ja kulkuneuvojen valmistuksesta (34, 35, StatFin 2004). Tässä yhteydessä tarkastelu kohdistetaan metallien jalostukseen, koska sen osuus on hyvin keskeinen koko metalliteollisuuden poltto- ja raaka-aineiden sisältämän energian käytön sekä hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta.

Taulukko 5. Metalliteollisuuden polttoaineiden käytön jakautuminen toimialoitain vuonna 2000. Yhteenvedo perustuu Tilastokeskuksen teollisuuden polttoaineiden käytöstä tehtyyn erilliselvitykseen (Energiatilaston 2002 liitetaulukko 18, Tilastokeskus 2003). Rajauseriaatteet vaikuttavat toimialojen tarkkoihin lukuarvoihin, joten taulukkoa voidaan pitää suuntaa-antavana.

Toimiala	TJ/a	% koko toimialasta
Raudan ja teräksen jalostus	65237	91
Muiden metallien jalostus	3117	4
Metallituotteiden valmistus	1555	2
Koneiden ja laitteiden valm.	894	1
Sähkötekn. ja opt.laitteiden valmistus	342	0
Kulkuneuvojen valmistus	692	1
Koko metalliteollisuus yhteensä	71837	100
josta metallinjalostus yhteensä	68354	95

Metallien jalostuksen toimiala voidaan jakaa edelleen terästeollisuuteen (raudan, teräksen, rautaseosten ja putkien valmistukseen sekä muuhun raudan ja teräksen jalostukseen, 271 - 273), värimetalliteollisuuteen (muiden kuin rautametallien valmistus, 274) ja valimoteollisuuteen (metallien valu 275).

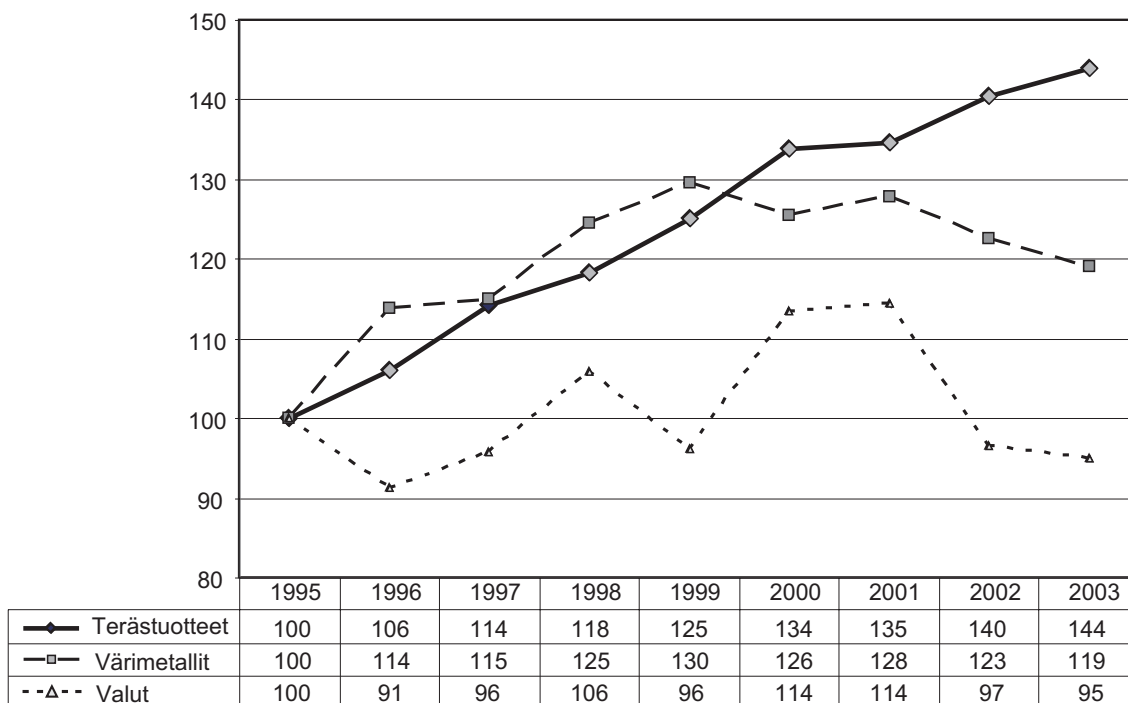
Raudan ja teräksen jalostus mukaanlukien valu vastasi 95 % metallinjalostuksen ja 91 % koko metalliteollisuuden polttoaineiden käytöstä (taulukko 5). Muiden metallien jalostuksen polttoaineiden käyttö oli 4 % koko metalliteollisuuden polttoaineiden käytöstä.

Taulukko 6. Metallinjalostuksen toimialojen sähkö- ja lämpöenergian kulutus ja osuudet vuonna 2001 Tilastokeskuksen Teollisuuden rakennetilaston mukaan (tiedot Statfin-järjestelmästä 3/2004). Sähköenergian kulutustiedot ovat todennäköisesti lämpöenergiatietoja kattavammat (tietoihin liittyy kuitenkin ongelmallisia rajauskysymyksiä).

Toimiala	MWh, sähkö	%	GJ, lämpö	%
Raudan, teräksen ja -seosten valm.	3058609	63	3577453	57
Putkien valmistus	56448	1	20553	0
Muu raudan teräksen yms. valm.	3219	0	?	?
Muiden kuin rautametallien valm.	1538129	31	2403686	39
Metallien valu	233035	5	224741	4
Metallinjalostus yhteensä	4889440	100	6226433	100

Koska metallien jalostuksen keskeisten prosessien ominaisuuksia kuvaavat energia- ja päästöparametrit ja tuotannon rakenne muuttuvat melko hitaasti, on kiinnostavaa tarkastella, miten tuotanto on kehittynyt ja kuinka suuria vuotuiset vaihtelut ovat olleet. Kuvissa 7 ja 8 sekä taulukossa 7 on havainnollistettu metallinjalostuksen alatoimialojen tuotannon kehittymistä vuoden 1995 jälkeen.

Määräindeksi, 1995=100%



Kuva 7. Metallinjalostuksen keskeisten toimialojen (terästuotteiden, värimetallien ja valujen) tuotannon määrän kehittyminen vuoden 1995 tuotantotasoon verrattuna (Teknologiateollisuus 2004).

Viime vuosikymmenen puolivälin jälkeen voimakkainta määrällinen kasvu on ollut terästuotteiden valmistuksessa, jossa tuotanto on kasvanut noin 44 % (vuoden 1995 tasosta). Kasvu on ollut vaatimattomampaa värimetallien kohdalla (+19 %). Valimoteollisuudessa tuotanto oli vuonna 2003 lähes vuoden 1995 tasolla ja ollut viime vuodet laskussa.

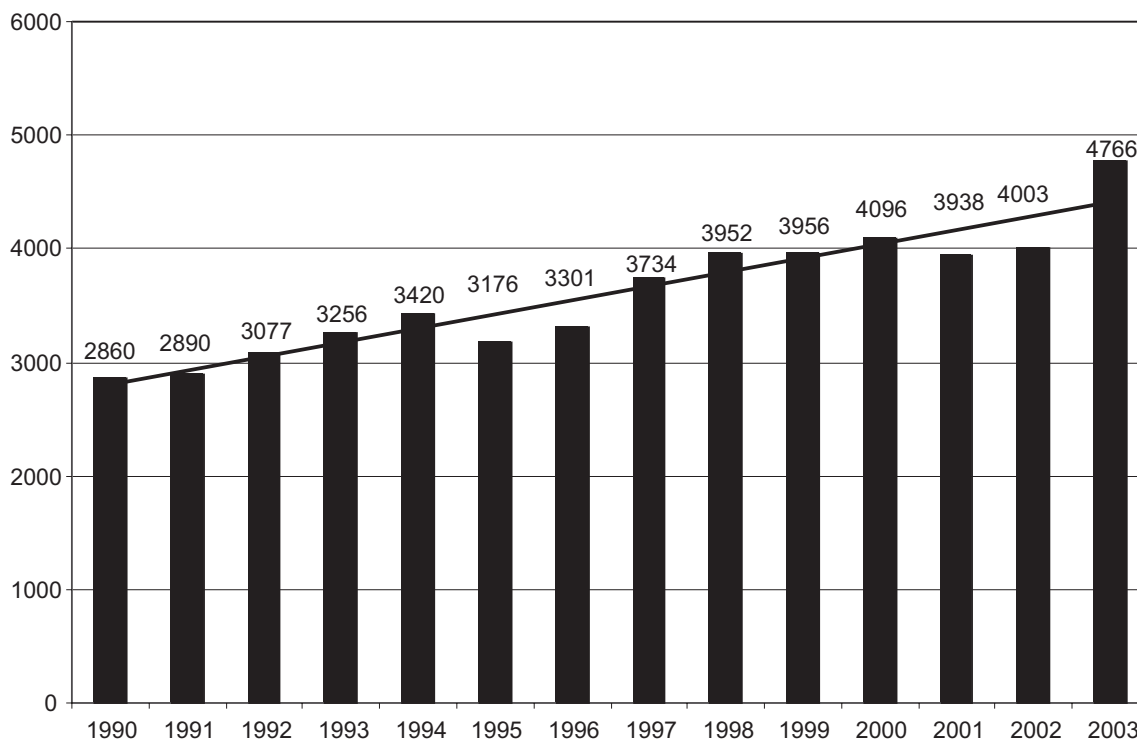
Terästuotteiden valmistuksen osuus metallien jalostuksen liikevaihdosta ja jalostusarvosta oli noin kaksi kolmasosaa vuonna 2003. Värimetallien osuus on noin neljännes ja valujen kymmenesosa. Metallien jalostuksen henkilöstön määrä oli vuonna 2003 lähes 16 000 henkilöä ja toimialalla oli 80 yritystä, joiden yhteenlaskettu liikevaihto oli 5,5 miljardia euroa ja jalostusarvo 1,15 miljardia euroa. Toimialan osuus Suomen tavaraviennistä oli yhteensä noin 8 % (3,9 miljardia euroa, Teknologiateollisuus 2004).

Taulukko 7. Keskeisten metallien tuotannon kehittyminen Suomessa vuosina 1995–2003 (Teknologiateollisuus 2004).

Metallien tuotanto	1000 t/a	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Kasvu 1995->2003,%
Rauta- ja teräs	Teräsaihiot	3176	3301	3734	3952	3956	4096	3938	4003	4766	50
	Valssaus tuotteet	3242	3272	3350	3716	3783	3903	3857	3975	4091	26
	Ferrokromi	232	236	236	231	256	261	236	248	251	8
Muut metallit	Kupari	74	111	116	123	115	114	115	115	126	70
	Sinkki	177	176	175	199	225	223	249	235	266	50
	Nikkeli	18	29	35	43	53	54	55	55	51	183
	Alumiini	34	34	38	41	43	43	34	28	24	-29

Teräsaihioiden tuotanto on kasvanut tarkasteltuna ajanjaksona 50 %. Tuotanto kasvaa edelleen tiedossa olevien vuonna 2003 toteutettujen ja päätettyjen lähiaikoina toteutuvien investointien vuoksi. Tällä seikalla on varsin keskeinen merkitys kansallisten kasvihuonekaasupäästöjen kehityksen kannalta. Taulukossa 7 mainittujen metallien lisäksi metallinjalostuksen toimialalla tuotetaan kultaa, hopeaa, elohopea ja kadmiumia, mutta näiden merkitys toimialan kasvihuonekaasupäästöjen suhteen on niin vähäinen, ettei niitä tässä yhteydessä tarkastella lähemmin.

Teräsaihiotutanto, kt/a

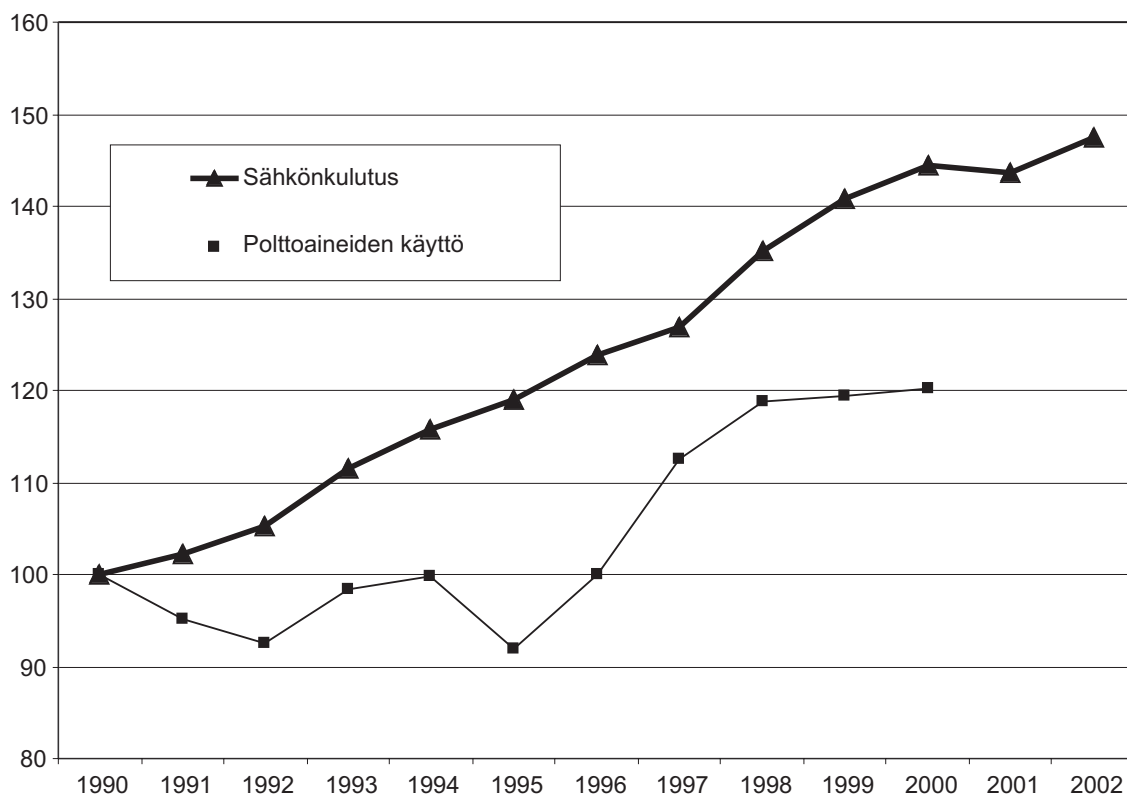


Kuva 8. Teräsaihioiden tuotanto Suomessa vuosina 1990–2003 (kooste MET:n ja Teknologiateollisuuden tilastoista).

Hiilidioksidipäästöjen kehittymisen kannalta nimenomaan teräsaihiotutannon selvä kasvutrendi ja tiedossa olevat vuoden 2002 jälkeiset investoinnit ovat kansallisen ilmastostrategian kannalta asioita, joihin tulee varautua. Siksi seuraavissa luvuissa tarkastelu kohdistetaan terästeollisuuteen sen ollessa metallinjalostuksen keskeisin hiilidioksidipäästöjä aiheuttava toimiala.

Suomalaisen tuotannon mittakaavassa energiankäytön ja kasvihuonekaasupäästöjen kannalta keskeisimmät tarkastelukohteet muodostuvatkin malmipohjaisen ja ruostumattoman teräksen (ml. ferrokromi) valmistuksesta ja niiden jatkojalostuksesta sekä vähäisemmässä määrin kuparin, nikkelin ja sinkin sekä romupohjaisten terästuotteiden valmistuksesta. Metallien valua, putkien valmistusta sekä muuta raudan ja teräksen jalostusta & muuta rautaseosten valmistusta (toimialaa 273) ei tässä yhteydessä tarkastella yksityiskohtaisemmin niiden muodostaessa alle 6 % metallinjalostuksen sähkön ja noin 4 % lämpöenergian kulutuksesta.

Indeksi 1990=100



Kuva 9. Metallinjalostuksen sähkönkulutuksen kasvu (v. 1990 100 %) perustuen energiatilastoon ja polttoaineenkulutus perustuen tilastokeskuksen erillisselvitykseen.

Kuvan 9 lukuarvoja tulkittaessa tulee ottaa huomioon, että ne ovat eri lähteistä (rajaukset poikkeavat) ja erityisesti polttoaine-energian osalta luvut ovat vain suuntaa antavia. Tämä johtuu siitä, että ko. aikavälillä tilastointiperiaatteet ja rajaukset ovat muuttuneet. Metallinjalostuksen toimialan sähköenergian kulutus vuonna 2002 oli yhteensä 4,7 TWh eli 10,6 % teollisuuden sähkön kulutuksesta (Tilastokeskus 2003).

Metallinjalostuksen toimialalla ilmastokysymyksen kannalta keskeisiä toimipaikkoja on vähän ja niiden prosessit ovat Suomen mittakaavassa ”yksilöitä”. Näiden seikkojen vuoksi tarkastelut joudutaan tekemään toimipaikkakohtaisina. Yleistä tilastotietoa voidaan käyttää tilastolain salaussäännösten vuoksi vain rajoitetusti hyväksi, koska alle kolme toimipaikkaa sisältävien luokkien tietoja ei julkaista. Tiedot perustuvat suurelta osin yrityksiltä julkisena saatuun materiaaliin.

Tähän yhteenvedoon on koottu yleiskuva rautametallien tuotannon ja jalostuksen tiedoista. Tietoja on kerätty mm. laitosten hiilipitoisten syötteiden käytöstä, päästöistä ja niiden vähennysmahdollisuuksista.

4.1 Teräksen valmistus Suomessa

Suomessa on neljä terästä valmistavaa tehdasta, jotka kaikki kuuluvat päästö-kauppajärjestelmän piiriin. Rautaruukki-konserniin kuuluvat Raahen ja Koverharin terästehtaat, Outokumpu-konserniin kuuluvat Tornion terästehtaat (Outokumpu Stainless Oy) ja Imatran terästehdas (Imatra Steel Oy Ab), joka kuuluu Wärtsilä-konserniin.

Rautaruukin Raahen ja Koverharin tehtaat ovat integroituja terästehtaita, jotka käyttävät sekä malmia että romua raaka-aineenaan ja perustuvat masuuniteknologiaan. Terästeollisuuden hiilidioksidipäästöistä ylivoimaisesti suurin osa syntyykin juuri koksien ja muiden pelkistysaineiden käytöstä masuunissa malmipohjaisen raudan valmistamiseksi. Koksien valmistuksessa syntyvät koksikaasut hyödynnetään tehtaissa muissa prosesseissa.

Outokumpu Stainless (entinen AvestaPolarit) valmistaa ruostumatonta terästä Torniossa sähköenergiaa hyödyntävällä prosessilla, jossa raaka-aineena on romu ja malmipohjainen ferrokromi. Imatra Steel tekee terästä sähköenergiaa ja romua hyödyntävän valokaariuuniprosessin avulla. Kierrätysteräksen tuonti on kasvanut viime vuosina erittäin voimakkaasti ollen vuonna 2003 877 kt/a (Teknoliateollisuus 2004).

Tarkasteltavien terästehtaiden lisäksi toimialan muita keskeisiä tuotantoyksiköitä ovat mm. Rautaruukin Hämeenlinnan ja Dalsbrukin tehtaat ja niiden jatkojalostusprosessit sekä Rautaruukin yli kymmenen muun toimipaikan jatkojalostusprosessit. Raudan ja teräksen valmistuksen toimialaan kuuluu lisäksi putkien ja rautaseosten valmistusta sekä raudan ja teräksen valua. Näiden toimialojen toimintoja ei tarkastella tässä yhteydessä tarkemmin.

Terästeollisuuden keskeisin nykyteknologia perustuu pitkälle kehitettyyn masuuni-teräskonvertteri-ketjuun ja se on vallitseva teknologia maailmassa vielä pitkään. Raakarauta tuotetaan masuuneilla, joissa raudan oksidit pelkistetään raakaraudaksi häkä- ja vetykaasun avulla. Niitä syntyy, kun kivihiilestä valmistettu koksi ja öljynjalostuksen sivutuotteena saatava erikoisraskas pohjaöljy palavat masuunissa. Syntyvää masuunikaasua hyödynnetään masuuniin puhallettavan ilman esilämmityksessä sekä sähköntuotannossa. Pelkistysaineiden hiili vapautuu lopulta ilmakehään hiilidioksidina. Malmipohjaisen teräksentuotannon poltto- ja raaka-aineiden sisältämän energian tarve on noin kuusinkertainen romupohjaiseen verrattuna. Tämä johtuu osaksi siitä, että raudan pelkistäminen malmista hiilen avulla vaatii kemiallista energiaa. Primäärienergiassa tarkasteltuna malmipohjaisen teräksen valmistuksen kulutus on kaksinkertainen ja hiilidioksidipäästöjä aiheutuu noin nelinkertainen määrä kierrätettyyn teräkseen perustuvaan tuotantoon verrattuna (Rautaruukki 2004b).

Myös teräksen valmistus romusta valokaariuunein on kypsä ja kustannustehokas tapa valmistaa terästä, ja sen CO₂-ominaispäästöt ovat malmipohjaista valmistusketjua vähäisemmät. Romupohjainen tuotanto käyttää raaka-aineenaan kierrätysterästä, jota ei tarvitse pelkistää. Romupohjaisen valmistuksen sähköntarve on kuitenkin yli kaksinkertainen malmipohjaiseen verrattuna.

Maailman kasvavan teräsenkulutuksen tyydyttämiseksi terästä on valmistettava sekä rautamalmista että romusta. Vuonna 2003 maailman suurin teräksentuottajamaa Kiina kasvatti tuotantoaan 21 % eli lähes 38 Mt. Maailman terästuotanto kasvoi 7 % eli yli 61 Mt tasolle 965 Mt/a vuonna 2003 (IISI 2004). Pitkäikäisiin terästuotteisiin sitoutunut kierrätysteräs ei ole vielä sähköuunien saatavilla ja tehokkaista maailmanlaajuisista kierrätysmarkkinoista riippumatta osa teräksestä jää palaamatta kiertoon muun muassa prosessihäviöistä johtuen. Romupohjaisen sähköteräksen valmistuksen suhteellinen osuus vuonna 2003 oli 33 % koko maailmassa ja Euroopassa vastaavasti 40 % (IISI 2004). Osuus kasvaa vähitellen.

Seuraavissa luvuissa kuvataan malmipohjaisen, ruostumattoman ja romupohjaisen teräksenvalmistuksen prosessit ja keskeiset hiilidioksidipäästöjen lähteet.

4.1.1 Malmipohjaisen teräksen valmistus, Raahen ja Koverharin terästehtaat

Rautaruukki on korkean jalostusasteen erikoistuotteiden valmistukseen keskittynyt teräsyhtiö, jolla on toimintaa 22 maassa. Konsernin päämarkkina-alue on Pohjoismaat ja Baltian maat. Rautaruukin liikevaihto vuonna 2003 oli 2,95 miljardia euroa ja henkilöstö 12 000, joista noin 60 % työskenteli Suomessa. Rautaruukin Raahen terästehdas on pohjoismaiden suurin terästehdas. Rautaruukin päätuotteita ovat teräslevyt, -putket, -tangot ja -langat sekä teräksestä valmistetut rakentamisen tuotteet. Konsernin tärkeimmät asiakastoimialat ovat rakentaminen, meriteollisuus, auto- ja kuljetusvälineiteollisuus, konepajateollisuus, sähkö- ja elektroniikkateollisuus sekä kodinkoneteollisuus. Teräksenvalmistajana kansainvälinen konserni on eurooppalaista keskikokoa 4,57 Mt:n vuosituotannolla. Rautaruukin toiminta perustuu pääosin konsernin omaan kustannustehokkaaseen terästuotantoon.

Raahen ja Koverharin terästehtaiden valmistusprosessit ja voimalaitosyksiköt kuuluvat päästökaupan piiriin kansallisen tulkinnan mukaisesti. Päästökauppadirektiivin liitteen 1 rajauserittely kattaa teräksen valmistuksen prosessit jatkuvaluun asti (EC 2003a).

4.1.1.1 Malmipohjaisen terästuotannon kehittyminen

Rautaruukin terästuotanto on kasvanut melko tasaisesti koko 1990-luvun lukuun ottamatta vuotta 1995, jolloin tuotanto putosi lähes 300 kt/a palaten sen jälkeen takaisin kasvu-uralle (taulukko 8).

Raahen terästehtaan tuotanto kasvoi merkittävästi syksyllä 2002, jonka jälkeen se on toiminut tasolla 2,8 Mt/a, mikä ei vielä masuunin korjausten vuoksi näkynyt vuoden 2002 tuotantotilastossa eikä näin ollen myöskään vuoden 2002 päästötasoissa.

Taulukko 8. Raahen ja Koverharin terästehtaiden tuotannot vuosilta 1980–2002 (Kooste Rautaruukin ja Fundian julkaisuista).

Vuosi	Terästuotanto, kt/a		Mt/a Yhteensä
	Koverhar	Raahe	
1980	445	1640	2.085
1981	421	1620	2.041
1982	392	1680	2.072
1983	399	1630	2.029
1984	434	1770	2.204
1985	455	1610	2.065
1986	454	1680	2.134
1987	471	1750	2.221
1988	486	1830	2.316
1989	497	1940	2.437
1990	479	1920	2.399
1991	426	2050	2.476
1992	463	2100	2.563
1993	466	2200	2.666
1994	457	2270	2.727
1995	421	2010	2.431
1996	537	2020	2.557
1997	542	2350	2.892
1998	550	2500	3.050
1999	547	2520	3.067
2000	567	2564	3.131
2001	514	2565	3.079
2002	534	2562	3.096
2003	640	2798	3.438

4.1.1.2 Malmipohjaisen teräksen valmistusprosessit

Teräksen valmistusprosessi Raahessa alkaa koksen valmistuksesta ja rautarikasteen sintrauksesta. Raakarauta syntyy kahdessa masuunissa ja teräs konverttereissa. Teräs seostetaan ja valetaan aihioiksi, jotka kuumennetaan ja valssataan teräslevyiksi tai teräsnauhaksi. Malmin käyttöön perustuvan teräksen valmistuksen suurimmat ympäristövaikutukset syntyvät prosessin alkupäässä.

Raaka-aineet tehdasalueelle tuodaan pääosin Rautaruukin sataman kautta. Pääraaka-aineista rautarikaste tuodaan pääosin Pohjois-Ruotsista (ja Mauritaniasta), kalkkikivi Götlandista ja kivihiili lähinnä Puolasta. Pelletit tuodaan junalla Kostamuksesta Venäjältä. Masuuniin injektoitava erikoisraskas pohjaöljy tulee Fortumin öljynjalostamolta.

Raahan terästehtaalla sijaitsevat:

- koksamo
- kalkinpolttamo (kaksi Nordkalk Oyj:n omistamaa kuilu-uunia)
- happitehdas (Polargasin omistuksessa)
- sintraamo
- masuunit (2 kpl)
- terässulatto (3 konvertteria)
- valssaamo (yksi levy- ja yksi nauhavalssaamo)
- voimalaitos (kaksi kattilaa)
- romuterminaali.

Taulukko 9. Raahan terästehtaan yksiköiden kapasiteettitietoja (Rautaruukki Steel 2001).

Raahan terästehtaan yksiköiden kapasiteettitietoja (Rautaruukki Steel)	
Koksaamo tuotantotietoja	
Tuotantokapasiteetti	910 kt/a
Koksikaasua	460 milj m ³ /a
Korkeapainehöyry (90bar)	450 kt/a
Matalapainehöyry	50 kt/a
Kivihiihitervaa	42 kt/a
Raakabentseeniä	11 kt/a
Rikkiä	1.5 kt/a
Sintraamon vuosituotanto	
Sintteriä	2.7 milj. t/a
Masuunit (2 kpl)	
Tuotantokapasiteetti	1.25 milj. t/a per masuuni
Granuloitua kuonaa (raakaraudan hiilipitoisuus 4,4 %)	500 kt/a
Sintteripanostus	1150 kg/t, raakarautaa
Rautapellettejä	390 kg/t, raakarautaa
Puhallusilmaa	950 m ³ /t, raakarautaa
Happea	45 m ³ /t, raakarautaa
Pelkistysaineita (koksia+erik.rask.pö)	440 kg/t, raakarautaa
Konvertteriprosessi (3 x LD-KD)	
Tuotantokapasiteetti	2.8 milj. t/a
Senkkametallurgiaprosessi	
Energiankulutus (dT=40C)	20 kWh/t
Jatkuvavalukoneet	
Määrä	5 kpl
Levyvalssaamo	
Levyvalssaimen kapasiteetti	700 kt/a
Nauhavalssaamo	
Nauha valssaimen kapasiteetti	2.1 Mt/a
Esikäsittely-yksikkö	
Pintakäsittely, leikkaus, viisteytys, taivutus ja suikalointi	

Koksaamalla valmistetaan kivihiilestä koksia. Rautarikasteet sintrataan kappalemuotoon sintraamalla. Masuunissa sintterin ja pelletin sisältämät raudan oksidit pelkistetään raakaraudaksi. Pelkistysaineena käytetään koksia ja öljyä. Konvertterissa raakaraudan sisältämä hiili poltetaan hapella. Romu lisätään konvertteriin. Konvertterin jälkeen osa teräksestä käsitellään senkkauunissa ja vakuuimissa. Lopuksi teräs valetaan aihioiksi ja valssataan kahdella valssauslinjalla teräslevyiksi ja teräsnauhaksi.

Tehdasalueella toimii Nordkalk Oyj Abp:n omistama kalkinpolttamo, joka valmistaa tehtaalla tarvittavan poltetun kalkin. Kalkinpolttamo käyttää polttoaineenaan koksaamon sivutuotteena syntyvää koksikaasua. Prosesseissa tarvittava happi saadaan tehdasalueella sijaitsevalta Polargas Oy Ab:n happitehtaalta.

Koksikaasujen puhdistusprosessissa saadaan sivutuotteina kemian teollisuuden raaka-aineena käytettäviä tervaa, rikkiä ja bentseeniä. Teräksen valmistuksen sivutuotteena syntyy kuonia, joita käytetään maa- ja tierakentamisessa, rakennusaineteollisuudessa sekä kalkitusaineena. Näiden sivutuotteiden hiilipitoisuus on niin vähäinen, ettei sitä oteta toistaiseksi tasetarkastelussa huomioon.

Raahen terästehtaan kuumavalssatuista levy- ja kelatuotteista käytetään yli 60 % Rautaruukin sisäiseen jatkojalostukseen. Suurin osa teräsnauhakeloista kuljetetaan Hämeenlinnan tehtaalle kylmävalssattavaksi ja pintakäsiteltäväksi (pinnoitus). Kuumavalssattua teräsnauhaa käyttävät myös konsernin putkitehtaat. Lähes kaikki kuumavalssatut teräslevyt toimitetaan suoraan asiakkaille, kuten telakoille, konepajoille ja rakennusteollisuudelle.

Yli puolet tehtaan tarvitsemasta sähköenergiasta tuotetaan omalla höyryvoimalaitoksella, jossa käytetään polttoaineena tervaa, masuuni- ja koksikaasua sekä raskasta polttoöljyä.

Koverharin tehtaan kapasiteetti ja laitteistot ovat pienemmät kuin Raahessa ja se on siirtynyt vuonna 1995 sataprosenttisesti tuontipellettien käyttöön. Syynä oli sinttraamon lopettaminen ympäristösyistä, jolloin CO₂-, SO₂- ja NO_x- ja pölypäästöt vähenivät ja koksimurskan vuotuinen kulutus väheni 34 000 t, kevyen polttoöljyn 1360 t/a ja sähköenergian kulutus 13,6 GWh/a (Tekes 1998). Koverharin prosessi käyttää kalkkikiveä pellettipanoksesta johtuen. Lisäksi laitos on käyttänyt pieniä määriä poltettua kalkkia, joka ostetaan ulkopuoliselta yhtiöltä.

Koverharin tehtaan yhteydessä ei sijaitse koksaamo, sintraamo, valssaamoja eikä kalkinpolttamo, vaan panokset rahdataan laitokselle ja lopputuotteet jatkojalostetaan muissa Fundian yksiköissä (enimmäkseen Dalsbrukin valssaamossa, jonka CO₂-vuosipäästö on noin 42 kt/a, Hemminki 2003).

4.1.1.3 Hiilipitoiset tuotantopanokset, käyttökohteet ja päästölähteet

Raahan terästehtaan hiilipitoisten syötteiden tarkastelemiseksi tiedot kerättiin niiden käyttökohteista, hiilisisällöstä sekä syötteiden vaihtomahdollisuuksista.

Kalkkikiveä, joka on suurimmaksi osaksi kalsiumkarbonaattia, käytetään tehtaan kalkinpolttamolla ja sintraamossa. Kalsiumkarbonaatin hajotessa korkeassa lämpötilassa se vapauttaa merkittäviä määriä hiilidioksidia.

Raahan tehtailla masuuniin injektoitavana materiaalina käytetään erikoisraskasta pohjaöljyä. Maakaasun injektioita käytetään mm. Venäjällä. Myös muita injektoitavia yhdistelmiä on käytetty: esimerkiksi hiili-öljyseosta, hiili-kivihiilitervaseosta ja hiili-vesiseosta. Suomessa VTT on tutkinut Rautaruukin kanssa myös muoviöljy-injektion mahdollisuuksia (Tekes 1998). Periaatteessa myös puuhiiltä voitaisiin injektoida masuuniin, mutta kustannus- ja saatavuustekijät rajoittavat sen käyttöä.

Rautaruukin masuunit käyttävät vähän pelkistysainetta ja aiheuttavat siten vähemmän CO₂-päästöjä verrattuna moniin muihin eurooppalaisiin masuuneihin eurooppalaisessa masuunikomiteassa vuosittain tehtävän tietokannan perusteella (Hemminki 2003).

Metallurgista kivihiiltä käytetään tehtaan koksamolla, josta koksikaasua johdetaan tehtaan eri prosessien käytettäväksi.

Taulukko 10. Puhdistamattoman ja puhdistetun koksikaasun suuntaa-antava koostumus lähteen (Lilja 1997) mukaan. Tunnistamattomasta aineksesta on noin puolet eteeniä ja loput eteeniä lähellä olevia hiilivetyjä.

Aine	Ammoniakkilaitokselle tuleva koksikaasu t-%	Puhdistettu koksikaasu t-%
H ₂	50.9	51.4
CH ₄	20.7	20.9
CO	6.2	6.3
CO ₂	1.8	1.8
C ₂ H ₆	0.6	0.6
N ₂	11.6	11.8
O ₂	0.4	0.4
H ₂ S	0.5	0.4
Tunnistamaton*	2.7	2.5
HCN	0.1	0.1
NH ₃	0.9	0.0002
indeeni	0.01	0.003
ksyleeni	0.02	0.06
naftaleeni	0.008	0.0004
tolueeni	0.07	0.016
bentseeni	0.5	0.5
H ₂ O	3	3.2

Merkillepantavaa on se, että käytännössä prosessikaasujen lämpöarvot ja hiilipitoisuudet vaihtelevat jatkuvasti ja niitä analysoidaan. Näin saadaan joka vuodelle uudet tarkemmat kertoimet. Pienetkin erot keskeisissä kertoimissa aiheuttavat päästötietoihin suuria eroja Suomen kansallisen päästöinventaarin ja käynnistettävän päästökauppajärjestelmän välillä. Käytettävien kertoimien mahdollista harmonisointi- ja päivitystarvetta ja käyttöä tulisikin jatkossa pohtia huolellisesti.

Koksia panostetaan masuuniin, käytetään sulatolla ja hieno jae sekä murske hyödynnetään sintraamalla.

Kevyttä polttoöljyä laitoksella käytetään koksamolla, masuunissa ja sulatossa sekä kuljetuksissa.

Raskasta polttoöljyä käytetään nauhavalssaamalla sekä molemmissa alueen voimalaitoskatiloissa.

Nestekaasua käytetään erityisesti nauhavalssaamalla kuumennusuuneissa ja jonkin verran muissa prosesseissa.

Taulukko 11. Ehdotus syötteistä aiheutuvien hiilivirtojen jaottelemiseksi korvattavuudeltaan erilaisiin luokkiin.

Päästöt raaka-aineista (joita on erittäin vaikeaa korvata)

- kalkkikivestä syntyvä osuus
- koksen käytöstä syntyvä osuus
- ja ehkä (osittain tai kokonaan) erikoisraskas polttoöljy, koska se osallistuu pelkistysprosessiin, jonka muutokset ovat vaikeita.

Päästöt energiasivutuotteista (joille tulee löytää arvokkain käyttökohde)

- tervasta
- masuunikaasusta
- koksikaasusta
- (ja tulevaisuudessa konvertterikaasusta, mikäli talteenottoinvestointi toteutetaan)

Päästö lämpöenergian tuottamiseen käytettävistä polttoaineista (joita voidaan periaatteessa korvata toisilla)

- nestekaasusta
- kevyestä ja raskaasta polttoöljystä

Myytäviin tuotoksiin sitoutunut hiili (jotka tulee vähentää hiilitaseesta)

- bentseeni
- terva
- teräs

Teräsintegraatin hiilivirtojen jäljittäminen prosessitasoille on erittäin työlästä ja vaikeasti todennettavaa (taulukko 11). Koska kaasumaisten sivutuotepolttoaineiden käyttökohteita voidaan muuttaa, tulisi päästötarkastelu toteuttaa laskennalli-

senä hiilitaseena teräsintegraatin kokonaisuuden tasolla. Analyysissä on otettava huomioon, että kaasuvirtausten mittaaminen on epävarmempaa kuin massataseiden tarkastelu.

4.1.1.4 Raahan ja Koverharin terästehtaiden CO₂-päästöt

Teräsintegraatin tehdastason hiilitasetta tarkasteltaessa syötteiden ja tuotosten avulla lasketut lukuarvot ja kaasumittausten perusteella lasketut yksikköprosessikohtaiset lukuarvot poikkeavat hieman toisistaan. Tähän vaikuttavat monet seikat. Tehtaalla käytetään kahdeksaa eri hiililaatua, joiden lämpöarvot ja kosteus vaihtelevat, romun ja kalkkikiven hiilipitoisuudessa saattaa esiintyä pieniä poikkeamia, massamittausten virheet ovat prosentin suuruusluokkaa, ja kaasumittausten virheet selvästi suurempia 5 - 10 % suuruusluokkaa. Sivutuotekaasujen (koksi- ja masuunikaasu sekä lähitulevaisuudessa mahdollisesti konvertterikaasu) ominaisuudet vaihtelevat hieman raaka-aineissa tapahtuvien muutosten mukaisesti. Monien erilaisten tuotantoyksiköiden raportointikäytännöissä saattaa myös esiintyä eroavaisuuksia, jolloin eri lähteistä saadut tiedot eivät aina täsmää tarkasti. Tarkassa analyysissä myös varastojen muutokset tulisi ottaa huomioon. Tässä sovellettava ajattelutapa perustuu syötteiden ja tuotosten hiilisisältöjen eron laskemiseen. Tässä esitetty taselaskelma ei ole ”lopullinen eikä staattinen” tonnitason tarkastelussa, joten lukujen tarkentuminen lähivuosina kertomien, laskentaperiaatteiden ja ohjelmistojen kehittyessä tulee ottaa huomioon. Tietojen vähittäinen tarkentuminen on asia, joka olisi otettava mahdollisuuksien mukaan huomioon myös hiilidioksidipäästölupaprosessien ja päästöjen tarkkailujärjestelmien kehittämisessä.

Prosessitason tarkasteluissa tulee ottaa huomioon, että kyseessä on pitkälle integroitu tuotantolaitos, jossa kaasu- ja lämpövirtojen kulkua on optimoitu energiataloudellisenä kokonaisuutena. Esimerkiksi koksikaasua käytetään lähes kaikissa tehtaan prosesseissa. Tästä seuraa, että tehdasintegraattia tulisi tarkastella mahdollisimman kokonaisuutena ”hiilitasealueena”. Näin välttyttäisiin paikallisoptimoinnilta, joka saattaa johtaa epätarkoituksenmukaiseen energiankäyttöön, integraatin ominaispäästöjen kasvuun ja negatiivisiin vaikutuksiin terästuotteiden päästökehityksen kannalta.

Taulukko 12. Raahan terästehtaan hiilidioksidipäästöarviot prosessiryhmittäin yhdisteltynä ja prosessiryhmien ominaispäästötasot vuodelle 2002 (Yhtiön käyttämät allokointiperiaatteet, tiedot aggregoitu, Rautiainen 2003).

Tuotantolaitos	Tonnia CO ₂ /vuosi			Ominaispäästö, v2002 kgCO ₂ /t,terästä
	2002	2001	2000	
Koks+Sintr+Mas+Sulatto	2367326	2425670	2419438	924
Voimalaitos	1732282	1747524	2000157	676
Valssaamot+muut	234326	244771	240126	91
Kalkinpolttamo (Nordkalk Oyj)	217545	220652	218978	85
Yhteensä tCO₂/a	4551480	4638617	4878699	1776

Raahen terästehtaan hiilidioksidin ominaispäästö kaikki prosessit huomioon otettuna (ml. Nordkalk Oyj:lle ulkoistettu kalkinpolttamo) oli vuonna 2002 1,78 tCO₂/t, terästä (taulukko 12, Rautiainen 2003).

Edellisissä taulukoissa Raahen terästuotannon loppuvuonna 2002 toteutettu nosto tasolle 2,8 Mt/a ei vielä näy, joten vuonna 2003 kokonaishiilidioksidipäästöt tullevat olemaan jopa 9 % vuoden 2002 tasoa korkeammat eli lähes 5 MtCO₂/a. Koverharin tehtaan terästuotanto on vaihdellut 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa 400 - 640 kt/a välillä ja hiilidioksidipäästöt 750 - 910 kt/a välillä.

Rautaruukin terästehtaiden lisäksi päästöjä syntyy Hämeenlinnan tehtaalta noin 95 ktCO₂/a ja Dalsbrukin valssaamolta noin 42 ktCO₂/a. Koko Rautaruukki-konsernin kaikkien toimipaikkojen (mukaan lukien jatkojalostusyksiköt ja Raahen Nordkalkin kalkinpolttamo) hiilidioksidin kokonaispäästöt vuonna 2002 olivat 5,75 Mt ja tätä vastaava ominaispäästöindeksi 1858 kgCO₂/t,terästä (Hemminki 2003).

Edellä esitetyt hiilidioksidipäästötiedot perustuvat yhtiön toimittamiin ja julkaisemiin lähtötietoihin ja laskelmiin ja ne tarkentuvat yksityiskohdissa lähitulevaisuudessa päästökaupan laskentamenetelmien kehittyessä. Eri laitosten päästöjä laskettaessa on syytä korostaa myös laskentamenetelmien vaikutuksia vuosipäästöestimaatteihin. Virtausmittausten, hiilipitoisuusanalyysien ja päästökertoimien epävarmuudet ja varastokorjaukset ym. seikat periaate-eroineen saattavat vaikuttaa jopa 100 ktCO₂/a tasolla laskentatarkkuuteen. Päästötarkasteluiden epävarmuuden hallinta onkin aihepiiri, jota tulisi kehittää systemaattisesti päästökauppajärjestelmän käynnistämisen yhteydessä.

4.1.1.5 Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot

Konsernin CO₂-päästöjen muodostumisen kannalta suurin osa hiilidioksidipäästöistä aiheutuu pelkistysaineista ja niiden valmistuksesta eli erikoisraskaan polttoöljyn käytöstä masuuneissa (14 %) ja koksintarpeesta sekä koksaaon sivutuotteista (77 %), joita on erittäin vaikea korvata masuuniprosessiin perustuvassa teräksenvalmistuksessa muilla syötteillä. Myöskään kalkkikiven käytölle prosessissa ei ole vaihtoehtoa (päästöosuus noin 4,3 % konsernin CO₂-päästöistä).

Erikoisraskaan polttoöljyn käyttöä masuuniin injektoitavana materiaalina on maksimoitu ja sille vaihtoehtona on lähinnä hiilipöly, jolloin päästöt kuitenkin kasvaisivat nykytasoltaan. Yhtiö on tehnyt paljon työtä masuunissa tarvittavan koksen vähentämiseksi injektoitavaa materiaalia lisäämällä, eikä vähennyspotentiaalia ole tässä juurikaan tiedossa. Injektoitavan hiilen osuuden korkea taso asettaa kovia vaatimuksia koksaaomolle hankittavalle metallurgiselle kivihiilelle. Koska hiiltä tarvitaan masuuniprosessissa sekä pelkistimenä (CO-kaasu) että energianlähteenä,

edellyttäisi siitä luopuminen kokonaan uuden teknologian käyttöönottoa. Periaatteessa injektoitava hiili voitaisiin korvata biologista alkuperää olevalla hiilellä tai muoviöljyllä, mutta kustannus- ja saatavuustekijät (sekä esim. hakkuujätteen kaasutusteknologian kehitystarpeet) estävät tällaisten vaihtoehtojen käyttöönoton. On todennäköistä, että saatavilla olevalle biomassalle löytyy ilmastokysymyksen kannalta huomattavasti edullisempia käyttökohteita (mm. turpeen ja kivihiilen korvaamisessa kattilalaitoksissa). Kokonaisuudessa prosessisyötteiden (poltto- ja raaka-aineet) korvausmahdollisuudet vähähiilisemmiksi ovat Rautaruukin prosesseissa hyvin vähäiset.

Toisen erottuvan syöteryhmän muodostavat kaasumaiset kuumentamiseen käytettävät markkinapolttoaineet (nestekaasu, maakaasu, propaani), joiden käyttöä voidaan pyrkiä vähentämään ainoastaan tehostamalla ao. prosesseja, tai Raahessa tehostamalla muita prosesseja, jolloin prosessien sivutuotteena ”joka tapauksessa” syntyvillä koksi- ja masuunikaasuilla voidaan korvata markkinoilta ostettavia polttoaineita (POR, POK, nestekaasu).

Biokaasua ei ole Rautaruukin yksiköiden läheisyydessä riittävästi saatavilla ja uusien kaasumaisten polttoaineiden tuotanto ja käyttö on vasta tutkimusasteella. Kiinnostavin pitkän aikavälin polttoaine olisi vety, jolle laitokselta löytyisi todennäköisesti runsaasti käyttökohteita. Terästeollisuus voisi pitkällä aikavälillä integroitua ”vetytalouden visioihin” vetypelkistykseen perustuvan teknologian kautta.

Materiaalien käytön hyötysuhdetta on kyetty parantamaan erilaisten metallipölyjen ja kuonien optimaalisella hyötykäytöllä omissa prosesseissa sekä muiden toimialojen raaka-aineina (jolloin CO₂-vähennykset kohdistuvat toimipaikan ulkopuolelle). Esimerkkeinä tästä ovat masuunikuonan käyttö maataloudessa, maarakentamisessa ja sementtiteollisuuden raaka-aineena korvaamassa kalkkikivistä valmistettavaa klinkkeriä. Romun ja/tai suorapelkistetyn raudan (DRI) käytön osuuden lisääminen suhteessa masuuniteknologialla tuotettuun raaka-rautaan ovat kuitenkin ensisijaisesti keino tuotantokapasiteetin kasvattamiseen, sillä merkittävä osa pääomasta on sitoutunut valmistusketjun alkupään rautaprosesseihin, jonka tuotantoa on kannattavuuden ylläpitämiseksi pyrittävä pitämään täysimääräisenä.

Romun käyttömäärät ovat olleet kasvussa ja vuonna 2001 Raahen tehtaalla käytettiin Suomesta ja Venäjältä hankittua romua 583 kt, mikä vastaa 23 % vuotuisesta 2,565 miljoonan tonnin terästuotannosta. Raahen teräsprosessissa hyödynnetäänkin kasvavasti romua nykyisen käyttötason ollessa noin 27 % teräsprosessin raaka-aineesta. Romun osuuden kasvattaminen 30 % tasolle on mahdollista. Kaiken kaikkiaan Rautaruukki-konserni käyttää lähes kaksi miljoonaa tonnia teräsromua, josta 30 % on konsernin omista toiminnoista syntyvää ja 70 % ulkopuolelta hankittua romua (Rautaruukki 2003b).

Lyhyellä aikajaksolla keskeiset hiilidioksidipäästöjen vähentämiskeinot ovat luonteeltaan energian käytön tehostamiseen tähtäviä toimia. Yhtiö suunnittelee energiankäytön tehostamishankkeita ja sillä on laadittuna energiankäytön tehostamissuunnitelma, jonka merkittävimmät aihepiirit ovat (huom. toteutusajankohdat eivät ole varmoja):

1. Konvertterikaasun talteenotto

- terässulaton konvertterikaasun talteenotto prosessikäyttöön
- energiankäytön tehostuminen -0,70 GJ/t, terästä, toteutus ehkä 2005
- projektin avulla nestekaasun käytöstä Raahessa voitaisiin lähes luopua, mikä merkitsisi arviolta noin 90 ktCO₂/a päästövähennemää.

2. Voimalaitoksen modernisointi

- arvio modernisoinnin energiankäytön tehostumisesta on -1,33 GJ/t, terästä.

Toimenpide vaikuttaa kuitenkin vain vähän laitoksen omiin päästöihin. Vaikutukset kohdistuvat lähinnä ostosähkön osuuden vähentymiseen, ellei laitoksessa tarvittavan POR:n määrää vähennetä (POR:sta syntyvä CO₂-päästö voimalaitoksessa oli vuonna 2002 9300t). 1990-luvun lopussa yhtiö suunnitteli masuuni- ja konvertterikaasujen hyödyntämistä nykyistä kattilalaitosta korkeamman rakennusasteen kombivoimalaitoksessa (jonka kustannusarvio oli tuolloin noin miljardi markkaa ja hankkeella saavutettavissa oleva vuotuinen päästövähennemä 146 - 219 - 657 kt/a vastaten korvatus sähkönsä laskennallisia ominaispäästökertoimia 0,2 - 0,3 - 0,9 kgCO₂/kWh). Kombilaitoksen valmistuttua Rautaruukki-konserni olisi sähkönsä osalta omavarainen Suomessa (Rautaruukki 1999). Kombivoimalaitoshankkeesta ei kuitenkaan tehty tuolloin päätöstä vaikka hankkeelle hankittiin ympäristölupa. 2000-luvun alussa modernisointisuunnitelma on muuttunut ja tällä hetkellä modernisointia suunnitellaan konventionaalisen voimalaitosratkaisun kanssa (Hemminki 2003).

3. Muut pienemmät energiankäytön ja tuotannon tehostamistoimet eri puolilla tehdasyksiköitä

- karkea arvio: vaikutukset energiankäyttöön yhteensä alle 0,5 GJ/t, terästä ja CO₂
- päästöihin vähemmän kuin 100 kt, jos arvio laaditaan keskimääräisellä raskaan polttoöljyn ominaispäästötasolla.

Energiankäytön tehostamistoimien jäljellä olevan potentiaalın suuruusluokan tehtaansä ominaisenergiankulutuksessa voitaneen arvioida olevan noin -2 GJ/t, terästä, mutta investointitarve on suuri ja osa säästöistä kohdistuu ostosähkön vähentymiseen eikä vähennä laitoksen omia päästöjä (Hemminki 2003). Voimalaitoksen modernisoinnin, konvertterikaasun talteenoton sekä pienempien tuotannon ja energiankäytön tehostamisinvestointien yhteenlaskettu päästövähennysvaikutus Rautaruukin omassa päästötaseessa voisi olla arviolta 100 - 200 ktCO₂/a eli Raahensä tehtaalla 2 - 4 %:n suuruusluokkaa kokonaispäästöistä.

Rautaruukin nykyisellä tuotantorakenteella tuotannon määrän nostaminen lisää energiankulutusta. Jatkuvilla energiankäytön tehostamistoimilla energian ominaiskulutus tuotettua terästönä kohti on pysynyt ennallaan. Tuotannon kasvun lisäksi energiankulutusta pyrkivät nostamaan muun muassa korkealle jalostettujen tuotteiden osuuden jatkuva lisääntyminen. Tämän lisäksi mm. työsuojelu- ja ympäristöinvestoinnit nostavat jonkin verran energian ominaiskulutusta.

4.1.1.6 Arvio malmipohjaisen teräksenvalmistuksen hiilidioksidipäästöjen kehityksestä

Hiilidioksidipäästöjen kehittymisen kannalta merkillepantava seikka on se, että Raahen terästuotanto on syksyn 2002 jälkeen toiminut tasolla 2,8 Mt/a, mikä ei vielä masuunin korjausten vuoksi näkynyt vuoden 2002 tuotantotilastossa eikä näin ollen myöskään vuoden 2002 päästötasoissa.

Raahen terästuotannon nousu 2,8 miljoonan tonnin vuotuiselle tasolle nostanee vuoden 2003 Raahen kokonaishiilidioksidipäästötason noin 9 % vuoden 2002 tasoa korkeammalle tasolle eli lähes viiteen miljoonaan tonniin vuodessa (alustava arvio, joka kattaa koko tehdasintegraatin, ml. kalkinpolttamon).

Vuonna 2002 käyttöön otettujen laajennusten jälkeen vuoteen 2010 mennessä tiedossa ei ole masuuniteknologiaan perustuvia kapasiteetin kasvatusinvestointeja. Peruslähtökohtana pidetään sitä, että molemmat masuunit ovat käytössä vuosina 2008–2012. Masuuneita ajetaan ”kamppanjoittain”. Kamppanjan loppuessa vuosikymmenen vaihteessa yhtiö joutuu päättämään hyvissä ajoin peruskorjauksista tai teknologian vaihtamisesta. Vuosille 2005–2009 Raahen tehtaan vuosituotantoa saatetaan kasvattaa edelleen.

Energian käytön tehostamishankkeet (mm. konvertterikaasun talteenotto ja muutamat pienemmät hankkeet) voisivat vähentää ominaisenergiankulutusta noin 1 GJ/t eli 5 %, ja vaikuttaa nestekaasun sekä raskaan polttoöljyn käytön voimakkaaseen vähentymiseen laitoksella. Tästä aiheutuisi suuruusluokaltaan 100 ktCO₂/a päästövähennys.

Pitemmällä aikavälillä kyseeseen voisi tulla myös sintraamon sulkeminen ja siirtyminen pellettipanostukseen (kuten Koverharissa on tehty, Tekes 1998). Vuoden 2010 jälkeenkin on todennäköistä, että nykyisten masuunien käyttöikää jatketaan. Eräs vaihtoehto olisi investoida jatkossa vähäpäästöisempiin kierrätysterästä hyödyntäviin valokaariuuniteknologialla toteutettuihin yksiköihin kokonaistuotannon kasvattamiseksi.

Johtopäätelmänä malmipohjaisen teräksenvalmistuksen tarkastelusta voitaneen arvioida, että voimakkaatkaan toimet energiankäytön tehostamisessa eivät riitä

kompensoimaan vuonna 2002 käyttöön otetusta ja suunnitteilla olevasta lisäkapasiteetista johtuvaa CO₂-päästöjen lisääntymistä vuoteen 2010 mennessä.

4.1.2 Ruostumattoman teräksen valmistus, Tornion terästehtaat

Outokumpu-konserniin kuuluva Outokumpu Stainless on yksi maailman suurimmista ruostumattoman teräksen tuottajayhtiöistä. Sen edeltäjä, nimeltään Avesta-Polarit, syntyi tammikuussa 2001 Avesta Sheffieldin ja Outokumpu Steelin fuusiossa ja sillä on toimipaikkoja Suomessa, Ruotsissa, Iso-Britanniassa ja Yhdysvalloissa. Keskeisiä tuotteita ovat ruostumattomasta teräksestä valmistetut valssatut tuotteet, joissa yhtiön markkinaosuus Euroopassa oli noin 28 % ja maailmassa 8 % vuonna 2002. Lisäksi yhtiön tuotevalikoimassa on lukuisia muita jatkojalostettuja tuotteita sekä ferrokromia, jonka raaka-aine kromimalmi saadaan yhtiön Kemin kaivoksesta.

Yhtiön keskeisiä asiakassektoreita ovat prosessiteollisuus, erityisesti massa- ja paperiteollisuus, kemianteollisuus sekä off-shore -öljyteollisuus, elintarviketeollisuus ja kotitaloudet, ajoneuvojen valmistus sekä rakennusteollisuus. Keskeisin markkina-alue on Eurooppa 75 % (Suomi 6 %), Aasia 12%, Pohjois- ja Etelä Amerikka 11 %. Ruostumattoman teräksen kulutuksen kasvun on arvioitu säilyvän pitkällä aikavälillä 5 - 6 %:n vuositasolla (mm. Outokumpu Oyj, Vuosikertomus 2001).

Yhtiöllä on hallussaan koko ruostumattoman teräksen tuotantoketju kromikaivoksesta valmiisiin tuotteisiin. Integroidun liiketoimintaketjun tärkeimmät yksiköt (kaivos, ferrokromisulatto ja jaloterästehdas valssaamoinen) sijaitsevat lähellä toisiaan Kemin ja Tornion alueella, jolla saavutetaan merkittäviä etuja sekä tuotanto- että energiatehokkuudessa.

Konsernin tuotanto on voimakkaassa kasvussa (taulukko 13). Vuotuinen teräsihiokapasiteetti nousee 1,75 miljoonasta tonnista 2,75 miljoonaan tonniin vuoden 2004 loppuun mennessä päättyvän noin miljardin euron investointiohjelman seurauksena.

Taulukko 13. Koko AvestaPolarit-konsernin tuotanto vuosina 2001 ja 2002 (Outokumpu Oyj, Vuosikertomus 2002).

AvestaPolaritin tuotanto vuosina 2002-2001		Vuosi	
		2002	2001
Valssatut terästuotteet			
Teräsaihiot		1594000	1435000
-pitkien tuotteiden osuus		501000	447000
Kylmävalssaamon tuotanto			
-kylmävalssatut tuotteet		807000	746000
-kirikkaat kuumanauhat		385000	324000
Erikoistuotteet			
Ferrokromi		248000	236000
Putket ja putkenosat		70000	57000
Kvarttolevyt		95000	61000
Pitkät tuotteet (ilman aihiotuotantoa)		180000	167000
Erikoisohuet nauhat		21000	23000
P-Amerikka	Kvarttolevyt,tangot,putket	74000	71000

Tornion tehtaat ovat Outokummun Suomen yksiköistä ainoat, jotka kuuluvat päästökauppajärjestelmään. Torniossa sijaitsevat ferrokromitehdas ja jaloterästehdas. Tornion teollisuusalueella toimii myös Bergslagen Suomi Oy:n ja SKJ-Yhtiöt Oy:n jätteiden ja sivutuotteiden käsittelylaitoksia sekä SMA Saxo Minerals Oy:n kalkkitehdas. Bergslagens Suomi Oy erottelee jaloteräksen valmistuksessa syntyvistä kuonista, sakoista, hilseistä jne. metallit ja SKJ-Yhtiöt Oy käsittelee Outokumpu Chrome Oy:n ferrokromisulaton ferrokromikuonaa, ferrokromikollia sekä tiili- ja massamurskaa. Näiden laitosten toimintaa ei tarkastella tässä yhteydessä. Kalkkitehtaita tarkastellaan jäljempänä mineraalisektoria koskevassa luvussa.

Ferrokromia valmistetaan kromiitista $(\text{Fe,Mg})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$. Kemin kromiitti luokitellaan rautarikkaisiin alumiinispinelleihin (Hirsivaara 2003). Kromiittia sisältävää kromirikastetta tuotetaan Kemin kromikaivoksesta vuosittain noin 600 kt/a. Vuonna 2002 kromirikastetta tuotettiin 566 090 t (Vartiainen 2003). Kemin kaivoksen malmin Cr:Fe suhde on noin 1,60 (Hirsivaara 2003). Malmin ominaisuudet vaikuttavat myös prosessin energiankäyttöön ja kuonamääriin (Riekkola-Vanhanen 1999). Rikastetta tarvitaan 2,3 - 2,4 tonnia yhtä tuotettua ferrokromitonnia kohden. Kaivoksen ja rikastamon ei tulkita kuuluvan päästökaupparajauksen piiriin.

Ferrokromitehdas saa tarvitsemansa raaka-aineen Kemin kaivokselta, jossa sijaitsevat kaivos ja rikastamo. Kaivoksen osaprosessit ovat louhinta, murskaus, palari-kastus (Cr-palari-kasteen tuotantokapasiteetti 300 kt/a) ja hienorikastus (tuotantokapasiteetti 450 kt/a). Laitoksella on erillinen lämpökeskus (3 kattilaa). Kattilat eivät kuulu päästökauppajärjestelmään, koska ne ovat alle 20 MW:n laitoksia). Kaivoksella on siirrytty maanalaiseen louhintaan vuonna 2002. Kemin kaivosta ja rikastamo ei tarkastella tässä selvityksessä tarkemmin, koska yksikkö tai sen osat eivät kuulu päästökauppajärjestelmään. Ja-Ro Oy Ab jatkojalostaa ruostumatonta

terästä putkiksi ja putken osiksi tehtaillaan Pietarsaassa ja Vetelissä sekä Terneuzenissä Hollannissa. Nämä Outokummun tytäryhtiöiden metallituotteita valmistavat jatkojalostusyksiköt eivät myöskään kuulu päästökauppajärjestelmän piiriin.

4.1.2.1 Tornion tehtaiden tuotannon kehittyminen

Teollisuustoiminta Tornion Röyttän alueella alkoi 1968, jolloin käynnistettiin nykyinen ferrokromitehdas. Tehtaan raaka-aineena on vuonna 1959 Keminmaan Eljäläveltä löydetystä malmista tehty kromirikaste. Jaloterästehtaan rakentamispäätös tehtiin vuonna 1973 ja tuotanto käynnistyi kolme vuotta myöhemmin. Tuotantotavoite oli tällöin 50 000 terästonnin vuodessa. Vuonna 1988 käynnistettiin kuumavalssaamo ja samana vuonna vuosituotanto ylitti 200 000 tonnin rajan. Teräksen kysynnän kasvaessa jaloterässulattoa laajennettiin siten, että vuonna 1992 tuotantoa voitiin lisätä 350 000 tonniin. Vuonna 1996 valmistuneen kylmävalssaamon laajennuksen jälkeen tehtaan ferrokromin tuotantokapasiteetti oli 250 000 tonnia ja teräsaihioiden 500 000 tonnia (taulukko 14, Lapin ympäristökeskus 2002).

Tornion tehtaan aihiotuotanto sekä kuumavalssauskapasiteetti nousevat nykyiseltä 650 kt/a tasolta tasolle 1650 kt/a ja kylmävalssauskapasiteetti tasolta 550 kt/a tasolle 1200 kt/a vuoden 2004 loppuun mennessä (Outokumpu Oyj, Vuosikertomus 2002).

Taulukko 14. Tornion terästehtaan keskeiset tuotannon volyymejä kuvaavat tuotantoluvut t/a vuosilta 1995 - 2002 (Kemppainen ja Hirsivaara 2003) sekä ympäristöluvassa esitetyt arviot vuosille 2003 ja 2004 (Lapin ympäristökeskus 2002).

Tuote	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
FeCr	232336	236082	236652	230906	256290	260605	236710	248180	250000	245000
Teräsaihiot	431090	471881	543 996	574 883	597 856	636 338	560 823	627 319	950000	1400000
Kuumavalssatut kelat	425873	449833	518 932	558 542	592 416	625 690	581 789	622 467	850000	1200000
Kylmävalssaamo, yht.	371732	385109	430 613	476 044	531 580	556 712	521 371	535 019	720000	1100000
Peitattu kuumanauha	99859	110899	127 344	132 512	128 267	135 004	123 391	119 223		
Kylmävalssatut tuotteet	271873	274210	303 269	343 532	403 313	421 708	397 980	415 796		
Kromirikaste			588856	498074	597428	628400	575126	566090		
FeCr-vienti			105000	64000	90000	44000	83000	80000		

Merkillepantava seikka on, että toteutuksessa olevien laajennusinvestoinnin vaikutukset eivät vielä näy täysimääräisinä, koska kapasiteetin laajennusinvestointi otettiin käyttöön vasta elokuussa 2002.

4.1.2.2 Ruostumattoman teräksen valmistusprosessit

Ruostumattomasta teräksestä noin 20 prosenttia on kromia, noin yhdeksän prosenttia nikkeliä ja loput rautaa. Haponkestävä teräs sisältää vielä pari prosenttia

molybdeenä. Pääraaka-aineet ovat rauta- ja teräsromu sekä ferrokromi. Osa nikkelistä saadaan OMG Harjavalta Nickel Oy:n tehtailta (Hirsivaara 2003). Tornion jaloterästehtaan raaka-aineesta yli puolet on rauta- tai teräsromua.

Ferrokromin valmistuksen keskeiset prosessit ovat

- Raaka-aineiden käsittely
- Pelletointi ja sintraus
- eCr-sulatus ja pelkistys

Ruostumattoman teräksenvalmistuksen keskeiset prosessit ovat

- Terässulaton prosessit (FeCr-konvertteri, valokaariuuni ja AOD-konvertteri, senkkauuni, valu, raaka-aineiden käsittely)
- Kuumavalssaus
- Kylmävalssaus

Ferrokromitehtaan muodostavat sintraamo ja sulatto. Ferrokromitehdas valmistaa kromin ja raudan seosta, ferrokromia. Tehdas käyttää raaka-aineena Kemin kaivokselta saatavaa kromiittirikastetta. Torniossa valmistetaan ferrokromia kahdessa uppokaariperiaatteella toimivassa sähköuunissa. Uunien yhteinen tuotantokapasiteetti on noin 260 000 t/a. Pelletti-tuotannon kapasiteetti sintraamalla on 400 000 t/a.

Kromiittiraaka-aine toimitetaan Kemin kaivokselta hienorikasteena ja palarikasteena. Hienorikaste jauhetaan pelletointia varten. Jauhettu rikaste pelletoidaan pyörivässä rummussa käyttäen bentoniittia sideaineena. Pelletointiin lisätään myös prosessipölyä sekä koksipölyä energialähteeksi.

Kosteat kromiittipelletit sintrataan jatkuvatoimisessa hapettavassa teräsnauhasintausprosessissa. Sintrausuuni on jaettu kuivaus-, etukuumennus-, sintraus- ja jäähdytysvyöhykkeisiin. Sintrausenergia saadaan kromiitin Fe(2+):n osittaisesta hapettumisesta Fe(3+):ksi, lisäystä koksipölystä ja sähköuunien CO-kaasusta. Sintrauksessa hyödynnetään energiaa tehokkaasti sisäisen kaasukierron avulla, jolla saadaan minimoituksi ulkopuolinen energiankäyttö.

Sulatuspanos, joka sisältää pellettejä, palarikastetta ja palakvartsiittia sekä pelkistimenä palakoossa olevaa metallurgista koksia, esikuumennetaan kuilutyypissä etukuumennusuunissa. Etukuumennuksessa tarvittava energia saadaan polttamalla sähköuuneissa muodostuvaa CO-kaasua. Etukuumennettu panos valuu syötöputkien kautta suoraan sähköuuniin.

Sähköuunit ovat suljettuja uppokaariuuneja ja niissä on kolme Söderberg-tyyppistä elektrodiä. Sulatuksessa kromi- ja rautaoksidit pelkistyvät metalliseen muotoon koksien avulla. Metalliin liukenee hiiltä rauta- ja kromikarbideiksi ja lisäksi metalli

sisältää pelkistynyttä piitä. Metalli ja kuona lasketaan 2 - 3 tunnin välein senkkoihin, joista ylivuotona menevä kuona rakeistetaan. Metalli kuljetetaan terässulatolle sulana tai se valetaan maahan kaivettuihin ojiin. Sitten se murskataan ja seulotaan sopiviin fraktioihin.

Koksin hiilestä muodostuva CO-pitoinen kaasu pestään venturipessoreissa. CO-kaasua käytetään eri kohteissa ferrokromin ja teräksen valmistuksessa. Sulatuksessa syntyvistä kaasuista 90 % on häkää. Sulan ferrokromin sisältämä pii ja hiili poistetaan polttamalla ferrokromikonvertterissa. Samalla syntyy lämpöä ja konvertterissa pystytään sulattamaan teräksen valmistuksessa käytettävää metalliromua. Sulatukseen menevä romu kuivataan kuumilla prosessikaasuilla.

Tuotettu metalli on charge chrome -laatua, joka sisältää 52 - 54 % Cr, 7 % C ja 3 - 5 % Si. Loppu on pääasiassa rautaa. Ferrokromi käytetään ruostumattoman teräksen valmistuksessa seosaineena.

Valokaariuunien kuona rakeistetaan vesisuihkussa tai jäähdytetään, murskataan ja käsitellään metallinerotusprosessissa ja seulotaan. Syntyvän kuonan määrä on 1,3-kertainen metalliin verrattuna ja pääkomponentit ovat SiO₂, Al₂O₃ ja MgO. Kuonaa hyödynnetään pääasiallisesti tie- ja talonrakennusteollisuudessa, jossa sitä käytetään eristävänä perusaineena.

Taulukko 15. Ferrokromintuotannon CO₂-ominaispäästötietoja (Riekkola-Vanhanen 1999 / Outokumpu Chrome Oy).

Prosessi	Alaraja	Yläaraja	Yksikkö
Pelletointi ja sintraus	80	120	kg/t, pellettejä
Koksin kuivaus	30	70	kg/t FeCr
Esilämmitys	300	400	kg/t FeCr
Sulatus(ja pelkistys)	30	60	kg/t FeCr
Yhteensä	600	700	kg/t FeCr

Vuonna 1997 tuotanto oli 236 650 t FeCr ja CO₂-päästö 160 881 t eli 680 kg/t FeCr (Hirsivaara 2003). Sähkönkulutuksesta 95 % liittyy sulatusvaiheeseen, jossa kuluu 3 100 - 3 500 kWh/t FeCr. Loput 5 % kuluu savukaasujen käsittelyssä. Yhden FeCr-tonnin pelkistyksessä vapautuu häkääkaasua 650 - 750 Nm³ sisältäen energiaa 7 550 - 8300 MJ (2 100 - 2 300 kWh). Ylijäämäkaasu käytetään integroidun tehtaan muissa tuotantoprosesseissa (Riekkola-Vanhanen 1999, s. 32). Terästehdas käyttää kromitehtaan ferrokromista noin kaksi kolmasosaa ja loput menee vientiin. Terästehtaan tuotannon kasvaessa kaikki ferrokromi käytetään teräksen valmistukseen (Hirsivaara 2003).

Tornion terästehtaaseen kuuluvat sulatto, kuumavalssaamo ja kylmävalssaamo sekä metallurginen laboratorio, tehdaspalvelu ja osto- ja varastotoiminnot.

Terässulaton osaprosesseja ovat kromikonvertteri, 2 valokaariuunia, 2 AOD-konverttertia, 2 senkka-asemaa sekä 2 jatkuvavalukonetta. Terässulatto tuottaa ruostumatonta ja haponkestävää terästä valuaihioiksi valettuna. Tärkeimpiä raaka-aineita ovat teräsromu, nikkeli ja ferrokromi. Lisäksi käytetään muita ferroseoksia, poltettua kalkkia ja kalsiumfluoridia.

Teräsromu kuivataan romun esikuumennuksessa valokaariuunin ja AOD-konvertterin savukaasuilla. Valokaariuuneissa sulatetaan romua ja lisätään seosaineet haluttuun tavoiteanalyysiin pääsemiseksi. Valokaariuunille panostetaan romun lisäksi nikkeliä, molybdeenioksidia ja ferrokromia sekä koksia.

Ferrokromitehtaalta saatava sula metalli kuljetetaan terässulaton ferrokromikonvertteriin, jossa siihen puhalletaan yläpuolisen lanssin kautta happea, ja sulaa sekoitetaan sivusuuttimista puhallettavan inerttikaasun avulla. Tavoitteena on piin polttaminen kokonaan ja hiilen poisto osittain. Vapautuva lämpö käytetään kromikonvertteriin lisätyn romun sulattamiseen ja lämpötilan säätämiseksi. Konvertteriin voidaan panostaa romua noin puolet sulan ferrokromin määrästä. Konvertteriin panostetaan sulan ja rautaromun lisäksi nikkeliä.

Kromikonvertterista otetaan panos siirtosenkkaan. Se viedään valokaariuunin alle, josta samaan senkkaan lisätään sulaa, pääasiassa ruostumattomasta ja hiiliteräsromusta sulatettua metallia. Yhdistetty sulamäärä siirretään AOD-konvertteriin, jossa teräksen valmistus jatkuu edelleen happipuhalluksella, kuonanpelkistyksellä, seostuksella, jne. Puhallusvaiheessa teräksestä poistetaan hiili happi- ja argonkaasujen seoksella. Pelkistysvaiheessa osittain kuonaantunut kromi pelkistetään pii-seoksilla takaisin teräsaasiin, rikinpoistovaiheessa teräksen rikkipitoisuutta vähennetään. Senkkauunissa tapahtuu vielä sulan teräksen huuhtelu inerttikaasulla sekä mahdolliset viimeiset seostukset.

Analyysivaatimusten mukaiseksi seostettu teräs valetaan laattamaisiksi aihioiksi jatkuvavalukoneella. Valukokillin jäähtytys tapahtuu suljetussa kierrossa olevalla suolavapaalla vedellä. Myös valuaihioiden polttoleikkauskoneella on suljettu jäähtytysvesijärjestelmä, jossa käytetään kemiallisesti puhdistettua vettä. Jatkuvavalukoneen osia ja valuaihioita jäähdytetään avoimessa vesijärjestelmässä hienoksi hajotetulla vesisuihkulla. Suurin osa aihioista on sellaisenaan valmiita valssaukseen. Aihiot, joihin on valun aikana syntynyt pintavikoja, hiotaan ennen valssausta.

Valokaariuunin ja konvertterien savukaasut puhdistetaan tekstiilisuodattimin varustetuissa puhdistuslaitoksissa. Talteen saatu pöly lähetetään säkkeihin pakattuna

sulatettavaksi ulkopuoliseen laitokseen. Noin puolet pölyn painosta saadaan takaisin metallina sulaton raaka-aineeksi. Valokaariuunin ja AOD-konvertterin kuona sisältää teräspirotteita, jotka palautetaan erillisen kuonankäsittelyn jälkeen prosessiin. Käsitelty kuona sijoitetaan jätteenä merestä padottuun altaaseen tehdasalueen eteläosassa (AvestaPolarit Stainless Oy 2003).

Kuumavalssaamolle aihiot tulevat sulatolta lämpöeristetyssä aihionsiirtovaunussa, josta ne panostetaan joko suoraan askelpalkkiuuniin tai lämpöeristettyyn välivarastoon. Hiomosta aihiot tulevat kylminä. Askelpalkkiuunissa aihoiden lämpötila nostetaan noin 1250 °C:een. Uunin polttoaineena käytetään häkäkaasua ja/tai propaania ja kuumennus kestää noin 2,5 tuntia. Uunista aihiot nostetaan rullaradalle ja kuljetetaan hilsepesun jälkeen ensin pystyvalssaimelle ja tämän jälkeen etuvalssaimelle.

Pystyvalssain pitää aihion leveyden haluttuna. Etuvalssaimella 130 - 210 mm paksumat aihiot valssataan 20 - 25 mm:n paksuuteen. Valssauksen aikana aihio jäähtyy noin 100 °C-asteeseen. Etuvalssaimelta aihio siirtyy rullarataa pitkin nauhavalssaimelle. Nauhavalssain on Steckel-tyyppinen valssain, jossa nauha liikkuu edestakaisin kelaimelta toiselle valssauksen aikana. Kelainten ympärillä olevat uunit hidastavat nauhan lämpötilan laskua. Nauha valssataan 2 - 13 millimetrin loppupaksuuteen. Tämän jälkeen jäähtyneet teräsnauharullat viedään kylmävalssaamolle.

Kylmävalssaamossa valssattu teräsnauha käsitellään ensin hehkutus-peittauslinjassa, jossa se hehkutetaan teräksen sisäisen rakenteen tasaamiseksi. Sen jälkeen nauha jäähdytetään ja puhdistetaan mekaanisesti kuulapuhalluksella ja peitataan ensin elektrolyttisesti neutraalissa natriumsulfaattiliuoksessa ja lopuksi sekahapolla. Mahdolliset pintaviat poistetaan nauhanhiontalinjassa. Osa tuotannosta menee tässä vaiheessa myyntiin.

Kylmävalssausta lopulliseen paksuuteen tehdään kolmella rinnakkain toimivalla Sendzimir-valssaimella. Kylmävalssattu teräsnauha käsitellään seuraavaksi hehkutus-peittauslinjoissa. Loppumittaan valssattu, hehkutettu ja peitattu teräsnauha valssataan tarvittaessa kevyesti viimeistelyvalssaimilla tai käsitellään venytys-oikaisulinjassa teräksen pinnan sileyden ja tasomaisuuden parantamiseksi. Teräsnauhan halkaisua ja katkaisua varten on useita halkaisu- ja katkaisulinjoja. Lopputuotteet, kylmävalssatut ruostumattomat ja haponkestävät teräsnauhat ja -levyt, pakataan ja toimitetaan asiakkaille.

Hehkutuspeittauslinjojen hehkutusuunissa käytetään polttoaineena häkäkaasua ja nestekaasua.

Tehtaiden lämpökeskuksessa on viisi kattilaa, joiden yhteinen nimellisteho on 111 MW. Polttoaineena lämpökeskuksen kattiloissa käytetään raskasta polttoöljyä

ja ferrokromiprosessista saatavaa häkäkaasua. Tulevaisuudessa raskaan polttoöljyn osuus polttoaineena kasvaa, häkäkaasun käytön keskittyessä enemmän valssaamoille. Lämpökeskuksen polttoaine-energian tarve vuonna 2002 oli noin 1 200 TJ, josta 66 % tyydytettiin raskaalla polttoöljyllä.

4.1.2.3 Toteutetut ja toteutuvat terästehtaan laajennukset

Tornion terästehdasta on kehitetty voimakkaasti 2000-luvun alkupuolella. Teräsulattoa on laajennettu rakentamalla toinen, kapasiteetiltaan suurempi tuotantolinja nykyisen rinnalle. Täydessä tuotannossa sulaton laajennus on vuonna 2004. Uusi tuotantolinja käsittää valokaariuunin, AOD-konvertterin ja jatkuvavalukoneen.

Kuumavalssaamon laajennusohjelma tähtää noin 1,7 miljoonan aihiotonnin valssauskapasiteettiin. Toinen askelpalkkiuuni on jo tuotantokäytössä. Meneillään on kolmen valssituolin asentaminen nykyisen nauhavalssaimen ja kelaimen väliin. Laajennuksen käyttöönotto alkoi vuoden 2002 lopulla ja kapasiteettia vastaava tuotanto saavutettaneen vuosina 2005–2006 (Hirsivaara 2003).

Kylmävalssaamon laajennus toteutetaan rakentamalla integroitu teräsnauhojen valssaus-hehkutus-peittauslinja (RAP5) ja lisäämällä peittaushappojen regenerointikapasiteettia. Samalla on rakennettu toinen happamien vesien neutralointilaitos. RAP5-linjalla ajetaan kuuma- ja kylmävalssattuja teräsnauhoja ja sen kapasiteetti on 1,1 Mt/a. Investointi on käyttöönottovaiheessa ja täydessä tuotannossa vuonna 2006.

Tehdaslaajennuksen yhteydessä lämpökeskukseen on hankittu viides teholtaan 40 MW:n kattila. Lämpökeskuksen polttoaineteho on laajennuksen jälkeen tasolla 111 MW (Lapin ympäristökeskus 2002). Vuonna 2003 pieni määrä ferrokromia myydään ulos, mutta vuodesta 2004 lähtien ferrokromi käytetään kokonaan terästehtaalla (Kemppainen 2003).

4.1.2.4 Tuotantopanokset ja CO₂-päästöt

Tornion tehtailla hiilidioksidipäästöjä aiheuttavat toiminnot voidaan jakaa karkeasti ferrokromi- ja terästehtaaseen, jossa päästöjä aiheutuu sulatosta, kuumavalssaamosta, kylmävalssaamosta ja tehdaspalveluista (lämpökeskuksesta, joka muodostuu monesta kattilasta). Tornion tehtaan yhteenlasketut hiilidioksidipäästöt vuonna 2002 olivat 577 kt/a.

Ferrokromitehtaalla CO₂-päästöjä aiheuttavat hiilivirrat (Hirsivaara 2003) sekä niiden luokittelut raaka-aineperäisiin ja polttoaineperäisiin päästöihin:

- koksi (josta syntyy CO-kaasua muiden prosessien tarpeisiin, luokittelu: prosessin raaka-aine)
- CO-kaasun käyttö koksinkuivauksessa, sintrauksessa, etukuumennuksessa, senkkojen lämmityksessä ja poltto ulos (huomioitu CO ja CO₂ eli yhteensä noin 90 %, luokittelu: non-market-polttoaine, joka on prosessin energiaa sisältävä sivutuote)
- hienokoksin käyttö sintrauksessa (hiilipitoisuus 85 - 88 %, - raaka-aine)
- hienorikasteen karbonaatit (0,2 - 0,5 % C, raaka-aine)
- palarikasteen karbonaatit (0,6 - 0,8 % C, raaka-aine)
- (grafiitti)elektrodit, raaka-aine
- nestekaasun käyttö sintrauksessa, markkinapolttoaine
- lisäksi on arvioitu pieni hiilihäviö palamalla etukuumennuksessa (raaka-aine).

Terästehtaalla CO₂-päästöjä aiheuttavia hiilivirtoja ovat:

Terässulatolla

- nestekaasun käyttö (markkinapolttoaine)
- CO-kaasun käyttö, (non-market-polttoaine, joka on FeCr-prosessin energiaa sisältävä sivutuote)
- kalkkikivi (CaCO₃ n. 97 p-%), raaka-aine
- poltettu kalkki (CO₂-pitoisuus 1,3 - 1,5 %), raaka-aine
- dolomiittikalkki (CO₂-pitoisuus 0,3 %), raaka-aine
- koksi (pieniä määriä käytetään valokaariuuneilla)
- FeCr (C = 7 %), raaka-aine
- romun sisältämä hiili, raaka-aine
- seosaineiden sisältämä hiili, raaka-aine
- valokaariuunien ja senkkauunin elektrodit jne. (aiheuttavat pieniä CO₂-virtoja, raaka-aine)

Polttoaineet kuumavalssaamolla

- CO-kaasu, (non-market-polttoaine, joka on FeCr-prosessin energiaa sisältävä sivutuote)
- nestekaasu, markkinapolttoaine.

Polttoaineet kylmävalssaamolla

- CO-kaasu (non-market sivutuote-polttoaine, käytössä HP3:ssa)
- nestekaasu (HP-linjoissa ja RAP-linjalla), markkinapolttoaine.

Polttoaineet lämpökeskuksessa (5 kattilaa)

- CO-kaasu, (non-market polttoaine, energiasivutuote)
- raskas polttoöljy, markkinapolttoaine.

Koska ferrokromin pelkistysvaiheessa syntyvää CO-kaasua käytetään sekä ferrokromitehtaan omissa prosesseissa että terästehtaalla useiden prosessien polttoaineena ja kaasujen mittaaminen on massavirtoja epätarkempaa, tarkastellaan hiilidioksidipäästöjä tässä yhteydessä hiilitaseen avulla koksen sisältämän hiilen perusteella. Häkäkaasun keskeiset komponentit ovat: CO 84 - 89 % (keskimäärin 86 %), H₂ 4,5 - 7 %, CO₂ 5 - 9 % ja N₂ 2 - 3 %. Kaasun tehollinen lämpöarvo vaihtelee välillä 3,0 - 3,3 kWh/m³(n). Keskiarvona voidaan käyttää 11,2 MJ/m³(n). Häkäkaasun CO₂-ominaispäästökertoimenä käytetään 152 g CO₂/MJ. CO₂-kaasun ominaispäästökerroin on vaihdellut välillä 152 - 157 tCO₂/TJ (Hirsivaara 2003).

Merkillepantava seikka on se, että laitoksen pääenergianlähde on sähkö. Outokumpu-konsernin toimipaikat käyttivät vuonna 2002 sähköenergiaa yhteensä noin 3 TWh, josta Tornion tehtaiden osuus oli noin puolet. Sekä energiamäärässä että kustannuksissa mitattuna sähkön osuus Outokummun energianhankinnasta on noin 90 prosenttia.

4.1.2.5 Tuotannon ja päästöjen kehitysnäkymät

Tornion tehtailla tuotanto kasvaa erittäin voimakkaasti lähivuosina. Konsernin laajennusinvestoinneista suurin osa kohdistuu Tornioon, jossa kapasiteetin vuotuinen kasvu on noin miljoona tonnia terästä. Syksyn 2002 loppupuolella osittain käyttöön otettuun ja vuonna 2004 valmistuvaan investointiohjelmaan sisältyvät uusi sulatto, kuumavalssaamon laajennus sekä uuden jatkuvatoimisen kylmävalssaus-, hehkutus- ja peittauslinjan (RAP) rakentaminen. Tornion tehtaan aihiotuotanto sekä kuumavalssauskapasiteetti nousevat nykyiseltä 650 kt/a tasolta tasolle 1 650 kt/a ja kylmävalssauskapasiteetti tasolta 550 kt/a tasolle 1 200 kt/a vuoden 2004 loppuun mennessä (Outokumpu Oyj, Vuosikertomus 2002). Tämän jälkeen Tornion terästehdas on maailman suurin ruostumattoman teräksen tuotantolaitos.

Tornion tehtaiden sähköenergian tarve kasvaa vuonna 2006 arviolta noin 1,6-kertaiseksi vuoden 2002 tarpeeseen verrattuna (Hirsivaara, Outokumpu Stainless Oy). Tornion tehtaiden kokonaishiilidioksidipäästöistä lähes 70 % syntyy ferrokromitehtaan prosessiin tuodun koksen sisältämästä hiilestä, joka siirtyy häkäkaasuna (energiasivutuote) integraatin eri prosesseihin ja vapautuu hiilidioksidina luovutettuaan reaktioenergiansa. Ostokoksia käytetään ferrokromin sulatus-pelkistysprosessin lisäksi pellettien sintrauksessa.

Tornion terästehtaan hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2002 yhteensä 577 kt/a (Outokumpu 2002b). Vuonna 1998 päästöt olivat 509 ktCO₂/a. Suurin osa päästöistä aiheutuu ferrokromituotannossa tarvittavasta koksista syntyvän häkäkaasun polttamisesta lämpöenergiaksi tehtaan eri prosesseissa. Karkeasti ajateltuna hiilidioksidin määrän vuosivaihtelut riippuvat ferrokromituotannosta sekä prosesseissa

poltettavan nestekaasun ja öljyn määrästä. Tuotannon ja hiilidioksidipäästöjen kasvu tulee yhtiön mukaan jatkumaan voimakkaana lähivuosina.

Vuosina 1998–2002 CO₂-ominaispäästöt ovat kasvaneet, koska kuumavalssaamalla ja kylmävalssaamalla on lisätty häkäkaasun käytön osuutta nestekaasuun verrattuna. Vuodesta 2003 alkaen häkäkaasun osuus alkaa taas pienentyä hieman johtuen lisääntyneestä kapasiteetista. Ominaispäästökertoimien ja kylmävalssaamolle tehdyn tarkennetun arvion perusteella koko tehtaan hiilidioksidipäästöt vuonna 2005 tulisivat olemaan noin 830 000 tonnia (kun kalkkitechdas ei ole mukana, Hirsivaara 2003).

Erityisesti suunnitteilla oleva ferrokromituotannon kaksinkertaistaminen tulisi kasvattamaan hiilidioksidipäästöjä. Ferrokromituotannon kaksinkertaistaminen oli jo mukana laajennuksista tehdyssä ympäristövaikutusten arvioinnissa (Paavo Ristola Oy 1997), mutta investoinneista ei oltu tehty tätä kirjoitettaessa päätöstä, koska päätös on herkkä mm. energian ja päästökiintiöiden hinnoille.

Päästökaupan käynnistyessä vuonna 2005 Tornion tehtaiden päästöjen voidaan arvioida kasvavan noin 250 kt/a nykytasoa (vuosi 2002) suuremmiksi toteutuksessa olevan investointiohjelman kohteiden tullessa täysimääräisesti käyttöön.

4.1.2.6 Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot

Tornion tehtailla on käytössä useita menetelmiä, joilla pyritään mahdollisimman tehokkaaseen energian käyttöön. Keskeisimpinä näistä ovat ferrokromisulaton CO-kaasun hyötykäyttö muissa prosesseissa, sulan ferrokromin käyttö teräksen tuotannossa, prosessilämmön hyödyntäminen tehtaan sisäisen kaukolämmön tuotannossa sekä energiaa säästävät aihoiden kuumasiirtotekniikat (Lapin ympäristökeskus 2002).

Hiilidioksidipäästöjen kannalta eräs keskeinen tarkastelukohde ovat tehtaan lämpökattilat, joissa polttoaineena käytetään FeCr-prosessin sivutuotteena syntyvää CO-kaasua ja raskasta polttoöljyä. Vuonna 2002 POR-peräinen CO₂-päästö oli lähes 60 kt/a. Raskaan polttoöljyn täysimääräinen korvaaminen puuhakkeella ei ole käytännössä mahdollista. Puuhaketta ei ole yhtiön mukaan alueella saatavissa riittäviä määriä kilpailukykyiseen hintaan (Hirsivaara 2003).

Nykyisten raskaspolttoöljykattiloiden polttoaine voidaan vaihtaa joustavasti polttoöljystä häkäkaasuun ja myös ko. polttoaineiden yhteispoltto on mahdollista. Siirtyminen kokonaan puuhakkeen käyttöön heikentäisi häkäkaasun hyödyntämistä merkittävästi, koska lämpökeskus on tehtaan ainoa häkäkaasua hyödyntävä laitos, joka pystyy helposti joustamaan nopeissa kaasun saatavuuden tai kulutuksen muutoksissa, ja pystyy siten tasaamaan tehtaan häkäkaasun kulutusta.

Nykyiselle kaukolämpökeskuksen tontille mahtuisi maksimissaan 40 MW:n puuta hyödyntävä polttolaitos (Hirsivaara 2003).

Lämpökeskus tuottaa lämpöä ja prosessihöyryä pelkästään tehtaan omiin tarpeisiin. Tuotettu prosessihöyry käytetään kokonaisuudessaan prosesseissa, ja kaukolämmöstäkin osa menee suoraan prosessin lämmitystarpeisiin. Prosessien hukkalämmöistä on myös lämmön talteenottoja kaukolämpöverkkoon. Terästehtaan häkääkaasun käyttö jakaantuu kuumavalssaamon, terässulaton, kylmävalssaamon ja lämpökeskuksen kesken. Hiilidioksidikiintiön alkujakosäännöillä tulisikin varmistaa, että CO-kaasu käytetään energiataloudellisesti tehokkaimmissa käyttökohteissaan. Nestekaasun korvaaminen vähähiilisemmällä vaihtoehdolla on mahdollista ainostaan, mikäli alueelle rakennetaan tulevaisuudessa maakaasuputki, mutta tällaista suunnitelmaa ei ole tiedossa.

Kaikki Outokummun tehtaat ovat liittyneet Kauppa- ja teollisuusministeriön energiansäästösopimukseen. Sopimuksen mukaisesti tehtaiden energiankulutus, säästömahdollisuudet, tekniikat ja aikataulut selvitetään, ja taloudellisesti kannattavat energiansäästövaihtoehdot toteutetaan. Tornion tuotantolaitokset ovat 10.2.1999 liittyneet Teollisuuden ja Työnantajain Keskusliiton ja kauppa- ja teollisuusministeriön välille solmittuun sopimukseen energiansäästön edistämisestä teollisuudessa (Lapin ympäristökeskus 2002). Sopimuksen mukaan yhtiö on sitoutunut ottamaan energiansäästön huomioon investoinneissaan ja pyrkii energiaa säästävien tekniikoiden käyttöönottoon aina, kun se on taloudelliset ja turvallisuus- sekä ympäristönäkökohdat huomioonottaen mahdollista.

Tuotantolaitoksilla on vuonna 2000 tehty sopimuksen mukainen energia-analyysi. Analyysin pohjalta on tehty ehdotukset täydentävistä analyyseistä, joihin kuuluvat havaitut ja keskeisimmät energiansäästöpotentiaalia ja tehostamistarvetta sisältävät kohteet. Täydentävien analyyysien laatiminen on aloitettu vuonna 2001 ja niitä on jatkettu vuoden 2002 aikana. Sähkön käytön osalta säästöpotentiaali on 1 % kustannuksista tai 1 % energiasta. Lämmön osalta säästöpotentiaali on 11 % kustannuksista tai 4 % energiasta. Suuri kustannusvaikutus tulee pääasiassa nestekaasun korvaamisesta häkääkaasulla (Hirsivaara 2003). Kaiken energiansäästöpotentiaalin hyödyntäminen aiheuttaa huomattavia investointitarpeita, joiden takaisinmaksuaika aiheutuvilla säästöillä on 1 - 10 vuotta (Lapin ympäristökeskus 2002). Yhtiön asiantuntijoiden mukaan realistinen vähennystavoite hiilidioksidipäästöissä on 1 - 2 %, koska kaikki läpiviedyissä energia-analyyseissä esitetyt säästötoimenpiteet eivät ole toteuttamiskelpoisia (Hirsivaara 2003).

Sähköenergian käytön jatkuva tehostaminen on oleellista, mutta toimenpiteet eivät vähennä toimipaikan omia CO₂-päästöjä, joten niitä ei voida tässä yhteydessä yksityiskohtaisemmin tarkastella. Outokumpu Oyj:n Suomen toimipaikoilla on kerty-

nyt hyviä kokemuksia mm. taajuusmuuttajakäyttöjen (Harjavallan kuparisulatto, H. Helminen) ja korkeahyötysuhteisten moottoreiden (Kokkolan sinkkitehdas, O. Järvi) avulla toteutetuista sähköenergian säästöhankeista (Outokumpu 2002b). Tornion tehtailla taajuusmuuttajatekniikkaa on hyödynnetty 1980-luvun lopulta lähtien. Investointi- ja modernisointiprojekteissa taajuusmuuttajia otetaan käyttöön systemaattisesti (Hirsivaara 2003).

4.1.2.7 Johtopäätelmät

Tornion teräsintegraatti on Outokumpu-konsernin suurin hiilidioksidipäästöjen lähde Suomessa. Integraatti koostuu ferrokromitehtaasta ja sen yhteydessä olevista terästehtaan yksiköistä. Laitos on energiankäytön osalta pitkälle integroitu. Valsaamot hyödyntävät FeCr-tehtaalla syntyvää CO-kaasua polttoaineenaan.

Yhtiön ilmoittamat hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2002 577 kt ja aiheutuivat suurimmaksi osaksi ferrokromitehtaalla käytettävän koksen hiilestä ja FeCr-prosessin sivutuotteena syntyvän CO-kaasun polttoainekäytöstä integraatin eri prosesseissa. Lisäksi päästöjä aiheutuu nestekaasusta sekä raskaan polttoöljyn käytöstä integraatin lämpökattiloissa.

Tornion ferrokromitehtaan tuotantokapasiteetti oli vuonna 2002 250 kt (Lapin ympäristökeskus 2002), mutta tuotannon ollessa suurimmillaan vuonna 2000 laitos tuotti 260 kt ferrokromia. Vuonna 2002 ferrokromia vietiin 80 kt ja loput käytettiin terästehtaalla. Vuosina 1997–2002 tuotantolaitoksen keskimääräinen vuosituotanto oli 245 kt ferrokromia. Ferrokromitehtaan ominaispäästökseen yhtiö ilmoittaa vuodelle 2002 593 kgCO₂/t, ferrokromia eli 147 099 tCO₂/a (lukuarvo riippuu allokointiperiaatteista).

Terästehtaan teräsaihioiden ja kuumavalssaamon tuotantokapasiteetti oli vuonna 2002 650 kt/a ja kylmävalssauskapasiteetti 550 kt/a. Terässulaton hiilidioksidipäästöt olivat noin 89 500 t/a, kuumavalssaamon 112 000 t/a, kylmävalssaamon 109 000 t/a ja lämpökeskuksen (5 kattilaa yhteensä) 119 000 t/a. Lukuarvossa ei ole kuitenkaan otettu huomioon tarvittavan sähköenergian päästöjä, mutta 80 kt/a FeCr-viennin osuus päästöistä on otettu huomioon edellä mainitulla FeCr-tuotannon ominaispäästökertoimella.

Päästölukuja laskettaessa on otettava tarkasti huomioon prosesseissa käytettävään CO-kaasuun liittyvät kulutukset ja laskentaperiaatteet. Edellä mainituissa luvuissa päästö on kohdennettu sinne, missä se on aiheutunut.

Outokumpu-konserni ja erityisesti Tornion terästehdas ovat merkittäviä sähköenergian käyttäjiä. Outokumpu-konsernin toimipaikat käyttivät vuonna

2002 sähköenergiaa yhteensä noin 3 TWh, josta Tornion tehtaiden osuus oli noin puolet.

Pohdittaessa keskeisten hiilipitoisten syötteiden korvattavuutta vähähiilisemmillä, voitaneen todeta, että raskas polttoöljy on syötteistä helpoimmin korvattavissa oleva. Jos alueelle saataisiin tulevaisuudessa maakaasua, voitaisiin sillä korvata nestekaasun tarve. Tiedossa ei ole kuitenkaan suunnitelmia maakaasuputken rakentamisesta alueelle, mikä periaatteessa mahdollistaisi nestekaasun ja POR:n hiilidioksidipäästöjen vähentämisen. Polttoaineiden korvaaminen vähähiilisemmällä lienee siten periaatteessa mahdollista vain lämpökeskuksen raskaan polttoöljyn osalta. Mikäli 50 % POR:n käytöstä korvattaisiin puupolttoaineella, saavutettaisiin noin 30 kt/a eli 5%:n suuruusluokkaa oleva kokonaispäästövähenemä.

Yhtiö on selvittänyt hakkeen saatavuutta ja hintaa. Keminmaan puuneuvontakeskuksen mukaan haketta on saatavilla, mutta suuren haketarpeen takia haketta jouduttaisiin kuljettamaan pitkienkin matkojen päästä, jolloin hintakilpailukyky heikkenee. Lisäksi on otettava huomioon kasvavan liikenteen negatiiviset vaikutukset CO₂-päästöihin. Kokonaan POR:n käytöstä ei tehtaalla voida luopua, koska öljykattilat toimivat myös hähkäkaasulla, ja lämpökeskus tulee jatkossakin toimimaan hähkäkaasun käyttäjänä polttaen tuotanto-osastoilta ylijäävän kaasun (Hirsivaara 2003).

Tehtaan laajennuksen ympäristölupapäätöksessä on tarkasteltu ratkaisujen suhdetta BAT-tasoon (Best Available Techniques). Päätöksessä todetaan laitoksen olevan energiatehokkuudeltaan korkealuokkainen. Outokumpu on ollut teknologian kehittäjän ja myyjän ominaisuudessa mukana laatimassa EU:n BAT-Bref -dokumentteja ja laatinut useita energia-analyysyjä.

Tornion integraattia on rakennettu ja modernisoitu kuluneiden 30 vuoden aikana perustuen parhaaseen käytettävissä olevaan teknologiaan, joka on myös energiatehokasta tekniikkaa. Päästöjen vähennysmahdollisuudet ovat siten marginaaliset, ja säästöjä voidaan saada aikaan enää lähinnä pienillä yksittäisillä kehitystoimenpiteillä (Hirsivaara 2003). Tehtyjen selvitysten valossa CO₂-päästöjä voitaneen eri toimenpitein vähentää noin 1 - 2 % nykytilanteesta. Kokonaispäästöt kuitenkin kasvavat kapasiteetin kasvaessa.

Prosessin sivutuotteena syntyvästä CO-kaasusta (koksista peräisin) syntyvät CO₂-päästöt tulee luokitella prosessipäästöiksi, koska ne syntyvät FeCr:n valmistuksessa ja korvaavat nestekaasun ja POR:n käyttöä. Tässä yhteydessä on tarpeen ottaa esiin yleinen periaate, jossa CO₂-päästökaikkiä voitaisiin allokoida sille prosessille, josta hiilipitoinen energiasivutuote syntyy, jotta voitaisiin varmistaa, että energiapitoiset sivutuotteet hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti paikallisesti. Muussa tapauksessa on olemassa vaara, että sivutuotteen käyttäjä saa suuren alku-

kiintiön ja vaihtaa polttoaineen vähähiilisempään markkinoilta saatavaan ja sivutuotteen tuottaja joutuu hankkimaan lisäkiintiöitä markkinoilta ja samalla kokonaisenergiataloudellisuus kärsii. Ongelma koskee yleisemmin masuuni-, jalostamo- ja CO-kaasun paikallista käyttöä (non-market -sivutuotepolttoaineita), mikäli sovellettava päästökaupparajaus jättää joitakin näitä polttoaineita käyttäviä prosesseja ulkopuolelle.

Tornion integraatin hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet jatkuvasti koko 1990-luvun ajan tuotannon kasvun mukaisesti. Päästöjen kasvu kiihtyy lähivuosina investointiohjelman kohteiden käyttöönoton seurauksena. Investointiohjelman vaikutukset CO₂-päästöihin tulevat näkymään vasta vuosien 2003 ja 2004 inventaareissa. Tornion tehtaan aihiotuotanto sekä kuumavalssauskapasiteetti nousevat vuoden 2004 loppuun mennessä 1 Mt/a tasolle 1650 kt/a ja kylmävalssauskapasiteetti tasolle 1200 kt/a. Investointiohjelman sisältyvät uusi sulatto, kuumavalssaamon laajenus sekä uuden jatkuvatoimisen kylmävalssaus-, hehkutus- ja peittäuslinjan (RAP) rakentaminen. Tämän jälkeen Tornion terästehdas on maailman suurin ruostumattoman teräksen tuotantolaitos. Nämä jo päätetyt toteutuksessa olevat investoinnit kasvattavat yhtiön arvion mukaan Tornion tehtaiden CO₂-päästöt 830 kt/a tasolle vuoteen 2005 mennessä. Suunnitteilla on ollut lisäinvestointeja (ferrokromituotannon kaksinkertaistaminen), joiden myötä päästöt saattavat kasvaa edelleen. Tornion teräsintegraatin voimakas kasvu tulee ottaa huomioon kansallista ilmastostrategiaa päivitettäessä.

4.1.3 Romupohjaisen teräksen valmistus, Imatran Terästehdas

Wärtsilä konserniin kuuluvan Imatra Steel Oy Ab on erikoistunut pitkien niukka-seosteisten erikoisterästen (pyörö-, latta- ja neliötangot) ja taottujen ajoneuvo-komponenttien (taotut moottori- ja etuakselistojen osat raskaaseen ajoneuvoteollisuuteen) valmistamiseen Euroopan auto- ja konepajateollisuudelle. Kesästä 2003 alkaen Imatra Steeliin kuuluvat Imatran terästehdas (yhtiön suurin tuotantoyksikkö) sekä Ruotsin Kilstan ja Iso-Britannian Scottish Stampingsin takomot. Yhtiön teräspalvelukeskus sijaitsee Turengissa. Pohjan kunnassa sijaitsevan Billnäsin takomon jousiliiketoiminta myytiin 6/2003 Frauenthal Holding AG:n omistamalle hyötyajoneuvojen jousituskomponentteja valmistavalle Styria Groupille. Imatra Steel-ryhmän liikevaihto vuonna 2002 oli 200,4 milj. euroa ja henkilöstö keskimäärin 1393 (Wärtsilä Oyj 2003a).

4.1.3.1 Imatran terästehtaan tuotanto ja tuotteet

Imatran terästehtaalla valmistetaan terästä valokaariuuniprosessilla. Terästehtaan raaka-aine on kierrätetty romu, joka sulatetaan, valetaan, valssataan ja jatkojalostetaan

pyörö-, neliö-, latta- ja kierretangoiksi. Romua hankitaan lähes 300 kt vuodessa. Lähes kaikki eurooppalaiset autonvalmistajat ovat terästehtaan asiakkaita. Yhtiön tärkein markkina-alue on Pohjoismaat. Viennin osuus on noin 75 % ja se kohdistuu keskeisille markkina-alueille Ruotsiin ja Keski-Eurooppaan. Valmistusohjelmaan kuuluu yli 300 eri teräslajia. Vuonna 2002 Imatran terästehtaan toimitukset olivat noin 226 000 tonnia ja liikevaihto 118 milj. euroa. Henkilöstöä terästehtaalla työskenteli noin 730.

Terästehtaan tuotteiden toimitusmäärät ovat vuosina 1998–2002 vaihdelleet 220 - 260 kt/a välillä. Bloomituotanto (teräsaihiot) on vaihdellut 250 - 300 kt/a välillä vuosina 1995–2002 ollen suurimmillaan vuonna 2000 (307,3 kt). Laitoksen terässulan tuotantomäärät ovat olleet vuosina 1995–2002 4 - 6 % bloomituotantoa suurempia. Vuonna 2002 bloomituotanto oli 258 kt ja terässulan tuotanto 270 kt (Roiha 2003). Tehdas toimi vuonna 2002 noin 70 %:n käyttöasteella bloomintuotannon kapasiteetilla mitattuna.

Terästehtaan teollisuusalueella toimii myös Ukonhauta Oy:n kiinteiden prosessijätteiden käsittelylaitos ja Messer-Griesheim Suomi Oy:n ilmakaasujen valmistuslaitos, jossa tuotetaan mm. prosessin tarvitsema happi (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 1999). Näitä yksiköitä ei tarkastella jatkossa.

Imatra Steelin keskeiset tuoteryhmät ovat

- kone- ja rakenneteräkset
- nuorrutusteräkset
 - booriteräkset
 - jousiteräkset
- kiinnitinteräkset
- painelaiteteräkset
- hiiletysteräkset
- takoteräkset
- nitrausteräkset.

Lisäksi erikoistuotteina valmistetaan seuraavia tuoteryhmiä

- jauhintangot
- lanateräkset
- tiehöylänterät
- nosturinkiskot
- kierretangot.

Wärtsilä-konsernin ainoa päästökauppajärjestelmään kuuluva tuotantolaitos Suomessa on Imatra Steel Oy Ab:n Imatran terästehdas. Terästuotannolla 300 kt/a (keskimäärin 34 t/h) päästökauppadiirektiivin liitteen 1 rajauskriteerit täyttyvät (jatkuvalun kapasiteetti > 2,5 t/h) ja romun esikäsittely, sulatus, sulankäsittely ja valuprosessit kuulu-

vat päästökauppajärjestelmän piiriin. Jatkossa tulee ratkaista kuuluvatko karkeavalssaus, hienovalssaus (tankovalssaus) ja jatkojalostusprosessien sekä toisaalta tehdaspalvelujärjestelmät päästökauppajärjestelmään (ks. seuraavan sivun prosessikuvaus). Yhtiön Turengin teräspalvelukeskus ja Billnäsin kesällä 2003 myyty jousitehdas eivät kuulu järjestelmän piiriin. Jousitehtaan tuotanto vuosina 1998–2002 oli 7 - 9 kt/a.

4.1.3.2 Romupohjaisen teräksenvalmistuksen prosessikuvaus

Tuotantoprosessin keskeiset vaiheet ovat

- raaka-aineen (romun) esikuumennus
- sulatus ja sulan käsittely
- valu
- karkeavalssaus
- tankovalssaus (hienovalssaus)
- jatkojalostus.

Terästehdas on viimeisen 12 vuoden aikana uusinut tai modernisoinut pääosan tuotantolaitteistaan: yhtiö korvasi kaksi vanhaa valokaariuunia kesäkuussa 1996 käyttöönotetulla AC-valokaariuunilla (Veistaro 1997).

Romu panostetaan sulatusuunin panostuskoreihin, jotka kytketään esikuumentimeen. Esikuumennukseen käytetään valokaariuunin savukaasuja. Niitä lämmitetään tarvittaessa maakaasupoltolla ja jäädytetään sekoittamalla ilmaa.

Kuivattu romupanos sulatetaan valokaariuunissa kuohuvaa kuonaa käyttäen. Sulatuzsen koko on 75 tonnia. Lisäenergiaa uuniin voidaan syöttää happi-maakaasupolttimilla.

Mellotus tehdään happikaasulla kuohutuksen yhteydessä, jonka jälkeen raakasula kaadetaan vaunussa olevaan valusankoon (senkka). Uunissa muodostuvan pölyn määrä lisääntyy jonkin verran, mutta samalla uunin tehokkuus ja energiatalous paranee. Raakasula jalostetaan terässulaksi senkassa tehtävissä käsittelyissä. Sula suojataan puhtaalla kuonalla, seostetaan ja sen lämpötila täsmennetään senkkauunissa. Teräslaadulle asetettujen vaatimusten perusteella sulaan voidaan lisäksi injektoida erilaisia pulvereita injektointiasemassa ja liuenneet kaasut voidaan poistaa vakuuminäköalä. Sekundäärimetallurgian senkkauunin, injektointiaseman ja vakuumitankin kaasujen poistojärjestelmä on kytketty sulaton savukaasujen keruu- ja puhdistusjärjestelmään. Teräksen pääseosaineet kuivataan maakaasulämmitteisessä kuivausrummussa.

Terässula valetaan jatkuvavalukoneessa aihioiksi, jotka katkaistaan polttoleikkamalla ns. bloomeiksi. Maakaasulämmitteisillä senkankuumentimilla on oma savu-piippunsa. Bloomista irtoava hilse (rautaoksidi) ja polttoleikkausjäte kuljetetaan

pois jäähdytysveden mukana. Senkkakuona ja valukoneen väliallaskuona jäähdytetään hallissa. Välialtaan verhoilun korjauksessa ja uusimisessa syntyy shamotti- ja dolomiittijätettä. Tässä selvityksessä teräksen valmistusprosessin "lopputuotteenä" on käytetty bloomeja (ja vuotuista bloomituotantoa), joihin valmistusprosessin tietoja on suhteutettu ominaispäästö- ja -kulutuskertoimien esittämiseksi.

Valetut bloomit panostetaan kuumana tasaushehkutusuuniin, tasaushehkutetaan ja valssataan teelmiksi (jatkovalssausaihioiksi). Jatkovalssausaihiot tarkastetaan. Täydellinen teelmänkäsittely sisältää valssihilseen poiston teräshiekkapuhalluksella, pintavikatarkastuksen (märkä tai kuiva magneettipulveritarkastus), pintavikojen poiston teelmänhionnassa sekä sisävikatarkastuksen ultraäänellä. Teräshiekkapuhalluksessa ja magneettipulveritarkastuksessa erotettu pölyjäte käsitellään valssihilseenä. Teelmänhiontajäte käytetään raaka-aineena sulatusuunissa. Teelmät toimitetaan tankovalssaamolle.

Tankovalssaamalla teelmät kuumennetaan askelarinuunissa ja valssataan pyörö-, neliö- tai lattatangoiksi. Jäähdytetyt tangot leikataan, tarkastetaan ja toimitetaan jatkokäsittelyyn tai lähetetään suoraan asiakkaalle. Uunit, kuumapuskuri ja bloomiuuni ovat maakaasulämmitteisiä. Hehkutuksessa ja valssauksessa syntyy valssihilsettä, josta pääosa kuljetetaan pois jäähdytysveden mukana.

Jatkojalostusosastolla tangoille tehdään asiakkaan tarpeiden mukaisesti erilaisia lämpö- ja pintakäsittelyjä sekä tarkastetaan erillisessä tarkastuslinjassa.

Käytössä olevat nuorutuslaitokset ja langanhehkutusuuni ovat maakaasulämmitteisiä. Kesällä 1996 on Wellman-nuorutuslaitoksen kapasiteettia lisätty varustamalla karkaisu-uuni erillisellä esilämmitysosalla ja lisäämällä päästöuunien lukumäärää kolmesta neljään. Uudet osat lämmitetään maakaasulla. Muutosten seurauksena osaproessin maakaasun käyttö ja kapasiteetti nousivat noin 15 % ja osaproessin päästöt noin 15 % .

Kuonanmurskausta alueella harjoittaa Ukonhauta Oy. Murskausaseman lähellä sijaitsee Osuuskunta Teollisuuden Romu. Murskausasemalla suoritetaan teräskuonan ja tiilijätteen murskausta, kuonan irrottamista teräskollista, vaununpohjajätteen ja valssihilseen seulontaa. Lisäksi alueella on erilaisia varastoja sekä ongelmajätevarasto (Kaakkois-Suomen Ympäristökeskus 1999).

4.1.3.3 Tuotantopanokset, CO₂-päästölähteet ja ominaispäästöjen kehittyminen

Keskeiset valokaariprosessin käyttämät teräksenvalmistuksen raaka-aineet ovat ostoromu, harkkorauta, seosaineet, happi ja poltettu kalkki. Lisäksi tarvitaan

grafiittielektrodeja sekä pieniä määriä koksia ja hiilipulveria. Kalsiumkarbonaattista vapautunut hiilipäästö syntyy jo kalkkitehtaalla, joten poltetun kalkin käytöstä Imatran terästehtaalla ei enää synny prosessipäästöä. Energianlähteinä ovat sähkö ja maakaasu. Sähköstä pääosa kuluu romun sulatuksessa, senkkametallurgiaan ja valssaukseen. Maakaasua käytetään valssaamoiden ja jatkojalostuksen kuumennusuuneissa ja lämmityksessä.

Taulukko 16. Imatran terästehtaan keskeisten syötevirtojen ominaiskertoimet terästön kohden. Vuoden 1999 tuotanto oli 229 kt terästä (Imatra Steel Oy Ab, Ympäristöraportti 1999).

DAT	Yksikkö	1995	1996	1997	1998	1999
Raaka-aineet						
Ostoromu	kg/t, terästä	1085	1112	1093	1102	1092
Omaromu	kg/t, terästä	195	178	196	199	225
Seosaineet	kg/t, terästä	33	35	36	38	38
Energian ominaiskulutus						
Sähkö	kWh/t, terästä	868	920	895	895	892
Maakaasu	kWh/t, terästä	962	1004	888	892	959
Yhteensä	kWh/t, terästä	1830	1924	1783	1787	1851
Apuaineiden käyttö						
Poltettu kalkki	kg/t, terästä	56	52	49	56	57
Koksi	kg/t, terästä	7,6	8,3	8,1	8,2	8,6
Happi	kg/t, terästä	21	23	26	28	27
Hiilidioksidin kokonaispäästö	kt/a	61	62	57	62	59

Romun kasvava määrä maailmassa sekä jatkuvasti kasvava mielenkiinto raaka-aineiden kierrätystä kohtaan ovat pitkään kannustaneet romupohjaisen teräksen valmistukseen. Romun sulatuksen energiantarve on kolmas-neljäsosa masuuni-konvertteriteknologiaan perustuvan malmipohjaisen prosessin tarvitsemasta kokonaisenergiasta. Suomessa Imatran terästehtaan lisäksi romua käytetään suuria määriä sekä Raahen konvertteriprosessissa että Tornion terästehtaalla. Suomi on romun nettotuojaa.

Imatran terästehdas on käyttänyt vuosittain noin 300 kt pääasiassa kotimaasta kerättyä rautaromua. Romu on peräisin teollisuuden leikkaus- ja koneistusjätteistä, puretuista rakennuksista ja rakenteista, käytöstä poistetuista koneista, kulku-neuvoista ja muista kotitalouksien ja elinkeinotoiminnan hylkäämistä esineistä. Ulkomailta tuotavan romun osuus on noin kolmannes tehtaan tarpeesta. Rauta- ja teräsromun maailmanmarkkinat ovat maailmanlaajuiset ja romua viedään suuria määriä maanosasta toiseen ja markkinahinnat reagoivat voimakkaasti kysynnän ja tarjonnan muutoksiin. Merkillepantava seikka on romun kansainvälisten hintojen voimakas nousu vuoden 2003 alussa. Romun hinnannousu korkealle tasolle vaikuttaa voimakkaasti romupohjaisen teräksen valmistuskustannuksiin ja sitä kautta myös hintoihin.

Romun käyttö säästää rautamalmivarojen lisäksi huomattavan määrän kalkkikiveä ja muita raakaraudan valmistuksessa tarvittavia apuaineita. Tämä merkitsee myös sitä, että romupohjaisen teräksenvalmistuksen suorat hiilidioksidipäästöt ovat vain noin seitsemäsosa rautamalmin perustuvan teräksenvalmistuksen ominaispäästöistä. Hiilidioksidipäästöjä aiheutuu kuitenkin myös valokaari-prosessin tarvitseman sähkön ja hapen tuotannosta sekä tarvittavan poltetun kalkin tuotannosta, mitkä pienentävät eroa. Terästä on kuitenkin valmistettava maailman teräsmarkkinoille sekä rautamalmista että romusta. Molempia raaka-aineita tarvitaan, sillä romunkeräyksen tehokkuudesta ja jatkuvasta kehittämisestä huolimatta osa markkinoille toimitetusta teräksestä jää palaamatta terästehtaalle.

Ostorumun hiilipitoisuus on keskimäärin 0,2 %, mutta se saattaa vaihdella välillä 0,15 - 0,4. Ostetun harkkoraudan hiilipitoisuus on noin 4 % (Roiha 2003). Vuoden 2002 päästö- ja tuotantotietojen perusteella yhtiö on laatinut terästehtaastaan ekotaseen. Siinä tarkastellaan tärkeimpien raaka-aineiden käyttöä, syntyviä päästöjä ja jätteitä tuotettua terästonnia kohden (ulkoiset tuotantopanokset, kuten ilmakasulaitos, kalkinpolttamo ja sähköntuotanto, eivät ole mukana lukuarvoissa). Yhtä terästonnia kohden syntyy noin 250 kilogramman hiilidioksidipäästö.

Toiminnassa syntyy vuosittain yli 50 000 tonnia jätteitä. Teräskuonaa tästä määrästä on noin 40 000 t. Teräskuonan hyötykäyttö aloitettiin jo 1970-luvun alussa ja nykyisin hyötykäyttöaste on jo yli 90 % . Kuonasta erotettu teräs palautetaan valokaariuuniin ja kuonamurske käytetään tienrakennukseen, jossa se korvaa soraa ja sepeiliä. Valssihilse toimitetaan kokonaisuudessaan raaka-aineeksi sementtiteollisuuteen ja raudanvalmistukseen. Valokaariuunipölyä erottuu sulaton savukaasujen puhdistuksessa. Sen sisältämät sinkki ja lyijy erotetaan hyötykäyttöön saksalaisessa käsittelylaitoksessa. Imatran terästehdas on tehnyt elinkaariarvion Suomen ympäristökeskuksen kanssa yhteistyössä (Seppälä ym. 2000). Jätteiden ja sivutuotteiden hiilisisältö on arvioitu niin vähäiseksi, ettei sitä tarvitsisi ottaa huomioon laitoksen hiilitasetta laskettaessa.

Teräksen valmistukseen tarvittavan energian määrästä noin puolet on sähköä ja puolet maakaasua. Suurin osa sähköstä kuluu sulatuksessa. Valssaamot ovat toinen merkittävä käyttökohde. Osan sähköstä käyttävät jokivedenottamon ja jätevedenpuhdistamon pumput sekä sulaton suodinlaitoksen puhaltimet. Maakaasua käytetään aihoiden ja tankojen kuumentamiseen (mm. valssaamo ja lämpökäsittelyuunit) sekä rakennusten lämmittämiseen. Teräksen valmistukseen kuluu keskimäärin 1800 kWh energiaa tuotettua terästonnia kohti. Uunisavujen lämpöä käytetään hyväksi panostettavien romujen esikuumentuksessa. Se vähentää valokaariuunin sähkönkulutusta noin 20 kWh terästonnia kohden ja pienentää romun seassa talvella olevan jään aiheuttamaa räjähdysriskiä.

Hiilidioksidipäästöistä suurin osa muodostuu kuumennusuuneissa maakaasua poltettaessa. Valssamoiden ja jatkojalostuksen kuumennusuunit lämmitetään maakaasulla. Teräksenvalmistuksen hiilidioksidipäästöihin vaikuttavat syötteet ovat maakaasu, koksi+hiilipulveri, elektrodit, romun sisältämä hiili sekä hiilipitoiset seosaineet (Roiha 2003). Koksia ja hiilipulveria käytetään valokaariuunissa pieniä määriä ja niistä syntyy CO-kaasupäästö, joka on otettu taselaskelmassa huomioon.

Laitoksen terässulan tuotantomäärät ovat olleet vuosina 1990–2002 3 - 7 % bloomituotantoa suurempia. Sähköstä noin 75 % kuluu teräksen valmistuksessa. Vuoden 1995 jälkeen polttoöljyä ei prosesseissa ole juuri käytetty ja maakaasun käyttö suoraan prosessiin on vähentynyt. Ilmakaasulaitoksen tuottaman hapen käyttö on vaihdellut tasolla 4 - 7 kt/a. Taulukossa 17 on esitetty hiilidioksidipäästöjen, teräsaihioiden (bloomien tuotannon) sekä ominaispäästöjen kehittyminen.

Taulukko 17. Imatran terästehtaan materiaalitasetarkastelun perusteella lasketut CO₂-päästöt teräksen valmistusprosessille ja koko laitokselle. Teräksen valmistusprosessin CO₂-päästö on laskettu raaka-ainetaseesta periaatteella päästö = romu + elektrodit + koksi + hiili + seosaineet - bloomit - prosessiromu (Roiha 2003).

CO ₂ -päästöt, tCO ₂ /a	2000	2001	2002
Teräksen valm pros. CO ₂ -emissio raaka-ainetaseesta			
CO ₂ -päästö raaka-aineista	16439	16023	15139
Teräksen valm. pros. CO ₂ emissio polttoaineista			
Maakaasu /prosessi CO ₂	10	12	5
Mk /oheislaitteet CO ₂	7231	6839	6519
Mk /lämmitykset CO ₂	430	580	403
PÖ /lämmitykset CO ₂	0	0	0
CO ₂ -päästö polttoaineista, yht.	7672	7431	6926
Teräksen valm pros CO ₂ emissio yht.	24111	23454	22065
Teräksen valssaus, jatkojalostus, yms. CO ₂ yht.	39130	38367	34495
Koko tehtaan CO ₂ -päästö yhteensä, t/a	63241	61821	5656

Päästötietoja hyödynnettäessä tulee aina ottaa huomioon tarkastelun taserajat, mikä vuoksi maakaasun käyttö on taulukossa 17 jaettu eri kohteisiin. Lukuarvot ovat suuntaa-antavia ja tarkentuvat lähivuosina.

4.1.3.4 Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot

Laitoksen pääenergianlähteet ovat sähkö ja maakaasu, joiden keskinäistä osuutta voidaan hieman muuttaa niiden hintasuhteista riippuen. Maakaasun käytön vuoksi laitoksella ei ole mahdollisuuksia siirtyä vähähiilisempien polttoaineiden käyttöön eikä nykyisten polttoaineiden korvaaminen biopolttoaineilla ole mahdollista

(Roiha 2003). Mikäli tehtaan tuotteiden kysyntä ja tuotanto kasvaa, on huomattava, että yli 320 kilotonnin aihiotuotanto tulee vaatimaan happi-maakaasupolttimien käyttöönoton valokaariuunissa (Roiha 2003), mikä kasvattaa tehtaan ominaispäästöjä.

Energian tehokas käyttö on tärkeää yksikön kilpailukyvyn kannalta. Imatra Steel on solminut kauppaja- ja teollisuusministeriön kanssa energiansäästösopimuksen vuonna 1998. Sopimuksen tavoitteena on edistää energiatehokkuutta niin, että energian ominaiskulutus pienenee ja energian tehokkaasta käytöstä tulee vakiintunut osa yrityksen toimintaa. Yhtiö on laatinut vuodelta 1999 ympäristöraportin (Imatra Steel, Ympäristöraportti 1999) ja toteuttanut vuonna 1999 Imatran terästehtaan Motivan periaatteilla prosessiteollisuuden energia-analyysin.

Energiakatselmuksessa kartoitettiin perusteellisesti koko tehtaan energiankäyttö ja arvioitiin sen tehokkuutta eri käyttökohteissa. Energia-analyysin toisessa vaiheessa toteutettiin todettujen säästökohteiden yksityiskohtaisemmat analyysit. Katselmuksen ja analyysien tuloksena syntyi joukko sekä kunnossapidollisia että investointeja edellyttäviä toimenpiteitä, joilla energian käyttöä voidaan tehostaa. Kaikki analyysissä esitetyt toimenpide-ehdotukset eivät kuitenkaan olleet toteuttamiskelpoisia. Säästöpotentiaaliksi analyysissä arvioitiin lämmön osalta noin 3 % ja sähkön osalta noin 2 % (Roiha 2003). Toimenpiteiden toteutus ja prosessien kehittäminen edelleen energiatehokkaammiksi vastaavat ympäristö- ja laatuajurjestelmien mukaista jatkuvan parantamisen periaatetta.

Toimipaikan keskeisimmät CO₂-päästöjä vähentävät tehostamiskeinot ovat (Roiha 2003, Imatra Steel Oy Ab):

- 1) Joidenkin jätelämpöjen lisähyödyntäminen on mahdollista: tehtaan keskeiset tuotantolaitteet on uusittu viimeisen 15 vuoden aikana ja jäljellä on lähinnä vain pieniä yksittäisiä laiteparannuksia, joilla energiatehokkuutta/CO₂-päästöjä on mahdollista parantaa jatkossa.
- 2) Energian käytön tehostaminen: energiansäästö on otettu osaksi tehtaan laatu- ja ympäristöpolitiikkaa. Myös sekä QS 9000 -laatuajurjestelmä että ISO 14001 -ympäristöajurjestelmä edellyttävät energiankäytössä jatkuvaa parantamista. Useat terästehtaan asiakkaat, esimerkiksi autoteollisuus, edellyttävät virallista sertifiointia.

Imatra Steel on verrannut valokaariuunejaan muihin vastaavalla teknologialla toteutettuihin yksiköihin (Roiha 2003). Merkillepantava seikka on, että prosessiteollisuudessa kokonaisten laitosten ”benchmarking” on erittäin vaikeaa prosesseissa, raaka-aineissa ja tuotteissa olevien erojen vuoksi. Nämä seikat johtavat siihen, että vertailu on tehtävä lähes ”laitetasolla” ja kiistatonta vertailtavuutta on tavanomaisissa tapauksissa

mahdotonta saavuttaa, jolloin vertailut jäävät osittain subjektiiviselle tasolle. Imatran terästehtaalla on käynnissä perusmetallurgian uudistamisohjelma, jonka puitteissa kärkeavalssaamo uudistettiin 2002. Kesällä 2003 uudistettiin jatkuvavalu ja bloomiuuni.

Päästöoikeuksien kustannukset vaikuttavat romupohjaiseen teräksenvalmistukseen todennäköisesti voimakkaimmin sähköenergian hinnan kautta, jolloin energian hinnan nousu vaikuttaa tuotantokustannuksiin. Vuonna 2003 energian osuus valmistuskustannuksista on ollut 7–8 %:n suuruusluokkaa (Roiha 2003, Imatra Steel Oy Ab). Ilmastokysymys ja päästökauppa vaikuttavat sähköenergian hinnan lisäksi myös maakaasun ja romun markkinoihin, mitkä ovat alalla vallitsevia riskitekijöitä. Toisaalta nämä seikat vaikuttavat myös mahdollisten tehostamis-investointien takaisinmaksuaikoihin niitä lyhentävästi. Romun maailmanmarkkinat ovat esimerkki energiaintensiivisestä materiavirrasta, jonka avulla maat saattavat vähentää oman raaka-ainetuotannon päästöjään ilman, että muutoksiin liittyy globaalissa mielessä todellista kasvihuonekaasupäästöjen vähenemää (hiilivuodon syntyminen raudan valmistuksen siirtyessä päästökauppajärjestelmän ulkopuolisiin maihin).

4.1.3.5 Yhteenveto ja arvio päästöjen vähennysmahdollisuuksista

Imatran terästehtaan tuotantokapasiteetti on 380 kt/a teräsaihoita (bloomeja), mutta bloomituotanto on ollut viiden edellisen vuoden aikana (1998–2002) keskimäärin 283 kt/a (258 - 307 kt/a). Vastaavalla ajanjaksolla koko laitoksen yhteenlasketut omat hiilidioksidipäästöt ovat vaihdelleet vuosittain välillä 56,6 - 63,2 ktCO₂/a. Koko laitoksen tarkka hiilitaseen laskenta on monimutkainen tehtävä lopputuotteiden suuren lukumäärän sekä ostoromun hiilipitoisuuden epävarmuuksien vuoksi. Tässä tarkastellussa tiedot on esitetty yhtiön toimittamien lähtötietojen pohjalta valitsevilla tarkkuustasolla. Lähitulevaisuudessa on todennäköistä, että teräksen tuotantoprosessien tiedot tarkentuvat käynnissä olevan menetelmäkehityksen myötä.

Suurin osa laitoksen CO₂-päästöistä aiheutuu maakaasun käytöstä sulatuksessa, valssaamalla sekä lämpökäsittelyuuneissa sekä monissa muissa pienemmissä käyttökohteissa. Teräksen valmistusprosessin hiilitasetarkastelun perusteella prosessin raaka-aineista (romu, elektrodit, hiilipöly ja koksi, seosaineet) aiheutui vuonna 2002 15,1 ktCO₂/a päästö ja loput 41,4 ktCO₂/a syntyi maakaasun käytöstä kuumennukseen ja lämmitykseen lukuisissa tehtaan osaprosesseissa.

Prosessi käytti vuonna 2001 883 kWh sähköenergiaa terästuotetonna kohden. Maakaasua kului 3,44 GJ terästonna kohden. Edellisten viiden vuoden aikana prosessin kokonaisenergiatarve on vaihdellut välillä 6,4 - 6,7 GJ/t, terästä.

Koko laitoksen vertaaminen julkaistuihin BAT-tasoihin ei ole yhtiön mukaan perusteltua (Roiha 2003). Vertailuja on mahdollista tehdä lähinnä ”laitetasolla”, koska

integraateissa, raaka-aineissa ja tuotteissa on huomattavia eroja, jotka vaikuttavat energian ominaiskulutukseen ja hiilidioksidin ominaispäästöihin. Tarkasteluiden rajauseroilla on vaikutuksia silti myös ”laitetasolla”. Rajausten tulisi olla samat vertailuja tehtäessä, mutta usein lukuarvoja esitetään ilman rajauksiin liittyviä läpinäkyviä tietoja.

Vuosina 1998–2002 Imatran terästehtaan CO₂-ominaispäästöt ovat vaihdelleet välillä 202 - 224 kgCO₂/kokotehdas/tonni bloomeja. Ominaispäästöjen erot eri vuosina johtuvat mm. tuotannosta riippumattoman energiakulutuksen suhteellisen osuuden vaihtelusta eri vuosina. Laitoksen ottaminen kokonaisuutena mukaan päästökaupparjestelmään tukisi energiataloudellista kehittämistä (energiainegrointia) ja yksinkertaistaisi taloudellista ja ympäristötekijöihin liittyvää raportointia.

Yhteenvedona mahdollisista CO₂-vähennyskeinoista ja potentiaaleista voidaan todeta, että laitoksen käytettävissä olevat vähennyskeinot ovat lähinnä energian- ja materiaalien käytön tehostamistoimia, joilla saavutettavat potentiaalit ovat yhtiön mukaan pienet. Energian käytön tehostamismahdollisuuksia yhtiö on selvittänyt vuonna 1999 luottamuksellisin toimeksiannoin Motivan prosessiteollisuuden energia-analyysin mukaisesti. Tuolloin säästöpotentiaaliksi analyysissä arvioitiin lämmön osalta noin 3 % ja sähkön osalta noin 2 % (Roiha 2003).

Tulevaisuudessa mahdollisen kysynnän ja tuotannon kasvun myötä energian käyttö ja päästöt kasvanevat. Nykyisen markkinatilanteen vuoksi tehtaan tuotantokapasiteetti ei ole ollut viime vuosina täydessä käytössä ja jopa 30 %:n kasvu bloomituoannossa olisi kapasiteetin osalta mahdollinen. Yli 320 kilotonnin aihiotuotanto edellyttää kuitenkin happi-maakaasupolttimien käyttöönottoa valokaariuunissa. Tulevaisuuden näkymiä arvioitaessa on otettava huomioon, että jatkojalostettavien (mm. lämpökäsiteltyjen) tuotteiden osuuden lisääntyminen johtanee myös ominaispäästöjen nousuun, jota toisaalta voidaan kompensoida lämmön talteenoton tehostamis-investoinneilla ja yksittäisillä laiteparannuksilla.

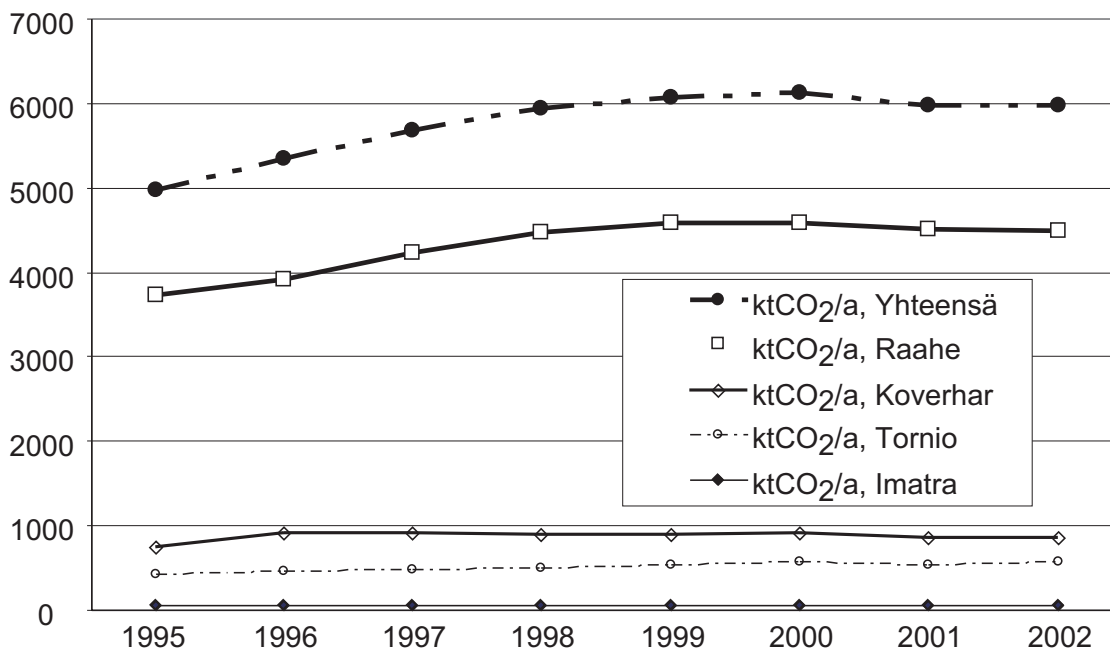
4.1.4 Yhteenvedo terästeollisuuden tuotannon ja CO₂-päästöjen kehittymisestä ja arvio päästöjen vähennysmahdollisuuksista

Teräsaihioiden tuotanto on kasvanut Suomessa 50 % vuoden 1995 tasosta (3 150 kt/a) vuoteen 2003 mennessä (4766 kt/a). Värimetallien ja valujen tuotanto on taantunut vuoden 2000 jälkeen. Hiilidioksidipäästöjen kannalta merkittävin kokonaiskuvaan vaikuttava seikka on ollut Raahen terästuotannon kasvu, mutta lähitulevaisuudessa kasvua aiheutuu erityisesti Tornion tehtaan kapasiteettilajennuksista. Malmipohjaisen terästuotannon ja erillisten valssamojen yhteenlasketut päästöt kattavat noin 90 % koko Suomen terästeollisuuden hiilidioksidi-

päästöistä ja yli 10 % koko päästökauppasektorin päästöistä. Ferrokromituotannon mahdollinen kasvattaminen Torniossa tulee vaikuttamaan voimakkaasti tehtaan omiin CO₂-päästöihin.

Kuvassa 10 on esitetty päästökauppajärjestelmän piiriin kuuluvien yhtiöiden kokonaishiilidioksidipäästöjen kehittyminen vuoteen 2002 asti.

ktCO₂/a, kaikki prosessit



Kuva 10. ”Rautametallien jalostus” -ryhmän päästökaupan piiriin kuuluvien yritystoimipaikkojen hiilidioksidipäästöt ja ryhmän kokonaispäästöjen kehittyminen vuosina 1995–2002. (Lukuarvot ovat vain suuntaa-antavia ja muuttuvat kun päästöjen laskentajärjestelmät ja tarkastelujen rajaukset kehittyvät EU:n päästöjen tarkkailu- ja raportointiohjeen mukaisiksi.)

Edellä esitetyt yhtiöiden hiilitaselaskelmiin perustuvat alustavat laskelmat kattavat myös jatkuvavalun jälkeiset toimipaikkojen valssaus- ja jatkojalostusprosessien sekä tehdaspalvelujärjestelmien päästöt. Edellisen kuvan Rautaruukin Raahan tehtaan lukuarvot kattavat omien prosessien lisäksi ulkoistetun kalkinpolttamon käyttämän koksikaasun päästöosuuden (taustalla on hyödynnetty oletusta siitä, että energiasivutuotteen päästö kohdistetaan sille prosessille, josta sivutuote on peräisin). Tarkkoihin päästötietoihin vaikuttavat luonnollisesti lopulliset päästöjenlaskentajärjestelmää koskevat rajauspäätökset ja -säännöt sekä yksityiskohtaisemmin päästöjen monitorointimenetelmät. Edellä esitetyt päästötiedot eivät ole yhdenmukaiset komission tarkkailu- ja raportointiohjeen (EC 2004) kanssa.

Suomen kokonaishiilidioksidipäästöjen kannalta Rautaruukin malmipohjainen teräksentuotanto on erittäin keskeinen päästölähde. Tuotanto Raahessa vaihteli vuosina 2000–2002 välillä 2,562 - 2,565 Mt/a ja Koverharissa välillä 0,514 - 0,567 Mt/a. Mikäli Raahen kalkinpolttamon (Nordkalk Oyj:n omistuksessa) raaka-aine ja polttoaineperäiset päästöt kohdistetaan kokonaan Nordkalkille, Rautaruukki-konsernin omistuksessa olevien tuotantoyksiköiden hiilidioksidipäästöt vaihtelivat Raahessa välillä 4,3 - 4,7 MtCO₂/a. Koverharissa päästöt vaihtelivat välillä 0,8 - 0,9 MtCO₂/a. Vuosi 2002 oli ominaispäästötasoiltaan tarkastelujakson (1995-2002) alhaisin. Terästehtaiden kaikkien prosessiyksiköiden sisällyttämistä päästökauppajärjestelmään tulisi harkita, jotta raportoinnin ja laitoksen energiainegroinnin johdonmukaisen kehittämisen kannalta haitallista rajapintaa ei syntyisi päästökauppajärjestelmään kuuluvien ja sen ulkopuolelle jäävien prosessien välille.

Tornion tehtaiden hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2002 577 kt ja aiheutuivat suurimmaksi osaksi ferrokromitehtaalla käytettävän koksen hiilestä ja FeCr-prosessin sivutuotteena syntyvän CO-kaasun polttoainekäytöstä integraatin eri prosesseissa. Lisäksi päästöjä aiheutuu nestekaasusta sekä raskaan polttoöljyn käytöstä integraatin lämpökattiloissa. Vuosina 1997–2002 tuotantolaitoksen keskimääräinen vuosituotanto oli 245 kt ferrokromia. Ferrokromitehtaalle voidaan allokoita päästöosuus 147 ktCO₂/a, jolloin muille yksiköille jää yhteensä 430 ktCO₂/a. Tässä yhteydessä tulee huomata, että prosessien välinen päästöallokointi on riippuvainen sovelletuista laskentaperiaatteista. Outokumpu-konserni ja erityisesti Tornion terästehdas ovat merkittäviä sähköenergian käyttäjiä. Outokumpu-konsernin toimipaikat käyttivät vuonna 2002 sähköenergiaa yhteensä noin 3 TWh, josta Tornion tehtaiden osuus on oli noin puolet.

Imatran terästehtaan tuotantokapasiteetti on 380 kt/a teräsaihioita (bloomeja), mutta bloomituotanto on ollut viiden edellisen vuoden aikana (1998–2002) keskimäärin 283 kt/a (vaihdellen välillä 258 - 307 kt/a). Vastaavalla ajanjaksolla koko laitoksen yhteenlasketut omat hiilidioksidipäästöt ovat vaihdelleet vuosittain välillä 56,6 - 63,2 ktCO₂/a. Suurin osa laitoksen CO₂-päästöistä aiheutuu maakaasun käytöstä sulatuksessa, valssaamalla sekä lämpökäsittelyuuneissa sekä monissa muissa pienemmissä käyttökohteissa. Teräksen valmistusprosessin hiilitasetarkastelun perusteella prosessin raaka-aineista (romu, elektrodit, hiilipöly ja koksi, seosaineet) aiheutui vuonna 2002 15 ktCO₂/a päästö ja loput 41 ktCO₂/a syntyi maakaasun käytöstä kuumennukseen ja lämmitykseen lukuisissa tehtaan osaprosesseissa. Prosessi käytti vuonna 2001 noin 900 kWh sähköenergiaa terästuotetonna kohden. Maakaasua kului 3,4 GJ terästonnin kohden. Edellisten viiden vuoden aikana prosessin kokonaisenergiatarve on vaihdellut välillä 6,4 - 6,7 GJ/t, terästä.

Terästuotannon voitaneen arvioida kasvavan vuoden 2002 tasolta 3 980 kt/a tasolle 5 400 kt/a vuonna 2005 (+36%) ja kasvun arvioidaan jatkuvan tasolle

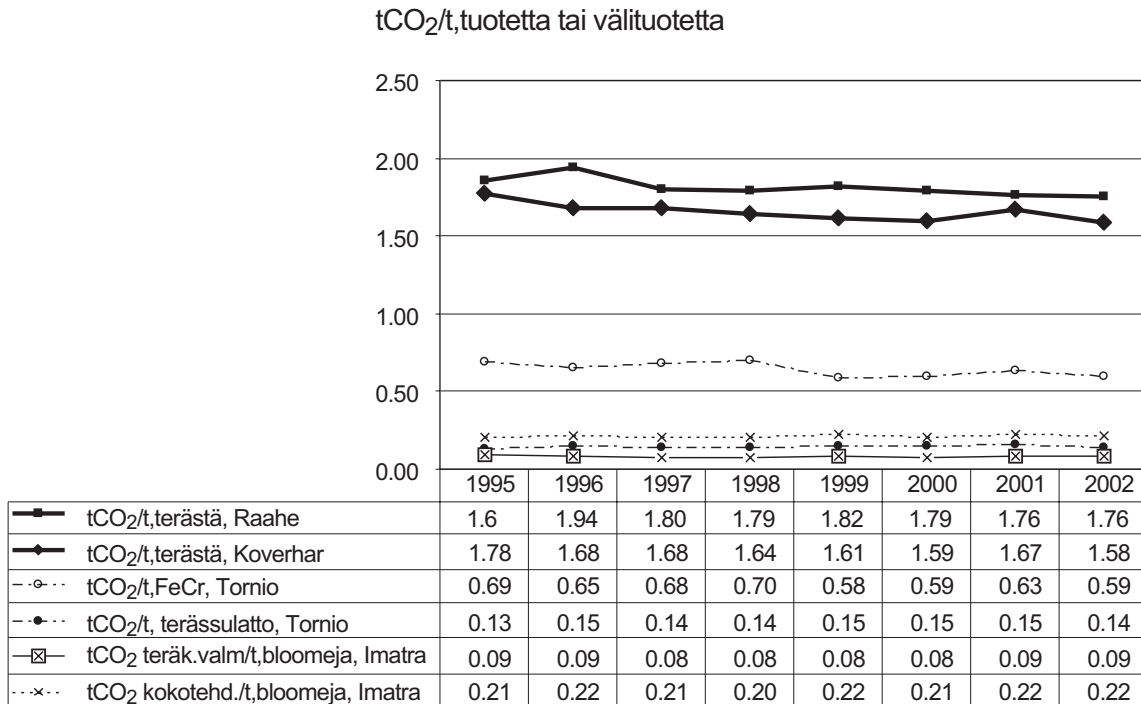
+62 % vuoden 2002 tasosta. Kasvun oletetaan suuntautuvan kasvavasti romu ja/tai DRI-pohjaisen teräksenvalmistuksen suuntaan, joka kattaisi tuotannon kasvusta vuoteen 2005 mennessä 75 % ja aikavälin 2002–2010 kasvusta yli 80 %.

Päästökehityksen kannalta kasvua aiheutuu erityisesti Rautaruukin Raahen tehtaan sekä Outokummun Tornion tehtaan jo toteutetuista kapasiteettilaajennuksista, joiden käyttöönoton vaikutukset tulevat näkymään vuosien 2003 ja 2004 kokonaispäästöissä. Raahen terästehtaan teräsentuotantokapasiteetti nousi loppuvuonna 2002 tasolle 2,8 miljoonaa tonnia teräsaihoita.

Tornion integraatin hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet jatkuvasti koko 1990-luvun ajan tehtaan tuotannon kasvun myötä ja kasvu kiihtyy lähivuosina investointiohjelman kohteiden käyttöönoton myötä. Terästehtaan teräsaihojen ja kuumavalssaamon tuotantokapasiteetti oli vuonna 2002 650 kt/a ja kylmävalssauskapasiteetti 550 kt/a. Investointiohjelman vaikutukset CO₂-päästöihin näkyvät vasta vuosien 2003 ja 2004 tiedoissa. Tornion tehtaan aihiotuotanto sekä kuumavalssauskapasiteetti nousevat vuoden 2004 loppuun mennessä 1 Mt/a tasolle 1650 kt/a ja kylmävalssauskapasiteetti tasolle 1200 kt/a. Investointiohjelmaan sisältyvät uusi sulatto, kuumavalssaamon laajennus sekä uuden jatkuvatoimisen kylmävalssaus-, hehkutus- ja peittäuslinjan (RAP) rakentaminen. Tämän jälkeen Tornion terästehdas on maailman suurin ruostumattoman teräksen tuotantolaitos (Outokumpu Oyj, Vuosikertomus 2002). Nämä jo toteutuksessa olevat investoinnit kasvattavat yhtiön arvion mukaan Tornion tehtaiden CO₂-päästöt 830 kt/a tasolle vuoteen 2005 mennessä. Tornion tehtaiden sähköenergian tarve kasvaa vuonna 2005 noin 1,5-kertaiseksi vuoden 2002 tarpeeseen verrattuna (noin 1,5 TWh/a).

Nykyisen markkinatilanteen vuoksi Imatran terästehtaan tuotantokapasiteetti ei ole ollut viime vuosina täydessä käytössä ja jopa 30 %:n bloomituotannon kasvu olisi kapasiteetin osalta mahdollinen ilman merkittäviä lisäinvestointeja.

Saatavilla olevan tiedon perusteella voitiin muodostaa alustavat toimipaikka-kohtaiset ”CO₂-ominaispäästöindikaattorit”. Rajausten ollessa toistaiseksi tulkinanvaraisia ja laskentamenetelmissä olevien mahdollisten piilevien erojen vuoksi seuraavassa kuvassa esitettyihin ominaispäästöihin tulee kuitenkin suhtautua vain ”suuntaa-antavina” (kuva 11).



Kuva 11. Rautametallien jalostuksen keskeisten toimipaikkojen alustavat CO₂-ominaispäästökäyrät (indikatiivisia) aikavälillä 1995–2002. (Huom. lukuarvot ovat riippuvaisia tarkasteluiden rajauspäätöksistä).

Yleiskuvana tehdyistä ominaispäästötarkasteluista havaittiin, että käyrissä on havaittavissa pientä parannuskehitystä aikaperiodilla 1995–2002. Edellisen kuvan lukuarvoissa ovat Raahen terästehtaan osalta mukana kaikki prosessit paitsi kalkinpolttamon kalsiumkarbonaattiperäinen päästöosuus. Koverharissa ominaispäästötaso on laskenut vuoden 1990 1,8 tCO₂/t, terästä tasolle 1,58 tCO₂/t, terästä 2002. Tähän ovat vaikuttaneet mm. sintraamon sulkeminen ja siirtyminen sataprosenttiseen pellettipanostukseen masuunissa. Vuonna 2002 Imatran terästehtaan CO₂-ominaispäästöt vaihtelivat vuosina 1998–2002 välillä 202 - 224 kgCO₂, kokotehdas/t, bloomeja.

Ominaispäästöjen erot eri vuosina johtuvat mm. tuotannosta riippumattoman energiankulutuksen suhteellisen osuuden vaihtelusta eri vuosina. Laitosten tarkasteleminen kokonaisuutena hiilitase-näkökulmasta tukisi energiataloudellista kehittämistä (energiaintegrointia) ja yksinkertaistaisi taloudellista ja ympäristötekijöihin liittyvää raportointia sekä poistaisi päästöjen allokointiin liittyviä vaikeuksia.

Suurin osa Rautaruukin hiilivirroista ympäristöön aiheutuu masuuniprosesseissa pelkistysaineina tarvittavan koksen valmistuksesta ja käytöstä (ml. sivutuotteena syntyvien kaasujen käyttö) sekä erikoisraskaasta polttoöljystä. Tarkasteltaessa koko

Rautaruukki-konsernin Suomen yksiköiden CO₂-päästöjä (5,75 Mt vuonna 2002) voidaan havaita, että lähes 90 % aiheutuu edellä mainituista hiilivirroista. Kuumentamiseen ja lämmitykseen käytettävien polttoaineiden CO₂-päästöjen osuus on ainoastaan noin 5 % ja kalkkikivestä vapautuvan raaka-aineperäisen CO₂:n osuus noin 4 % kokonaispäästöistä, joka kohdennettaneen laitoksen nykyiselle omistajalle. Masuuniprosessin raaka-aineiden korvaaminen on erittäin vaikeaa ilman teknologian vaihtoa, eikä polttoaineiden korvaaminen vähähiilisemmällä tai uusiutuvilla vaihtoehtoilla näytä realistiselta käytettävissä olleen tiedon perusteella.

Yhtiöt voivat vähentää hiilidioksidin ominaispäästöjään lähinnä vain energiankäyttöön jatkuvasti tehostamalla. Vuonna 2001 Raahen terästehtasintegraatti toimi ominaisenergiankulutustasolla 19,6 GJ/tuotettu terästonni. Rautaruukki on tehnyt vuonna 1993 Kauppa- ja teollisuusministeriön kanssa sopimuksen Raahen terästehtaan energiansäästöohjelmasta, jossa tavoitteena on kymmenen prosentin säästö vuoteen 2005 mennessä vuoden 1990 ominaiskulutuksesta. Vuonna 1990 ominaiskulutus oli 19,74 GJ/t, terästä ja tavoitearvo vuodelle 2005 on 17,77 GJ/t, terästä. Tämä noin 2 GJ/t, terästä energiankäytön tehostaminen (noin 10 %:n tehostuminen) vuoteen 2005 mennessä edellyttäisi konvertterikaasun talteenotto- ja voimalaitoksen modernisointi-investointien nopeaa käynnistämistä sekä muutamia pienempiä energiankäytön tehostamiseen liittyviä investointiprojekteja. Näiden toimenpiteiden avulla loppuvuonna 2002 toteutuneesta tuotannon noususta 2,85 Mt, terästä/a aiheutuvaa toimipaikan omien CO₂-päästöjen kasvua voidaan kompensoida arviolta 100 ktCO₂/a (2,3 %). Tämä päästövähennys aikaansaataisiin korvaamalla ostonestekaasun tarve talteenotetulla konvertterikaasulla. Johtopäätelmänä Rautaruukin osalta voitaneen arvioida, että voimakkaatkaan toimet energiankäytön tehostamisessa eivät riitä kompensoimaan jo toteutetusta tuotannon lisääntymisestä johtuvaa CO₂-päästöjen lisääntymistä vuoden 2002 tasosta vuoteen 2010 mennessä.

Pohdittaessa Tornion tehtaiden keskeisten hiilipitoisten syötteiden korvattavuutta vähähiilisemmällä, voitaneen todeta, että lämpökeskuksen raskas polttoöljy on syötteistä helpoimmin korvattavissa oleva. Mikäli puolet POR:n käytöstä korvattaisiin puupolttoaineella, saavutettaisiin noin 30 kt/a eli 5 %:n suuruusluokkaa oleva kokonaispäästövähennys. Aikaisempia töitä täydentävien energia-analyyysien laatiminen on aloitettu vuonna 2001 ja niitä on jatkettu vuoden 2002 aikana. Tehtyjen selvitysten valossa CO₂-päästöjä voitaneen vähentää noin 1 - 2 %.

Yhteenvedon Imatran terästehtaan mahdollisista CO₂-vähennyskeinoista ja potentiaaleista voidaan todeta, että laitoksen käytettävissä olevat vähennyskeinot ovat lähinnä energian- ja materiaalien käytön tehostamistoimia, joilla saavutettavat potentiaalit ovat yhtiön mukaan pienet. Energian käytön tehostamismahdollisuuksia yhtiö on selvittänyt vuonna 1999 luottamuksellisin toimeksiannoin Motivan prosessiteollisuuden energia-analyyysin mukaisesti. Tuolloin säästöpotentiaaliksi analyyysissä arvioi-

tiin lämmön osalta noin 3 % ja sähkön osalta noin 2 % (Roiha 2003). Tehtaan tulevaisuuden näkymiä arvioitaessa on otettava huomioon, että jatkojalostettavien (mm. lämpökäsitteltyjen) tuotteiden osuuden lisääntyminen johtanee yhtiön arvion mukaan myös ominaispäästöjen nousuun, jota toisaalta voidaan kompensoida lämmön talteenoton tehostamisinvestoinneilla ja yksittäisten laitteiden uusimisen avulla.

Kartoituksen perusteella rautametallien valmistuksen hiilidioksidipäästöjen yhteenlaskettu vähennyspotentiaali, joka perustuisi ensisijaisesti energiankäytön tehostamishankkeisiin, olisi suuruusluokka-arvioltaan noin 160 ktCO₂/a eli noin 2,8 % kokonaispäästöistä. Tämä päästöjen vähennyspotentiaali perustuu suurelta osin todennäköisesti toteutuvaan konverterrikaasun talteenottoon Raahessa. Koverharrissa oletettiin Raahen kaltaisen tehostumiskehityksen olevan mahdollinen. Tarkasteluissa kiinnitettiin huomiota toimiin, jotka vähentävät toimipaikkojen omia hiilidioksidipäästöjä. Lisäpotentiaalia liittyy niihin keinoihin (esimerkiksi Raahen tehtaan voimalaitoksen modernisointi), jotka vähentävät päästöjä epäsuorasti tase-rajausten ulkopuolella korvaamalla prosessien ostopanoksia ja syötevirtoja.

Läpiviedyn selvityksen perusteella rautametallien valmistuksen hiilidioksidipäästöt kasvavat yritysten toimittamien tietojen perusteella vuoteen 2005 mennessä 15 % vuoden 2002 tasolta. Tiedossa olevien päästöjen vähennyskeinojen avulla tästä päästöjä kyettäisiin leikkaamaan siis ainoastaan 2,8 %, jolloin kokonaispäästöjen kasvu nykytasolta vuoteen 2005 olisi noin 12 % vastaten 6,5 MtCO₂/a päästötasoa.

Yhteenvetona yrityskohtaisten kasvunäkymien tarkasteluista voitaneen arvioida, että hiilidioksidipäästöt kasvavat rautametallien tuotannossa ja jalostuksessa tarkastelluilla toimipaikoilla vuoden 2002 yhteenlasketulta tasolta 5,8 MtCO₂/a päästötasolle 6,7 Mt/a (+15 %) vuoteen 2005 mennessä ja ehkä jopa tasolle 7,5 MtCO₂/a (+29 %) vuoteen 2010 mennessä (luvut sisältävät valssaamot ja ko. toimipaikkojen jatkojalostuksen eli kattavat kaikki tarkasteltujen toimipaikkojen ao. yritysten omistuksessa olevat prosessit). Kasvuarvio sisältää ainoastaan toimipaikkojen omat päästöt eikä välillisiä muilla toimipaikoilla aiheutuvia vaikutuksia.

4.2 Lähdeviitteet ja lisätietoja

AvestaPolarit Stainless Oy 2003. Prosessikuvaus: Ruostumattoman teräksen valmistus – Tornion tehtaat, Esite 2003 ja intranet-aineisto.

EC 2001a. Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi: kasvihuonekaasujen päästöjen päästöoikeuksien kaupan järjestelmän toteuttamisesta yhteisössä ja neuvoston direktiivin 96/61/EY muuttamisesta. KOM(2001)581 lopullinen, 2001/0245 (COD). Bryssel 23.10.2001.

EC 2001b. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industries, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

EC 2001d. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, December 2001, <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

EC 2001e. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

EC 2001g. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel. December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

EC 2002a. Muutettu direktiiviehdotus ”kasvihuonekaasujen päästöjen päästöoikeuksien kaupan järjestelmän toteuttamisesta yhteisössä ja neuvoston direktiivin 96/61/EY muuttamisesta”. KOM(2002)680 lopullinen, 2001/0245 (COD). Bryssel 27.11.2002.

EC 2003a. Euroopan unionin neuvosto. Asia: Neuvoston vahvistama yhteinen kanta Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin antamiseksi kasvihuonekaasujen päästöoikeuksien kaupan järjestelmän toteuttamisesta yhteisössä ja neuvoston direktiivin 96/61/EY muuttamisesta. Bryssel, 13.3.2003, 15792/02, ENV 776, MI 308, IND 103, ENER 329, CODEC 1671. DG I. FI

EC 2004. Komission päätös (tehty 29/01/2004) Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2003/87/EY mukaisten ohjeiden vahvistamisesta kasvihuonekaasupäästöjen tarkkailua ja raportointia varten. <http://europa.eu.int/comm/environment/climat/emission.htm>

Hemminki 2003. Excel-taustatiedostot, kommentit taustamuistiolunoksiin ja puhelinkeskustelut liittyen Rautaruukin toimipaikkojen tietoihin.

Hirsivaara 2003. Sähköpostitse toimitetut aineistot ja kommentit. Outokumpu Stainless Oy. Tornio.

Imatra Steel Oy Ab 1999. Ympäristöraportti 1999.

IISI 2004. International Iron and Steel Institute. 2004 Edition: World Steel in Figures.

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 1999. Imatran terästehtaan ympäristölupa. Imatralla sijaitseva terästehtas ja sen toiminnan muutos. Päätös A1066, 19.11.1999.

Kemppainen 2003. Sähköpostitse toimitetut aineistot ja kommentit. Outokumpu Stainless Oy. Espoo.

Lapin ympäristökeskus 2002. Lupapäätös 28.1.2002. AvestaPolarit Chrome Oy:n ferrokromitehtaan ja AvestaPolarit Stainless Oy:n jaloterästehtaan sekä Bergslagen Suomi Oy:n ja SKJ-Yhtiöt Oy:n jätteiden käsittelylaitosten ympäristölupa. Nro 8/02/1. Dnro 100/00/1.

Lilja J. 1997. Metallurgiset prosessit osa IV: Teräksen valmistus. Jarno Lilja, Rautaruukki Oy. Oulun yliopisto, teknillinen tiedekunta, Prosessimetallurgia. Moniste.

Motiva 2002. Teollisuuden energiansäästösopimus. Vuosiraportti 2001. www.motiva.fi

Outokumpu Oyj 2002. Vuosikertomus 2001. www.outokumpu.com

Outokumpu Oyj 2003. Vuosikertomus 2002 www.outokumpu.com

Outokumpu 2002b. Outokumpu ja ympäristö 2002. Outokumpu Oyj:n ympäristöraportti.

Paavo Ristola Oy 1997. Outokumpu Oy. Tornion tehtaiden laajennusten ympäristövaikutusten arviointiselostus.

Rautaruukki Oyj 2003a. Vuosikertomus 2002.

Rautaruukki 2003b. Terästä tulevaisuuden ehdoilla. Kestävän kehityksen raportti, päivitys 2001–2002.

Rautaruukki Oyj 2004a. Vuosikertomus 2003.

Rautaruukki Oyj 2004b. Rautaruukki yritys vastuun raportti 2003.

Rautaruukki 1999. Ympäristöraportti 1998. Teräksen kestävä elinkaari.

Rautaruukki Steel 2001. Laatuterästä teollisuudelle -julkaisu.

Rautaruukki Steel 1999. Raahen terästehtaan ympäristöselonteko 1998. Teräs kestää tulevaisuuden.

Rautaruukki Steel 2000. Rautaruukki Steel ja ympäristö 1999. Raahen terästehtaan ympäristöselonteon tiedot.

Rautiainen 2003. Rautaruukin CO₂-päästölaskelma, (Tiedot ryhmitetty suuremmiksi kokonaisuuksiksi yhtiön pyynnöstä, Rautaruukki Oyj).

Riekkola-Vanhanen 1999. Finnish expert report on best available techniques in ferrochromium production. The Finnish Environment 314. Finnish Environment Institute. ISBN952-11-0504-2. 52s.

Roiha 2003. Imatra Steel Oy Ab. Taustatietotaulukot, teräksenvalmistuksen hiilitaselaskelma, benchmarking-tilauskko, sähköpostitiedonannot ja kommentit 7/2003.

Seppälä J., Koskela S., Palperi, M., Melanen, M. 2000. Matallien jalostus ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus 438. ISBN 952-11-0788-X. Helsinki 2000.

StatFin 2004. Teollisuuden rakennetilasto, tiedonhaku. Tilastokeskuksen StatFin-web-tietokanta.

Tekes 1998. SULA 2 Technology programme. Energy in Steel and Base Metal Production. Final Report. Association of Finnish Steel and Metal Producers, Tekes. ISBN 951-817-690-6.

Teknoliateollisuus 2004. Vuosikirja 2004, tilastot 2003. Teknoliateollisuus ry. (tietoja kerätty myös vuosien 1999–2002 tilastoista.)

Tilastokeskus 2003. Energiatilasto 2002 (ml. Excel-liitetaulukot).

Tulli 1998. Tullin ulkomaankauppatilasto 1998.

Vartiainen 2003. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Tilastotietoja vuoriteollisuudesta. Vuoriteollisuus 3/2003.

Veistaro 1997. Imatran terästehtaan uusi valokaarisulatto. Vuoriteollisuus 2/1997. S. 46–50. Imatra Steel Oy Ab.

Wärtsilä Oyj 2003a. Wärtsilä Oyj Abp. Tilinpäätöstiedote 6.2.2003 klo 8.30.

Wärtsilän ja Imatra Steelin vuosikertomukset ja ympäristöraportit 1998–2002 sekä Wärtsilä Environmental Report 2002 sekä Sustainability Report 2002.

5 Mineraaliteollisuus

5.1 Johdanto

Ilmastokysymyksen näkökulmasta keskeisin ”ei metallisen mineraaliteollisuuden” toimialaan kuuluva lohko muodostuu rakennusaineteollisuudesta. Rakennusaineteollisuuteen kuuluvat tässä luvussa tarkasteltavat sementin, kalkin, eristeiden sekä kerkeakeraamisten rakennusaineiden ja -tuotteiden valmistus. Tarkastelua on priorisoitu vastaamaan päästökauppadirektiivin (EC 2003a) liitteen 1 mineraaliteollisuuden rajausta, joten rakennusaineteollisuuden lisäksi tässä yhteydessä selvitettiin lasin (tasolasi, lasipakkaukset, lasikuitu, lasivilla) sekä keraamisten tuotteiden valmistusta.

Suomalainen rakennusaineiden valmistus on monien tuotteiden kohdalla keskittynyt muutamalle yhtiölle, jotka lisäksi ovat monikansallisten teollisuuskonsernien tytäryhtiöitä. Rakennusaineteollisuus on hyvin riippuvainen rakentamisen suhdanteista, jotka aiheuttivat 1990-luvun alkupuolen lamavuosina merkittäviä supistuksia tuotantoon. Esimerkiksi tiiliteollisuus on keskittynyt voimakkaasti ja toimivia tuotantolaitoksia sekä poltettujen tiilien (6) että kalkkihiekkatiilien (3) osalta on enää yhdeksän. Kalkkihiekkatiilien valmistus ei perustu polttoprosessiin, joten näitä toimipaikkoja ei tarkemmin tarkastella. Betonituoteteollisuuden tuotantolaitoksia ovat betonituotetehtaat, julkisivu- ja runkoelementtitehtaat sekä valmisbetonitehtaat. Betonituoteteollisuus ei kuitenkaan kuulu päästökauppajärjestelmän piiriin.

Suomessa toimii kaksi sementtitehdasta ja kahden yhtiön kalkinpolttolaitoksia. Lasivillaa valmistaa yksi yhtiö. Sama tilanne vallitsee vuorivillan, tasolasin, keraamisten laattojen, kylpyhuonekeramiikan, lasikuidun ja lasipakkausten kohdalla. Yleistäen voidaan todeta, että monet mineraaliteollisuuden toimipaikat ovat ”yksilöitä” Suomen mittakaavassa.

Tähän selvitykseen koottiin tietoja hiilidioksidipäästöjen kannalta keskeisten tuotteiden valmistuksesta. Tietoja kerättiin hiilipitoisten raaka-aineiden (esimerkiksi kalkkikivi ja sooda) ja polttoaineiden käytöstä. Lisäksi yhteistyössä yritysten asiantuntijoiden kanssa on alustavasti tarkasteltu teknisiä keinoja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi.

Tässä sektoriraportissa tarkasteltavat valmistusprosessit ovat

- Sementin valmistus
- Poltetun kalkin valmistus
- Tiilien valmistus
- Kevytsoran valmistus

- Tasolasin valmistus
- Lasivillan valmistus
- Vuorivillan valmistus
- Lasikuidun valmistus
- Lasipakkausten valmistus
- Keraamisten tuotteiden valmistus

Tiedon keruu vuonna 2003 toteutettiin yhteistyössä yritysten asiantuntijoiden kanssa. Asiantuntijat ovat myös kommentoineet yhtiöitä koskevia raportin lukuja tietojen osuvuuden varmentamiseksi. Selvityksessä käytiin läpi 33 mineraalisektorin toimipaikan tietoja, jotka kerättiin ympäristölupapäätöksistä, ympäristöraporteista, yritysten asiantuntijoilta sekä erilaisista muista julkisista lähteistä.

5.2 Sementin valmistus, Finnsementti Oy

Finnsementti Oy on Suomen ainoa sementinvalmistaja. Yhtiö valmistaa sementtiä pääosin kotimaisista raaka-aineista ja vuonna 2002 se tuotti suomalaisilla laitoksillaan lähes 80 % koko Suomen sementtitarpeesta. Loppu 20 % katettiin tuonnilla, josta noin kolmasosa on yhtiön omaa tuontia. Eri sementtilaatujen raaka-aineiden kotimaisuusaste on 80 - 90 %. Sementin lisäksi yhtiön tuotevalikoimaan kuuluu erilaisia betonin seos- ja lisäaineita sekä kivirouheita. Vuoden 1999 heinäkuusta alkaen Finnsementti on kuulunut kansainväliseen CRH-konserniin, joka on yksi maailman suurimmista rakennusmateriaaliyrityksistä. Sementtiteollisuus on merkittävä energian- ja kalkkikiven käyttäjä. Hiilidioksidipäästöjä syntyy sekä käytetyistä polttoaineista että raaka-aineena käytettävästä kalkkikivestä.

Suomessa on 2000-luvulla toiminnassa kaksi kuivamenetelmään perustuvaa klinkeri- ja sementtitehdasta, jotka sijaitsevat Paraisilla (1 kuivauuni) ja Lappeenrannassa (2 kuivauunia). Kolarin sementtitehdas lopetti toimintansa vuonna 1989 ja Virkkalan tehdas (2 uunia) vuonna 1994. Paraisilla sijaitsee myös yhtiön lisäainetehdas sekä rouheiden jalostuksessa ja varastoinnissa tarvittava rouheasema. Finnsementillä on kuonajauhetehdas Raahen Lapaluodossa terästehtaan läheisyydessä.

Vuonna 2002 sementtiä valmistettiin yhteensä 1194 kt, josta Paraisten tehtaalla 769 kt (uunin kapasiteetti 750 kt/a) ja Lappeenrannan tehtaalla 425 kt. Lappeenrannan tehtaan uunien kapasiteetit ovat: uuni 5: 260kt/a ja uuni 4: 220 kt/a eli yhteensä 480 kt/a (Virtanen 2003 / Finnsementti Oy).

5.2.1 Sementin valmistuksen keskeiset prosessit

Finnsementti Oy:n sementin valmistusprosessit perustuvat kuivamenetelmään. Sementtiklinkkeri valmistetaan suurilla kiertouuneilla. Finnsementin Lappeenrannan sementtitehdas on vanhempi ja sen ominaisenergiankulutus sekä ominaispäästöt ovat Paraisten tehdasta suuremmat. Finnsementti on suuri kalkkikiven käyttäjä. Yhtiön prosessit kattavat noin 60 - 70 % Suomessa tapahtuvasta kalkin poltosta, jos mukaan ei lasketa sellutehtaiden meesauuneissa tapahtuvaa kalkin polttoa. Suomessa kalkkia polttavat Finnsementin lisäksi Nordkalk Oyj (noin 600 kt/a), SMA Saxo mineral Oy (noin 100 kt/a) sekä sulfaattisellutehtaat.

Sementinvalmistuksen keskeiset vaiheet ovat

Raakajauheen valmistus

Sementin valmistuksen pääraaka-aine on kotimainen kalkkikivi. Raaka-aineeksi louhittu kalkkikivi murskataan ja lajitellaan kaivosalueella, jonka jälkeen se kuljetetaan sementtitehtaalte. Lajiteltu kiviaines siirretään raaka-ainesiiloihin. Siiloista sekoitettu kiviaines syötetään raakajauhemyllyyn, jossa se jauhetaan hienoksi.

Portland-klinkkerin poltto

Valmis raakajauhe syötetään sekoittamisen jälkeen esilämmitysjärjestelmään, josta se putoaa kiertouuniin. Noin 100 metrin mittaisessa kiertouunissa tapahtuu sementtiklinkkerin poltto. Kalkki-, pii-, alumiini- ja rautayhdisteet muuttuvat kalsiumyhdisteiksi ja sintraantuvat sementtiklinkkeriksi, kun materiaalin lämpötila nousee +1400 °C:een. Uunin loppupäässä sementtiklinkkeri jäädytetään ilmajäädyttimissä nopeasti noin 200 °C:een. Klinkkeri muistuttaa tässä vaiheessa kärkeä soraa.

Sementin jauhatus

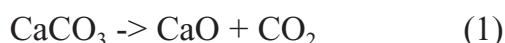
Rakennussementit valmistetaan jauhamalla klinkkeriä, seosaineita ja kipsiä kuulamylyllä hienoksi jauheeksi. Seosaineina käytetään kalkkikiveä ja granuloitua masuunikuonaa. Sementin sitomisajan säätämiseksi siihen lisätään kipsiä. Rakennussementtien ominaisuuksia säädetään klinkkerin koostumuksella, jauhatushienoudella ja seosaineiden suhteilla.

5.2.2 Sementin tuotannon panokset ja CO₂-päästölähteet

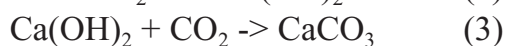
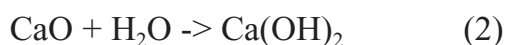
Sementtiklinkkerin pääraaka-aine on kalkkikivi, joka on suurimmaksi osaksi kalsiumkarbonaattia CaCO₃. Kalkkikiven lisäksi sementin valmistuksessa käytetään muita kivilajeja (kuten SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃,..), ilmajäädytettyä masuunikuonaa, lentotuhkaa ja rautahilsettä (raakajauheeseen). Luonnonkipsiä (CaSO₄), ferrosul-

faattia sekä seosaineita (mm. raudanvalmistuksessa syntyvää granuloitua masuunikuonaa) seostetaan sementtiklinkkeriin polttoprosessin jälkeisessä jauhatusvaiheessa.

Sementin valmistuksen keskeisin CO₂-päästö muodostuu sementtiuunin tarvitseman energian tuottamisesta polttamalla fossiilisia polttoaineita, sekä uunissa tapahtuvan kemiallisen reaktion (1) kautta. Kalsiumkarbonaatin poltossa eli kalsinoitumisprosessissa jokaista puhdasta CaCO₃ tonnia kohden syntyy 0,44 tonnia CO₂:a ja 0,56 tonnia kalsiumoksidia.



Betonin kovettuessa aikojen kuluessa osa siitä karbonatisoituu eli sitoo itseensä hiilidioksidia. Sementin käytössä muutama prosentti kalsinoitumisprosessissa vapautuneesta hiilidioksidista kompensoituu reaktioiden (2) ja (3) kautta välittömän pintakuivumisen yhteydessä:



Välittömän kuivumisen jälkeen reaktio (3) jatkuu hyvinkin pitkään (~50 vuotta), mutta lopullisesta CO₂ sitoutumisesta ei ole käytettävissä tarkkaa tietoa.

Suurin osuus hiilidioksidipäästöstä syntyy kalkkikivestä (noin 60 %), johon ei voida nykytekniikalla vaikuttaa (erittäin pitkällä aikavälillä CO₂-talteenotto- ja loppusijoitustekniikat voivat tuottaa tähän ratkaisuja). Polttoaineista aiheutuu noin 40 % suuruusluokkaa oleva päästöosuus riippuen kulloinkin käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksista. Vuonna 2002 polttoaineina käytettiin kivihiiltä, petrokoksia, kumirouhetta sekä jäteöljystä valmistettua kierrätyspolttoainetta.

1990-luvun eri vuosina Finnsementin Lappeenrannan ja Paraisten tehtaiden kokonaispäästöt ovat vaihdelleet 1,4 MtCO₂/a ja 0,7 MtCO₂/a välillä ja 90-luvun loppuvuosina ja 2000-luvun alussa kokonaispäästöt ovat olleet 0,9 Mt/a suuruusluokkaa.

Vuonna 2002 Paraisten tehtailla suuntaa-antava lämpöenergian ominaiskulutus oli 2,94 GJ/tonni sementtiä, joka on tehty omasta klinkkeristä (vastaa tasoa 3,5 MJ/kg, klinkkeriä). Sähkön ominaiskulutus oli vuonna 2002 113 kWh/t sementtiä ja CO₂-ominaispäästö 719 kg/t sementtiä (omasta klinkkeristä). Lappeenrannassa lämpöenergian ominaiskulutus oli 4,21 GJ/tonni sementtiä eli 43 % Paraisten tehtaita korkeampi (4,8 MJ/kg, klinkkeriä). Sähkön ominaiskulutus oli 109 kWh/t sementtiä eli samaa suuruusluokkaa kuin Paraisilla. CO₂-ominaispäästö oli Lappeenran-

nassa 20 % Paraisten tehdasta suurempi eli 861 kg/t sementtiä (joka on tehty omasta klinkkeristä). Paraisten tehtaalle on tuotu klinkkeriä myös ulkomailta.

Vuoden 2002 lukuarvojen perusteella voidaan arvioida, että kotimaisen klinkkerinvalmistuksen ominaisenergiankulutus klinkkeritonnia kohden oli noin 4,0 GJ/t, klinkkeriä eli noin 30 % parasta saatavilla olevaa teknologiatasoa korkeampi. Raaka-aineena käytettävän kalkkikiven ominaisuudet vaikuttavat kuitenkin myös energiankäyttöön, joten suoriin vertailuihin tulee suhtautua hyvin varauksellisesti ja ne jäävät aina osittain subjektiiviselle tasolle.

5.2.3 Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot prosessipolttoaineita, raaka-aineita ja teknologioita korvaamalla

Raaka aineiden substituutio

Sementtieteollisuudessa hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää korvaamalla klinkkeriä jauhatusvaiheessa muilla seosaineilla. Klinkkeriä voidaan korvata (seostaa) terästehtaan masuunikuonalla (granulikuona), kipsillä ja kalkkikivellä sekä ferrosulfaattilla. Vuonna 2002 Finnsementti seosti masuunikuonaa (sivutuote) keskimäärin 4,3 %, luonnonkipsiä 4,8 %, kalkkikiveä 6,7 % ja ferrosulfaattia 0,5 % (sivutuote) sementin vuosituotannon kokonaispainosta. Yhtiöllä on mahdollisuus valmistaa masuunikuonaa enemmänkin sisältävää sementtilaattaa (CEM III EU standardi), jossa masuunikuonan osuus on 36 - 80 % sementin kokonaispainosta. Näiden seosaineiden lisäämisellä on lopputuotteen hiilidioksidipäästöä vähentävä vaikutus, mutta käyttömahdollisuudet riippuvat näiden sementtityyppien kysynnästä. Vuonna 2002 Finnsementti seosti 51 kt granulikuonaa klinkkeriin ja tämän päästöjä vähentävä vaikutus on suuruusluokaltaan noin 45 kt/a tasolla. Masuunikuonaa voitaisiin seostaa 30 % klinkkeriin (70 %).

Kuonan merkittävä lisäkäyttö on periaatteessa mahdollista, mutta riippuu ratkaisevasti eri sementtilaatujen kysynnästä. Alkulujuudeltaan yhä nopeampien laatujen suuntaan ei suosi kuonasementin käyttöä. Kuonasementin aktiivisuus on portlandsementtiä huonompi, minkä vuoksi se kovettuu hitaammin. Hitaus aiheuttaa ongelmia betonielementtiteollisuudelle ja paikallarakentamiseen erityisesti talvella, jolloin korkea alkulujuus olisi tärkeä ominaisuus. Lopputuloksena kuonasementistä tehdyn betonin lujuus on kuitenkin erinomainen ja säilyvyys hyvä. Mikäli betonin alkulujuudet halutaan pitää ennallaan, ei päästöjä vähentävä vaikutus ole täysin kiistaton, sillä sementin määrää joudutaan kasvattamaan valmistettavaa betonikuutiota kohden. Tämä saattaa olla varoittava esimerkkitapaus siitä, miten tietyissä tilanteissa vuosipäästön vähentämisyrittäminen voi johtaa pitkällä aikavälillä päästöjen kasvuun tuotteiden kestoiän lyhentyessä ja korvaavan tuotantotarpeen kasvaessa.

Myös lentotuhkaa on mahdollista seostaa sementtiin klinkkeriä korvaavana aineena, kunhan se ei sisällä liikaa palamatonta hiiltä, mikä saattaa aiheuttaa lisäainesten kanssa reagoidessaan ongelmia. Norjassa tuotanto perustuu suurelta osin lentotuhkan hyödyntämiseen. Lentotuhkan jäännöshiilipitoisuudet ovat olleet nousussa, koska hiilivoimalaitosten NO_x -päästöjä on pyritty vähentämään. Lentotuhkaa voidaan seostaa sementtiin standardien mukaan enintään 35 % lentotuhkan ja klinkkerin yhteismäärästä. Lentotuhkan tehokkuuskerroin sideainemielessä on kuitenkin vain noin 0,3 eli klinkkerin määrä vähenee tällöin vain noin 10 %. Käytännössä valmiskoniteollisuus on jo käyttänyt lentotuhkaa 1980-luvulta asti eli lisäämismahdollisuudet käytännössä ovat pienet.

Kuonasementin osuuden kaksinkertaistaminen mahdollistaisi periaatteessa yhtiön hiilidioksidipäästöjen vähentämisen noin 100 kt/a nykyiseltä tasoltaan. Ei ole kuitenkaan selvää korvaisiko tämä tuontia vai alentaisiko se kotimaisen klinkkerituotannon kapasiteetin käyttöastetta. Masuunikuonaa syntyy Raahen ja Koverharin terästehtailta yli 0,5 Mt/a, joten tämän raaka-ainevirran avulla merkittävät hiilidioksidipäästövähennykset sementin valmistuksessa olisivat periaatteessa mahdollisia.

Polttoaineiden substituutio

Nykyinen sementinvalmistuskapasiteetti perustuu kiertouuneihin, jossa polttoaine on tekemisissä prosessin raaka-aineiden kanssa. Näin ollen tuhka- ja polttokaasut vaikuttavat lopputuotteen ominaisuuksiin. Muutokset polttoaineissa edellyttävät, että niiden vaikutukset lopputuotteeseen tutkitaan ja hallitaan. Esimerkiksi petro-koksin käyttöä rajoittaa rikkipitoisuus, minkä vuoksi sen käyttöosuus kivihiileen nähden on rajattava 20 - 30 %:n tasolle. Mahdollisia kivihiiltä korvaavia polttoaineita ovat erilaiset öljyt (jäteöljyt), muut kierrätyspolttoaineet (liuottimet, eräät muovit) ja kumisilppu (autonrenkaista).

Yhtiö on selvittänyt ruokaturvallisuuden kannalta tärkeän lihaluujauhon käyttömahdollisuutta kiertouunissa. Lihaluujauho luokitellaan uusiutuvaksi energiapolttoaineeksi, eikä siitä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä siten lasketa inventaareihin. Kivimassan lämpötila kiertouunissa on 1400 - 1450 astetta ja polttokaasun lämpötila on noin 1 600 astetta, joten korkea lämpötila mahdollistaa ongelmallisten aineiden käsittelyn uunissa. Lihaluujauhon energiasisältö on noin 15 GJ/t ja sitä olisi Suomessa saatavilla noin 20 000 t/a eli 300 TJ/a. Fosforipitoisuus rajoittaa kuitenkin lihaluujauhon käyttömahdollisuuksia (Virtanen 2003).

Sementtiuunin polttoaineet ovat teknistä näkökulmasta vaihdettavissa, joskin niiden vaihtaminen aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia, koska polttoaineiden laatuvaikutukset klinkkeriin tulee hallita. Näytteitä otetaan jatkuvasti valmistusprosessin eri vaiheissa: louhinnassa, raakamurskauksessa, homogenisoinnissa,

poltossa ja hienojauhatuksessa. Yleisenä trendinä klinkkerinvalmistuksen polttoaineiden kohdalla on se, että öljytuotteiden ja kierrätyspolttoaineiden käyttöä voidaan lisätä ja kivihiilen osuutta pienentää. Maakaasua on mahdollista käyttää Lappeenrannan sementtitehtaalla, mutta kustannukset rajoittavat sen käyttömahdollisuuksia käytännössä.

Teknologian substituutio

Erilaisia teknisiä keinoja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi on tutkittu mm. Cement and Lime Bref-dokumentissa (EC 2001d) sekä US Cement-raportissa (LBLN 1999). Keinot oli jaoteltu erikseen kuiva- ja märkämenetelmille sekä toisaalta tuotemuutoksia sisältäviin keinoihin. Suomen tehtaiden osalta merkittävimmit teknisiksi mahdollisuuksiksi on nostettavissa 1) masuunikuonan laajempi käyttö sementin seosaineena ja 2) pyörivän uunin korvaaminen leijupetiuunilla. Masuunikuonan käytön lisäämistä sementin seosaineena on tutkittu paljon. Nykyisessä markkinatilanteessa kierto-uunin korvaaminen leijupetiteknologialla ei kuitenkaan tule kyseeseen ainakaan ennen vuotta 2010. Leijupetiuuniteknikan soveltaminen kalkin polttoon on teknisesti haastavaa. Sen on arvioitu alentavan hiilidioksidipäästöjä keskimäärin noin 10 % ja energian kulutusta noin 10 %. Lisäksi leijupetiuunin arvioidaan vaativan vähemmän tehdas pinta-alaa kuin perinteisten pyörivien uunien.

Biomassan kaasutusteknologian soveltuvuutta selluteollisuuden meesauuneihin on tutkittu, ja sen on todettu olevan taloudellisesti houkuttelevalta vaikuttava vaihtoehto. Periaatteessa teknisiä esteitä biomassan kaasutuksen soveltamiseen klinkkerin valmistuksessa käytettävissä kierto-uuneissa ei liene olemassa, vaan ongelmat liittyvät taloudelliseen toimintaan ja erityisesti biomassan saatavuuteen (hintaan).

Euroopan komission IPPC-BAT-referenssiraportissa (EC 2001d) klinkkerin valmistuksen energiankäytön BAT-tasoksi on mainittu 3 GJ/t, klinkkeriä (Suomen keskiarvo 4 GJ/t suuruusluokkaa). BAT-tasoiseksi teknologiaksi on määritetty kuivaprosessi, jossa on monivaiheinen esilämmitys ja esikalsinointi. Raportin mukaan Euroopassa eniten käytettyjä polttoaineita vuoden 1995 tasolla olivat petrokoksi (39 %) ja hiili (36 %). Lisäksi sementinvalmistuksen polttoaineina käytetään erityyppisiä jätepolttoaineita (10 %), polttoöljyjä (7 %), ligniittiä (6 %) ja maakaasua (2 %). Amerikkalaisessa raportissa (LBLN 1999) mainitaan tyyppillisellä monivaiheisella esilämmityksellä varustetun uunin polttoaineen kulutukseksi 3,2 - 3,5 GJ/tonni klinkkeriä ja kuusivaiheisella esilämmityksellä saavutettavan energian käytön taso 2,9 - 3,0 GJ/tonni klinkkeriä. Kaikkein tehokkaimmalla esikalsinointiuunilla on saavutettavissa taso 2,9 GJ/tonni klinkkeriä. Suhteuttamalla tämän selvityksen tuloksia taustakirjallisuuteen havaitaan, että uudet BAT-tasoiset laitokset ovat

todennäköisesti noin 30 % energiatehokkaampia kuin tuotantokäytössä olevat suomalaiset sementtitehtaat keskimäärin.

On kuitenkin todennäköistä, että sementin markkinatilanne ei salli suuria uusinvestointeja vuoteen 2010 mennessä. EU:n päästökauppajärjestelmästä yrityksille aiheutuva taloudellinen taakka saattaa aiheuttaa sementin tuonnin lisääntymistä päästökauppajärjestelmän ulkopuolisista maista (erityisesti Venäjältä), jolloin mahdollisuudet modernisointi-investointeihin Suomessa heikkenevät. Päästökaupan säännöt ja niihin liittyvä pitkän aikavälin epävarmuus vaikuttavat ratkaisevasti sementtiteollisuuden investointimahdollisuuksiin.

5.2.4 Vähennyskeinojen tekniset potentiaaliarviot

Sementinvalmistuksen teknistä päästöjenvähennyspotentiaalia voidaan hahmotella seuraavasti

- Kivihiilen nykykäytön 50 % korvaus öljypohjaisilla kierrätyspolttoaineilla (kumimurske, jäteöljyt jne.) johtaisi noin 40 ktCO₂/a päästövähennykseen, mikä vastaisi 8 % polttoaineperäisten päästöjen nykytasosta ja 3,3 % kaikista yhtiön päästöistä.
- Mikäli Lappeenrannan sementtiuunit muutettaisiin maakaasukäyttöisiksi aikaansaataavissa oleva päästövähennys olisi noin 75 kt/a.
- Granulikuonan käyttömäärän kaksinkertaistaminen vuonna 2001 vallinneelta tasolta kysyntävetoisesti (oletuksena, että korvaisi omaa klinkkerituotantoa) myötävaikuttaisi noin 90 ktCO₂/a vähennykseen.
- Laitosten energiatehokkuuden parantaminen a) -10 % olettaen polttoainemäärien vähentyvän nykyisissä suhteissaan (tasolta 3,8 GJ/t, klinkkeriä tasolle 3,4 GJ/t, klinkkeriä) johtaisi noin 50 ktCO₂/a vähennykseen.
- Lihaluujauhon sekä muun uusiutuvan bioenergian hyötykäyttö kierto-uunissa korvaamassa 10 % osuudella nykyisiä fossiilisia polttoaineita johtaisi noin 50 ktCO₂/a vähennykseen.

On huomattava, että edellä mainitut ovat vain teknisiä potentiaaleja, ja myös toimenpiteiden toteuttamisesta aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä, joten globaalit vähennykset jäävät edellä mainittuja pienemmiksi. Mainitut toimenpiteet eivät myöskään ole yhteenlaskettavissa ja niiden toteutettavuuden arvioiminen edellyttäisi tarkempia kannattavuuslaskelmia.

Tehdyn alustavan tarkastelun pohjalta voidaan kuitenkin arvioida, että tehostamalla energiankäyttöä, korvaamalla polttoaineita vähähiilisemmällä ja korvaamalla raaka-aineena käytettävää sementtiklinkkeriä muun teollisuuden sivutuotteilla voitaisiin sementin valmistuksessa saavuttaa 50 - 200 kt/a hiilidioksidipäästövähennemä nykytasoltaan. Toisaalta kuonasementin valmistuksen lisääminen ei välttämättä korvaa täysimääräisesti klinkkerin valmistusta vaan esimerkiksi tuontia. Se on kuitenkin esimerkki ”materiaalitehokkuuden” parantamiseen liittyvistä mahdollisuuksista ilmastonmuutoksen hillinnässä. Mainittujen päästöjenvähennyskeinojen toteuttamisen kustannusvaikutuksia sekä vaikutuksia kotimaisten laitosten kilpailukykyyn sekä tuontiin tulisi jatkossa tutkia tarkemmin.

5.2.5 Sementin valmistusta koskeva yhteenveto ja johtopäätelmät

Sementin kysyntään vaikuttavat eniten rakennusteollisuuden kysyntä ja tarpeet. Sementtiteollisuuden markkina-alue on melko paikallinen ja suuri osa kuljetuksista suoritetaan laivalla ja loppujakelu autoilla. Vientimahdollisuudet Suomesta ovat heikot, koska käytettävissä ei ole syväsatamaa suurille aluksille. Tuotannon määrän vuonna 2010 voidaan arvioida olevan samaa suuruusluokkaa kuin tänään. Sementin tuotantomäärät seuraavat rakennusteollisuuden suhdannevaihteluita, jotka ovat olleet 1990-luvulla erittäin suuret. Kasvua voisi olla enintään noin 10 %, mutta toisaalta rakentaminen saattaa vähentyä merkittävästikin. Tällä hetkellä arvioidaan, että sementin kysyntä 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä säilyisi 1,6 - 1,7 Mt vuositasolla. Toisaalta vuosituotannon vaihtelut 80- ja 90-luvuilla ovat olleet suuria ja tuonti on säilyttänyt asemansa myös 90-luvun lamavuosina, jotka johtivat Virkkalan sementtitehtaan sulkemiseen.

Finsementti on vähentänyt yli 10 % sementinvalmistuksen ominaispäästöjä 1990-vuoden tasosta. Keskeinen strategia on ollut materiaalisubstituutio eli seosaineisuuden lisääminen. Yhtiö on liittynyt teollisuuden energiansäästösopimukseen (Motiva 2002) ja toteuttanut energia-analyysin molemmilla tehtailla. Vuonna 2002 uusittiin polttimet kaikkiin sementtiuuneihin. Uudet polttimet käyttävät huomattavasti vähemmän kylmää primääri-ilmaa, joten jäähdyttäjien kautta tulevaa esilämmitettyä ilmaa voitiin lisätä.

Finnsementti Oy:n sementtitehtaiden hiilidioksidipäästöt ovat 2000-luvun alussa olleet noin 900 ktCO₂/a tasolla. Raaka-aineperäisiä CO₂-prosessipäästöjä syntyi käytetystä kalkkikivestä vuonna 2002 yhteensä 517 kt ja energiaperäisten päästöjen määrä oli 383 kt vastaten 1,2 Mt sementtituotantoa. Vuonna 1990 kokonaishiilidioksidipäästöt olivat suuremmasta tuotannosta johtuen korkeammalla 1,35 Mt tasolla. Virkkalan sementtitehdas suljettiin vuonna 1994.

Suomalaisten sementtitehtaiden hiilidioksidin keskimääräinen ominaispäästötaso vuonna 2002 oli 0,75 tCO₂/t, lopputuotesementtiä ja polttoaine-energian tarve 3,3 GJ/t,sementtiä. Sähkön ominaiskulutus on tasolla 115 kWh/t,sementtiä.

Erilaisia teknisiä mahdollisuuksia CO₂-päästöjen vähentämiseksi arvioitiin tässä selvityksessä olevan suuruusluokaltaan 50 - 200 kt/a verran. Arviolta noin 100 kt/a suuruusluokkaa olevat päästövähennykset vaikuttavat teknisesti mahdollisilta. Niiden aikaansaamiseksi yhtiöllä on käytössä useita erilaisia keinoja mm. polttoaineiden vaihtamisessa vähähiilisempään suuntaan, energiankäytön tehostamisessa sekä sementin seostamisessa (joka korvaa osittain tai kokonaan sementti klinkkeriä). Arvioidut päästövähennyskeinot eivät kuitenkaan ole välttämättä yhteenlaskettavissa ja osa niistä saattaa osoittautua tarkemmissa tutkimuksissa kannattamattomiksi korkeillakin päästökiiintiöiden hinnoilla. Kannattavin strategia koostuu todennäköisesti yhdistelmästä erilaista tässä selvityksessä arvioiduista keinoista.

Yhtiön kommenttien mukaan osa tässä tarkastelussa havaituista keinosta tulee kuitenkin kalliiksi yhtiölle ja ne edellyttäisivät perusteellisempaa kustannukset huomioon ottavaa erillistarkastelua, jossa tarkasteltaisiin tuotteiden koko elinkaarta (ml. kuljetukset, tuotteiden käyttövaihe, kestoikä, käytöstä poisto jne.), jotta voitaisiin olla varmoja, että mahdolliset muutokset sementin valmistuksessa (koostumus, seostus) vähentävät kokonaishiilidioksidipäästöjä pitkällä aikajaksolla eivätkä aiheuta esimerkiksi tuotteiden käyttöiän lyhentymistä.

Prosessissa syntyvien kalkkikiviperäisten hiilidioksidipäästöjen (osuus noin 60 %) vähentäminen on mahdollista ainoastaan sementtiklinkkeriä (prosessin välituote) korvaavien materiaalien avulla (granulikuona, lentotuhka).

Nykyisessä markkinatilanteessa ja päästökauppaan liittyvien epävarmuuksien valitessa on ilmeistä, ettei suomalaisten sementtitehtaiden konversio BAT-tasolle tai uusien BAT-tasoisten laitosten rakentaminen tule lähitulevaisuudessa olemaan mahdollista. Markkinatilanne viittaa siihen, että vuoteen 2010 mennessä uusia suuria kasvuun tähtääviä laitosinvestointeja ei ole näköpiirissä. Kotimarkkinoita voidaan pitää melko herkkinä markkinahäiriöille ja kilpailuasetelmien muutoksille.

Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen tähtäävän työn kannalta sementin valmistus on osoittautunut yhdeksi keskeisistä teollisuuden aloista sekä päästötasonsa että energiankäytön tehostamis-, polttoainevaihto ja materiaalisubstitiutiomahdollisuuksien kannalta.

5.3 Kalkkiteollisuus

Kalkkikivi on keskeinen raaka-aine materiaaleja valmistavalle teollisuudelle Suomessa. Suuri osa Suomen teollisuuden ja maatalouden tarvitsemasta kalkkikivestä saadaan kotimaisista kaivoksista, mutta erilaisia laatuja tuodaan lisäksi Ruotsin Gotlannista, Virosta, Norjasta ja pieniä määriä Tanskasta. Louhoksista saatavassa kalkkikivessä on yleensä noin 70 - 90 % kalsiumkarbonaattia (CaCO_3), jota käytetään lukuisissa erilaisissa sovelluksissa murskattuna, jauhattuna, seulottuna, poltettuna, saostettuna tai sammutettuna kalkkina.

Ilmastokysymyksen kannalta kalkkikivi on tärkeä mineraali, koska kalsiumkarbonaatin sisältämä hiili vapautuu monissa kalkkikiveä hyödyntävissä prosesseissa hiilidioksidina ilmakehään. Kalsiumkarbonaatin poltossa kalsiumoksidiksi syntyy Suomen kasvihuonekaasupäästöjen mittakaavassa merkittäviä hiilidioksidipäästöjä.

Kalsiumoksidia valmistetaan erillisissä kalkinpolttamoissa, sementtiteollisuudessa ja metsäteollisuudessa (meesauunit). PCC-tuotannossa hiili sitoutuu takaisin saostusvaiheessa. Myös maataloudessa käytettävä kalkkikivi hajoaa pitkien aikojen kuluessa ja vapauttaa mineraalista hiiltä biologiseen hiilikiertoon. Oman tutkimusta edellyttävän ongelmakentän muodostaa maaperässä olevan kalkkikiven hajoaminen hiilidioksidiksi happamoittavan laskeuman vaikutuksesta. Kalkin kyky reagoida muiden aineiden kanssa on ominaisuus, jota hyödynnetään monessa valmistusprosessissa erilaisten epäpuhtauksien poistamiseen. Lisäksi kalkkia käytetään happamuuden säätöön.

Vuonna 2001 Suomen 16 kalkkikaivoksesta louhittiin malmia tai hyötykiveä yhteensä noin 4 Mt (Vartiainen 2002). Tästä noin 94 % tapahtui tässä luvussa tarkasteltavien Nordkalk Oyj Abp:n ja SMA Saxo Mineral Oy:n toimesta. Kalkkikaivosten tuotanto on kasvanut 9 % vuodesta 1997 vuoteen 2001 ja malmin osuus on vaihdellut eri vuosina 70 - 80 % välillä (Geologian tutkimuskeskus 2003). Kotimaisen kaivostuotannon lisäksi kalkkikivipohjaisia tuotteita tuodaan Suomeen merkittäviä määriä. Vuonna 1998 kalkkikiviä, joita käytetään kalkki- ja sementtituotteiden valmistamiseen, tuotiin maahan Ruotsista, Norjasta, Virosta ja Tanskasta yhteensä noin 1 250 kt. Vienti oli vähäistä (Tullin ulkomaankauppatilasto 1998). Vuonna 2001 kalkkikiveä käytettiin eniten sementin valmistukseen 1 530 300 t, maanparannuskalkkina 704 349 t, kalkinpolttoon 333 220 t sekä rouheina, teknisinä jauheina yms. 622 671 t eli yhteensä 3 190 540 t (Vartiainen 2002).

Kalkkikivipohjaiset tuotteet voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään: poltettuun kalkkiin, sammutettuun kalkkiin (kalsiumhydroksidi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) sekä karbonaattituotteisiin, joiksi kutsutaan kalkkikivestä mekaanisesti murskaamalla, jauhamalla

ja seulomalla saatuja tuotteita. Paperiteollisuus käyttää pigmentteinä ja täyteaineina jauhettua kalsiumkarbonaattia (GL), saostettua kalsiumkarbonaattia (PCC), mikronisoitua kalsiittia (GCC) ja talkkia.

Poltettu kalkki valmistetaan kuumentamalla murskattu ja lajiteltu kalkkikivi noin tuhanteen asteeseen joko kierto- tai kuilu-uuneissa (kalsinointi). Uunin polttovyöhykkeessä kalkkikiven kalsiumkarbonaatti (CaCO_3 , 100 %) hajoaa kalsiumoksidiksi (CaO , 56 %) eli poltetuksi kalkiksi ja hiilidioksidiksi (44 %). Poltossa kalkkikivestä vapautuu teoreettisesti noin 0,786 t hiilidioksidia yhtä lopputuotteena saatavaa puhdasta kalsiumoksiditonnia kohden. Käytännön lukuarvot riippuvat raaka-aineen pitoisuuksista ja polttouuneissa käytetyistä polttoaineista. Kalsinointiprosessi on endoterminen ja kuluttaa 178 MJ/kmol eli 0,494 kWh/kg(kalsiittia, CaO). Uuneihin syötettävän kalkkikiven keskimääräinen kosteus on noin 1 % ja sivukiven osuus tyypillisesti noin 10 %. Poltettu kalkki on joko pala-, rae- tai jauhemuotoista. Se seulotaan eri fraktioihin tai jauhetaan. Tuotteita käytetään mm. raudan- ja teräksenvalmistuksessa, sulfiittimalmien rikastamisessa, selluloosan tuotannossa sekä käyttö- ja jäteveden puhdistuksessa. Myös hiilivoimalaitosten savukaasujen puhdistuksessa käytetään poltettua kalkkia.

5.3.1 Poltetun kalkin valmistus ja päästöt

Tässä selvityksessä tarkastelu rajataan poltetun kalkin tuotantolaitoksiin. Suomessa poltettua kalkkia valmistaa markkinoille kaksi yhtiötä: Nordkalk Oyj ja SMA Saxo Mineral Oy Ab. 1990-luvulla Suomen kalkin polton rakenne on muuttunut ja muutamat teollisuusyritykset ovat ulkoistaneet kalkinpolttoyksiköitään. Poltetun kalkin tuotanto on kotimarkkinateollisuutta, ja vain erikoistapauksissa tuotteita menee suoraan vientiin. Toisaalta poltettu kalkki on vientiteollisuuden tarvitsema tärkeä raaka-aine. Laitoksilla on yhteistoimintaa mahdollisten uunirikkojen varalle. Suomessa kalkkia polttavat lisäksi sulfaattiselutehtaat meesauuneissaan. Esimerkiksi meesauunien tuotantokatkosten aikana poltettua kalkkia toimitetaan sellutehtaille muilta yksiköiltä.

Nordkalk valmistaa poltettua kalkkia viidellä paikkakunnalla Suomessa hyödyntäen sekä (rumpu- että kuilu-uuneja) ja SMA Saxo Mineral Torniossa vuodesta 2003 alkaen (kuilu-uuni-tekniikalla). Neljällä paikkakunnalla kalkkiuunien hukkalämpöä käytetään oman tuotannon lisäksi kaukolämmön tuotantoon.

Nordkalk valmisti Suomessa vuonna 2002 kierto/rumpu-uuneilla sekä kuilu-uuneilla poltettua kalkkia yhteensä noin 600 kt/a ja koko määrä käytettiin Suomessa. Tuotanto on kasvanut vuosina 1996 - 2002 noin 30 kt/a vastaten karkeasti noin 35 kt hiilidioksidipäästön vuotuista kasvuvauhtia.

Suomen uusimmassa kalkkitehtaassa Röyttäessä kalkkikivi poltetaan (kalsinoidaan) kaksoiskuilu-uunissa vuoroittaisina panoksina. Toisessa uunissa tapahtuvan polton aikana täytetään toista kuilua raakakivillä. Kun uuden erän poltto alkaa, tyhjennetään aiemmin poltettua uunia jaksoittain. Uuneja tyhjennetään vuorotellen, koska vain palamisvyöhykkeessä oleva kalkki palaa, ja alla oleva jäähtynyt kalkki voidaan tyhjentää. Polttoaineena käytetään poltto- tai kierrätysöljyä. Uunia lämmitetään useilla pienillä polttimilla (33 kpl/uuni) ja palamisilma tuotetaan erillisillä puhaltimilla. Sekä öljyn että ilman määrä säädellään tietokoneohjatusti poltinkohtaisilla säädöillä. Valmiin panoksen jäähtytys tapahtuu jäähtytyspuhaltimien ilmalla jatkokäsittelyn mahdollistamiseksi. Prosessissa oleva kalkki neutraloi savukaasujen öljylähtöiset rikkipäästöt täysin kaasun virratessa polttoa varten täytetyn uuninpuoliskon kivimassan läpi. Samalla kuuma paloilma esilämmittää uuden kivialueen ja säästää näin energiaa seuraavassa polttotapahtumassa.

SMA Saxo Mineral Oy:n valmistama poltettu kalkki käytetään Outokummun Tornion terästehtaalla. Kalkkitehtaan maksimikapasiteetti on 180 kt/a poltettua kalkkia vuodessa.

5.3.2 CaO-tuotannon ominaiskulutukset ja -päästöt

Vuonna 1998 yhtiö ilmoitti hiilidioksidin ominaispäästöiksi poltetulle kalkille 1,27 tCO₂/t,CaO ja energian ominaiskulutukseksi 5,33 GJ/t,CaO. Lohjan Tytyrin uudessa kuilu-uunissa vastaavat lukuarvot ovat lähes 30 % vanhempia kiertouuneja alhaisempia. Tämä taso kuvaa uuden teknologian mahdollisuuksia kalkin poltossa, johon liittyy suhteellisen suuri päästövähennyspotentiaali silloin, kun raaka-aine, tuotteen laatuvaatimukset ja niiden kysyntä sallivat modernien kuilu-uunien käytön.

1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa yhtiö on onnistunut pienentämään ominaispäästöjään ja vuonna 2001 hiilidioksidin ominaispäästökerroin poltetulle kalkille oli noin 1,1 tCO₂/tCaO (Nordkalk Oyj, Ympäristöraportti 2001). Tästä 0,786 tCO₂/t,CaO prosessipäästö aiheutuu raaka-aineena käytettävästä kalsiumkarbonaatista ja loput 0,315 tCO₂/t,CaO kalsinointiprosessissa raaka-aineen kuumentamiseen ja endotermisen reaktion aikaansaamiseen tarvittavista polttoaineista, jotka vaihtelevat toimipaikoittain.

Eri laitoksilla käytettäviä polttoaineita ovat hiili, POR, POK, jäteöljyt, masuunikaa-su, nestekaasu ja maakaasu (Engman 2003). Eri toimipaikkojen polttoaineperäisten hiilidioksidin ominaispäästöjen tasot vaihtelevat välillä 0,15 - 0,69 tCO₂/tCaO. Alhaisin lukuarvo on Raahessa ja korkein Lappeenrannassa. Prosessissa tarvittavien polttoaineiden vaihtaminen on mahdollista, mutta edellyttää mennessä tapauksessa kalliita muutoksia laitosten polttotekniikkaan.

Suuntaa antavina ominaispäästökertoimina vuosilta 1998–2002 voidaan pitää tasoa 1,17 - 1,19 tCO₂/t,CaO. Yhtiön kokonaispäästöjen ollessa vuonna 2002 tasolla 697 ktCO₂/a.

Sementti- kalkkiteollisuutta koskevassa EU:n IPPC-BAT -referenssiraportissa (EC 2001d) on esitetty lukuarvoja tyypillisistä lämpöenergian ja sähkön tarpeista eri kalkkiuunityypeille. On kuitenkin huomattava, että energiankulutukset riippuvat myös kiven ja halutun lopputuotteen laadusta, jolloin suorat vertailut vaikeutuvat. Yleisesti voidaan todeta, että kiertouunit kuluttavat kuilu-uuneja enemmän energiaa. Sähkön tarve vaihtelee eri uunityypeillä suuruusluokassa 5 - 40 kWh/t,CaO.

Tornion uudessa 2003 käyttöön otetussa yksikössä kalkkikivestä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt olisivat 78,5 kt ja tarvittavista polttoaineista 30,5 kt/a eli yhteensä 109 kt/a. Laitoksen CO₂ ominaispäästökerroin arvioksi saataisiin 1,09 tCO₂/t,CaO ja ominaisenergiankulutusarvioksi noin 4 GJ/tCaO. Alhainen energiankulutus saavutetaan kahden kuilun vuoroittaiskäytöllä, jolloin toisen uunin palokaasujen lämpö käytetään regeneratiivisesti toisen uunin kivimassan lämmittämiseen. BAT-referenssidokumentin (EC 2001d, s. 80) mukaan tällä uunityypillä saavutetaan kaupallisista uuneista alhaisin ominaisenergiankulutustaso. Vertailuissa tulisi lisäksi ottaa huomioon laitoksen arktinen sijainti, joka asettaa vaatimuksia teknologialle, järjestelmien luotettavuudelle ja polttoaineille.

Mahdollinen lisäkapasiteetin tarve tulevaisuudessa voitaneen Suomessa tyydyttää kuilu-uuniteknologialla aikataululla, joka määräytyy laitosten uusimistarpeesta.

5.3.3 Päästöjen vähentämiskeinot

Nordkalk Oyj on mukana kauppaja- ja teollisuusministeriön välisessä teollisuuden energiansäästösopimuksessa ja teettänyt energia-analyysin ensimmäisen vaiheen Tytyrin kaivoksesta ja kalkkitehtaasta. Yhtiö on vähentänyt kuuden edellisen vuoden aikana hiilidioksidin ominaispäästöjä kalkkitonnin kohden prosessiparannusten avulla noin 10 % (Engman 2003), mutta tuotannon voimakkaan kasvun vuoksi kokonaispäästöt ovat kasvaneet keskimäärin 30 kt/a.

Tytyrin tehtaan energia-analyysissä (Kupari Solutions Oy, 2001) arvioitiin energian säästöpotentiaalit ja energia-analyysissä esitettiin useita yksityiskohtaisia toimenpiteitä, jotka voidaan luokitella seuraaviin aihepiireihin:

- säätöjen ja ohjauksen parantaminen
- paineilmajärjestelmien tarkastaminen

- savukaasujen lämmön talteenoton tehostaminen ja hyötykäyttö
 - tulo- ja polttoilmojen esilämmitykseen
 - raaka-ainevirtojen ja polttoaineiden esilämmitykseen
- uunien ja tilojen eristyksen parantaminen.

Mikäli noin 5 %:n energiansäästöpotentiaali löytyisi kaikilta muiltakin Nordkalkin toimipaikoilta, olisi lämpöenergian säästötoimin saavutettavissa oleva polttoainesäästöistä saatavissa oleva päästövähennys suuruusluokaltaan noin 11 ktCO₂/a suuruusluokkaa. Teknisiä mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseksi on löydettävissä todennäköisesti enemmänkin, mutta esteet ovat useimmiten taloudellisia. Kalkkikivestä aiheutuvaan CO₂-päästöön (67 % yhtiön CaO-tuotannon kokonaispäästöistä) ei voida vaikuttaa ennen hiilidioksidipäästöjen talteenotto- ja loppusijoitusteknologian kaupallistumista, joka saattaa pitkällä aikavälillä olla mahdollista.

Kalkkikiveä ei voida korvata muilla raaka-aineilla. Dolomiitin poltosta aiheutuvat päästöt ovat 16 % kalsiumkarbonaattia suuremmat (0,913 tCO₂/tCaO.MgO). Tiedossa on, että energiatehokkaissa kuilu-uuneissa voidaan käyttää polttoaineina ainakin raskasta polttoöljyä, jäteöljyä (regeneroitua öljyä), nestekaasua ja koksi/masuunikaa-sua. Kevyttä polttoöljyä käytetään kustannussyistä vain erikoistarkoituksiin ja tuki-polttoaineena. Myös maakaasun käyttö lienee mahdollista, mikäli sitä on saatavilla. Maakaasun käyttö edellyttäisi kuitenkin hyvin suuria muutoksia modernien uunien polttotekniikassa. Raahessa kuilu-uunit käyttävät pääpolttoaineena teräsintegraatin sivutuotekaasuja. Kuilu-uunien käyttöä rajoittaa lopputuotteen raekoko, joka ei voi olla kovin pieni, jotta polttokaasut pääsevät virtaamaan panoksen läpi. Lisäksi polttoaineen alhainen rikki- ja pitoisuus on kriittinen tekijä lopputuotteen laadun kannalta.

Kalkkiteollisuuden energiatehokkuuden kehittymisen kannalta yksi keskeinen kysymys on, voidaanko kotimaista kalkkikiveä jalostaa tulevaisuudessa kuilu-uuniteknologialla, jolloin tarvittava lisä kapasiteetti voitaisiin tyydyttää merkittävästi nykyistä kiertouuniteknikkaa energiatehokkaammin. Kuilu-uuneilla ei voida tuottaa kovaksi poltettua kalkkia, joka reagoi hitaasti veden kanssa. Lisäksi ongelmia aiheuttaa se, että kotimaista kalkkikiveä ei voida prosessoida kuilu-uuniteknologialla (Engman 2003). Mikäli ratkaisut tähän löytyvät, voitaisiin energian ominaiskulutuksia ja polttoaineista aiheutuvia päästöjä kalkkiteollisuudessa vähentää teknologiaa modernisoimalla. Kotimainen kivi vaatii vähintään yhtä paljon ja jopa enemmän energiaa palaakseen kuin tuontikivi, jossa on vähemmän epäpuhtauksia. Kalkkikiven kuljetusten ympäristövaikutuksiin tulisi myös kiinnittää huomiota, mikä saattaa suosia vesikuljetuksia.

Kiertouuneissa voidaan käyttää polttoaineena jauhettua kivihiltä, raskasta polttoöljyä ja maakaasua (Lappeenranta). Polttoprosessi edellyttää, että polttoaineen tuhkapitoisuus on alhainen. Huonolaatuisten kivihiltien tuhka voi olla haitallista, koska se

sitoutuu kalkkiin. Polttoprosessit suunnitellaan käytettävän kalkkikiven laadun mukaan. Suurimittaisen maakaasun lisäkäytön edellytyksenä ovat edullinen saatavuus ja tekniset muutokset uunien polttotekniikassa. Mikäli 100 kt osuus kiertouunien vuosituotannosta muutettaisiin maakaasulle, saavutettaisiin 26 ktCO₂ päästövähennemä vuositasolla, mutta investointikustannusta ei tässä yhteydessä kyetty arvioimaan.

Saavutettavissa olevat CO₂-päästövähennemät Röyttän kaltaisen uuden kalkkitehtaan kohdalla ovat mitättömät. Laitoksen ominaislukuarvoja voidaan hyödyntää osoittamaan BAT-tasoisien teknologian tasoa energiatehokkuudessa ja päästötaasoissa sellaisissa olosuhteissa, joissa maakaasua tai muita teollisuuden sivutuotteita ei ole saatavilla.

Koska kalkkikiveä ei voida korvata muilla materiaaleilla useimmissa käyttötarkoituksissaan, lienee hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö todennäköisin pitkän aikavälin teknologinen kehityssuunta, mikäli kalkin polton raaka-aineperäistä osuutta päästöistä halutaan vähentää.

5.3.4 Tulosityhteenvedo, tulevaisuudennäkymät ja johtopäätelmät kalkkiteollisuuden tarkastelusta

Suomessa poltettua kalkkia valmistaa Nordkalk Oyj Abp viidellä toimipaikalla, joissa on yhteensä 8 uunia sekä SMA Saxo Mineral Oy vuodesta 2003 alkaen uudella tuotantolaitoksellaan Tornion Röyttässä.

Kalkkiteollisuuden päästökauppaan osallistuvien laitosten poltetun kalkin kokonaistuotanto vuonna 2003 tullee olemaan aiempien vuosien tietojen perusteella arvioituna noin 700kt (Nordkalk 600 kt/a, kapas.max 810 kt/a ja Saxo Mineralin tuotanto uudessa Röyttän laitoksessa noin 100kt/a ja kapas.max 180 kt/a).

Tätä tuotantotasoa vastaavat kokonaishiilidioksidipäästöt ovat noin 790 kt,CO₂ (NK 680 kt/a, Saxo 110 kt), josta raaka-aineperäisen prosessipäästön osuus on 533 ktCO₂/a (NK 454 kt/a, Saxo 79 kt/a). Loput 257 kt,CO₂ eli 33 % aiheutuu polttoaineista (NK 226 kt/a, Saxo 31 kt/a), joiden korvaaminen vähähiilisemmällä (kivihiilestä maakaasuun) on saatavuussyistä ajateltavissa vain Lappeenrannan yksikön kohdalla ja ehkä tulevaisuudessa Lohjalla riippuen maakaasuverkon kehittymisestä.

Tässä tarkastelussa läpikäytyjen tuotantolaitosten hiilidioksidin ominaispäästöt suhteutettuna CaO-tuotetonnin vaihtelivat saatavillaolleista polttoaineista riippuen välillä 0,92 - 1,42 tCO₂/tCaO ja ominaisenergiankulutus välillä 3 400 - 6 800 MJ/t, CaO. Poltetun kalkin tuotannosta aiheutuu 0,786 tonnin raaka-aineperäinen mineraalinen hiilidioksidipäästö yhtä tuotettua CaO-tonnia kohden, ei voida nykytekniikalla vaikuttaa.

Ottaen eri toimipaikkojen erilaiset polttoainejakaumat huomioon on mahdollista muodostaa karkea referenssi-taso hiilidioksidin ominaispäästöille. Tällainen taso kalsiumoksidin tuotantolaitoksille voisi olla esimerkiksi 1,1 t CO₂ yhtä lopputuotteenä saatavaa CaO-tonnia kohden. Tämä 1,1 tonnin ominaispäästö taso vastaa uuden BAT-tasoisesta uuden kuilu-uuniteknikalla toteutetun laitoksen (Röyttä, käyttöönotto vuosi 2003) ominaispäästöjä. On kuitenkin huomattava, että kierron uunien BAT-taso on korkeampi ja myös tuotteet ja raaka-ainepohja eroavat toisistaan.

Noin 5 %:n polttoaineen energiasäästöpotentialiaali vanhoille kierron uuni-tekniikalla toteutetuille laitoksille johtaisi koko kalkkiteollisuuden tasolla 7,8 kt/a päästövähennykseen. Mikäli kivihiiltä voitaisiin korvata maakaasulla (jos saatavilla Lappeenrannassa ja Lohjalla) eli mikäli esimerkiksi 100 kt CaO-tuotannosta kyettäisiin siirtämään kivihiilen käytöstä maakaasuun, vastaisi toimenpide noin 26 kt/a vähennystä. Näitä teknisiä vähennyskeinoja tulisi kuitenkin tarkastella yksityiskohtaisemmin niiden toteutettavuuden arvioimiseksi.

Kalkkiteollisuus on sementtiteollisuuden tavoin melko herkkä tuonnille mahdollisista päästökaupan ulkopuolisista maista. Alan kasvunäkymät ovat riippuvaisia suurimpien asiakassektoreiden kehityksestä. Keskeiset sektorit ovat teräs-, sellu- ja paperi- sekä rakennusteollisuus. Lähteen (EC 2001d) mukaan kalkkiteollisuudessa energiakustannukset muodostavat peräti 50 % tuotantokustannuksista, joten ala on erityisen altis energian ja päästökäytäntöiden hinnan muutoksille. Sementtiteollisuudessa energiakustannusten osuus tuotantokustannuksista on kalkkiteollisuutta alhaisempi ollen tasolla 30 - 40 % (ilman investointikustannuksia). Monilla muilla prosessiteollisuuden lohkoilla osuudet ovat selvästi pienempiä ollen tasolla 10 - 25 %.

5.4 Lasiteollisuus

Tässä luvussa tarkastellaan suomalaisia lasia valmistavia laitoksia. Tasolasitehtaan lisäksi tarkastellaan lasi- ja vuorivillaa tuottavia laitoksia. Tarkasteltavat yritykset ja toimipaikat ovat:

- Pilkington Lahden lasitehdas Oy, Lahti
- Saint Gobain Isover Oy, Hyvinkään ja Forssan toimipaikat
- Paroc Oy, Lappeenrannan, Paraisten ja Oulun toimipaikat

Lisäksi tarkastellaan lasikuidun ja lasipakkausten valmistusta:

- Ahlström Kuitulasi Oy, Karhula/Kotka
- Karhulan lasi Oy, Karhula/Kotka

5.4.1 Tasolasin valmistus, Pilkington Lahden lasitehdas Oy

Vuodesta 1994 alkaen Lahden lasitehtaan on omistanut Pilkington Plc. -konserni 100 %:n osuudella. Konserni on globaali toimija. Pilkingtonin liiketoimintalinjat Suomessa ovat tasolasin valmistus ja siitä valmistettavat varmuuslasit hyötyajoneuvoteollisuudelle sekä varaosamarkkinoille. Yhtiö tuo rakennuslasituotteet Suomen markkinoille meriteitse Ruotsin tehtaaltaan. Ruotsista tuodaan Suomeen tasolasia noin 40 kt/a. Pilkingtonin Suomen tuotantolaitosten tuotanto menee lähes 90 %:n osuudelta vientiin. Lahden tasolasitehdas on ainoa tasolasin valmistaja Suomessa.

Tasolasituotanto Suomessa keskittyy sekä kirkkaan että vihreän floatlasin valmistukseen, pääasiassa autolasiteollisuuden tarpeisiin sekä Microfloatin valmistukseen vientimarkkinoille. Ohuesta microfloat-lasista suuri osa menee laboratorioiden käyttöön. Lahden lasitehtaan lisäksi Pilkingtonilla on Suomessa kolme varaosasejää ja hyötyajoneuvojen laseja valmistavaa tehdasta. Ylöjärven tehdas valmistaa henkilöautojen ja kuorma-autojen tuulilaseja, Laitilan tehdas valmistaa linja-autojen tuulilaseja ja Tampereella valmistetaan karkaistuja laseja. Espoossa on yhtiön tukkuliike. Nämä yksiköt eivät kuulu päästökaupparajauksen ”lasia valmistavien laitosten” piiriin, vaan valmistavat lasista jatkojalosteita ja ovat siten suhteellisen suuria sähköenergiankäyttäjiä. Pilkington Marine Suomessa keskittyy luksusristeilijöiden lasirakennuskaisuihin.

5.4.1.1 Tasolasin valmistus

Float-lasin valmistusprosessista syntyy sekä polttoaineperäisiä, että raaka-aineperäisiä hiilidioksidipäästöjä, jotka syntyvät dolomiitistä, kalkkikivestä ja soodasta. Prosessissa kuluu pääpolttoaineena käytettävän maakaasun lisäksi myös sähköä (1,5 - 2,5 MW) sekä nestemäistä happea (4 kt/a). Sulatusuunin liekin lämpötila on noin 1600 astetta ja lasin korkein lämpötila prosessissa on noin 1550 astetta, joten prosessissa on kiinnitetty erityistä huomiota NO_x-päästöjen vähentämiseen.

Sulatusuuni käyttää yksinään yli 99 % kaikesta prosessin tarvitsemasta maakaasusta. Sulatuksen teho on noin 26,5 MW, josta 6,9 MW saadaan regeneroiduksi savukaasuista. Sähkönkulutus jakautuu useaan osaan. Suurimmat sähkönkuluttajat prosessissa ovat sulatusuunin ns. main boost, jonka osuus kaikesta sähkönkulutuksesta on noin 40 %. Toiseksi suurin sähkönkulutuskohde on tinakylvyn lämmitysvastukset.

Tehtaan energiankulutus vaihtelee tuotannossa olevan lasin mukaan. Sulatusuunia voidaan ajaa myös ilman sähkösulatusta pelkällä maakaasulla ja apuna käytettävillä happipolttimilla. Jos sulatukseen käytetään pelkästään maakaasua ja happipolttimia, nousee energian ominaiskulutus sulatettua tonnia kohti selvästi kor-

keammaksi kuin maakaasun ja sähkösulatuksen yhteiskäytöllä. Sähkösulatuksen energian ominaiskulutus on selvästi maakaasusulatusta alhaisempi, ja sen vaikutus ulottuu lasimassan sisäosiin. Sähkösulatuksella kyetään myös ohjailemaan lasimassaa. Lasin laatua vaihdettaessa linjan tuotantoa ajetaan pitkiä aikoja murskaimiin, mistä johtuen tehtaan bruttotuotanto on paljon nettotuotantoa suurempi. Eri tuotteita ajetaan noin neljän kuukauden ”kampanjoissa”. Tuotantoa ohjataan myös kierrättämällä lasia tehtaan prosessissa, joka on jatkuvatoiminen. Tilaisuuksia tehdä suurempia muutostoimenpiteitä on käytännössä vain noin 15 vuoden välein.

Tehtaan sulatuskapasiteetti on 80 kt/a (1 500 t/viikko, noin 250t/d) ja nettotuotantokapasiteetti noin 60 kt/a. Noin 75 % tuotetusta lasista pystytään hyödyntämään. Vuosituotannosta noin 35 % on kirkasta lasia, 53 % vihreää (tumma ja vaalea laatu) ja 12 % mikrofloat lasia. 60 kt/a lasituotanto vastaa noin 10 miljoonan neliömetrin pinta-alaa eli keskimääräinen ominaispaino pinta-alaa kohden on 6 kg/m², tuotannon keskipaksuus noin 2,6 mm. Tuotettavien lasien paksuudet vaihtelevat 1 - 3 mm:n välillä.

5.4.1.2 Lasinvalmistuksen tuotantopanokset ja CO₂-päästöt

Lasinvalmistuksen raaka-aineet ovat:

- 58 % kvartsihiekkä
- 18 % Sooda Na₂CO₃
- 16 % dolomiitti
- 2 % maasälpä
- 5 % jauhettu kalkkikivi
- 1 % natriumsulfaatti, Na₂SO₄.

Lisäksi noin 30 % raaka-aineesta on omaa ja yhtiön eri toimipaikkojen kierrätyslasia. Yhtiö ei ota vastaan ulkopuolista kierrätyslasia.

Lahden lasitehdasta uudistettiin vuonna 1987, jolloin yhtiön float-linja käynnistyi ja tuotantoa suunnattiin ajoneuvoteollisuuteen. Aiemmin tehtaan pääpolttoaine oli raskas polttoöljy, mutta uudistuksen yhteydessä sulatusuuni muutettiin maakaasulle. Nykyään maakaasua kuluu noin 16 - 18 miljoonaa nm³/a.

Soodassa, dolomiitissä ja kalsiumkarbonaatissa oleva hiili vapautuu hiilidioksidina prosessista. Tämän prosessipäästön suuruusluokka on noin 9,5 kt/a eli 22 % kokonaishiilidioksidipäästöistä. Pääasiallinen hiilidioksidipäästön lähde on sulatusuunissa käytettävä maakaasu (34 ktCO₂/a). Nämä lukuarvot vastaavat noin 80 kt/a sulatusta ja tyypillistä 60 kt/a nettotuotantoa, joka kuvaa hyvin laitoksen pitkän aikavälin toimintaa. Päästöjen näkökulmasta tuotannon vaihtelut ovat melko vähäisiä vuo-

sitasolla. Tuotantoprosessi toimii hyvin tasaisesti maakaasulla toimivan lasiuunin ollessa jatkuvatoiminen (useita vuosia peräkkäin). Tarkastelun perusteella voidaan olettaa, että ominaispäästötaso 0,73 tCO₂/t,lasia, (nettotuotannolle) ei juurikaan vaihtelee.

5.4.1.3 Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot

Raaka-ainesubstituutio

Lasinvalmistuksessa kaikki käytetyt raaka-aineet ja niiden määrät vaikuttavat lasin laatuun, joten ilmastovaikutusten näkökulmasta niitä ei voida optimoida. Ainoa raaka-aineoptio, jolla olisi vaikutusta nettohiilidioksidipäästöihin on kierrätyslasiin lisäkäyttö. Lopputuotelasin korkeat laatuvaatimukset ajoneuvoteollisuudessa asettavat kuitenkin kovat vaatimukset kierrätyslasiin laadulle ja puhtaudelle, joten toistaiseksi yhtiö kierrättää vain omien tehtaidensa rejektiä. Ajoneuvojen lasien kierrätyksen kannalta laminoinnissa käytetty polyvinyylibutyaattikalvo aiheuttaa ongelmia, mutta Forssan Romu ja Uusioaines Oy yrittää etsiä asiaan ratkaisuja (Sutela 2003). Lyhyellä tähtämellä kierrätetyn lasin lisäämismahdollisuudet ovat hyvin vähäisiä. Lasinkierrätysjärjestelmän kannalta asiaa vaikeuttaa viennin suuri yli 90 %:n osuus ja tuotannon ”erikoistuoteluonne”, jotka puoltavat puhtaaseen raaka-ainelasiin perustuvaa tuotantoa. Pitemmällä tähtämellä joidenkin markkinoilla syntyvien lasifraktioiden kierrätystä voitaneen kuitenkin lisätä, mikäli niiden laatuvaikutukset voidaan riittävästi hallita ja varmistaa. On kuitenkin todennäköistä että ohuen taso-lasin valmistus ei ole kierrätetyn lasin ”nielu” tulevaisuudessakaan vaan materiavirta ohjautuu käyttökohteisiin, joissa laatuvaikutukset eivät ole yhtä kriittisiä.

Polttoainesubstituutio

Lasin raaka-aineiden sulatusprosessin energiantarve tyydytetään ensisijaisesti maakaasulla, mutta lisänä käytetään happipolttimia ja sähkösulatusta. Sähkö on lähes kaksi kertaa tehokkaampaa sulatusprosessissa maakaasuun nähden, mutta kustannusoptimi on toistaiseksi suosinut maakaasu+happisulatusta. Sähköenergiasta noin 40 % kuluu sulatusuunin ”main boost”-toiminnossa. Toinen keskeinen käyttökohde on tinakylvyn vastukset. Lasinvalmistuksen kustannusrakenne muodostuu karkeasti prosessiteollisuudelle tyypillisellä jaolla: 1/3 palkat, 1/3 raaka-aine, 1/3 energia, joten energia on erittäin merkittävä kustannustekijä.

Lasinvalmistusprosessi on jatkuvatoiminen ja tekniset muutokset uunin rakenteissa erittäin vaikeita, joten polttoainevaihdot lyhyellä tähtämellä tuskin tulevat kyseeseen. Pitkällä aikavälillä painopisteen siirtäminen sähkön suuntaan voisi vähentää toimipaikan omia hiilidioksidipäästöjä, mutta kokonaisvaikutus riippuu sähköenergiajärjestelmän kehittymisestä (ja laskennassa käytettävästä sähköenergian keskimääräisestä ominaispäästökertoimesta).

Teknologiasubstituutio

Toistaiseksi vain ”add-on” -tyyppiset lämmön talteenottoa tehostavat teknologiat vaikuttavat mahdolliselta kehityssuunnalta. Selvitystyötä sulatusuunin lämpöhäviöiden pienentämiseksi ja lisälämmön talteenottamiseksi ja syöttämiseksi kaukolämpöverkkoon kannattaisi kuitenkin jatkaa. Toimipaikka myy lämpöä Lahden kaukolämpöverkkoon vuosittain noin 21 GWh/a.

5.4.1.4 Arvio CO₂-vähennyspotentiaalista

Kierrätyslasin lisäkäyttö ei juurikaan vähennä sulatusprosessin energiankäyttöä. Vähennysvaikutus kesäaikaan on enintään 2 - 3 % ja talvella jäisestä lasista johtuen lähes mitätön (Sihto 2003). Sensijaan kierrätyslasin lisäkäyttö esimerkiksi tasolla 10 kt/a vähentäisi karbonaatti-peräisiä hiilidioksidipäästöjä noin 1600 t/a.

Pilkington Lahden Lasitehdas Oy on liittynyt kauppaja- ja teollisuusministeriön energiansäästösopimusjärjestelmään ja toteuttanut prosessiteollisuuden energiaanalyysin 1. vaiheen (Siitonen ym. 1999). Siinä havaittiin alle 2 %:n suuruusluokkaa olevat sähkö- ja polttoaine-energian säästöpotentiaalit. Energiatohokkuuden parantamisen vaikutusten suuruusluokka voidaan hahmottaa, kun 2 %:n maakaasun käytön vähentyminen laitoksella vastaisi vuositasolla noin 700 tonnin hiilidioksidipäästövähennemää.

Sähköenergian osuuden kasvattaminen ja maakaasun vähentäminen on periaatteessa mahdollista, mutta korvauksen ilmastovaikutuksen laskeminen tässä yhteydessä on hyvin epävarmaa, koska arvio nettohyödyistä on riippuvainen laskenta-periaatteista. Lasinvalmistus on kuitenkin konkreettinen esimerkki siitä, että joissakin prosesseissa siirtymällä fossiilisista polttoaineista sähköenergian käyttöön, voi olla mahdollista vähentää kokonaishiilidioksidipäästöjä.

5.4.1.5 Johtopäätelmät

Lahden lasitehtaan raaka-aineperäiset hiilidioksidipäästöt ovat noin 9,5 kt/a normaalikäytössä ja maakaasusta (pääpolttoaine) peräisin olevat CO₂-päästöt noin 34,4 kt/a vastaten 80kt/a sulatusta ja 60 kt/a nettotuotantoa. Biomassaa ei polttoaineena voida käytännössä käyttää. Laitoksen nykypäästöt ovat tasolla 43,9 tCO₂/a.

Omia päästöjään yhtiö voi lähinnä vähentää vain energiatehokkuutta parantamalla (lämmön tehokkaampi hyötykäyttö), korvaamalla sähköllä maakaasua sekä kierrätyslasin osuutta lisäämällä. Päästöjen vaihtelu vuositasolla on moniin muihin teollisuustoimialoihin nähden suhteellisen vähäistä.

Karkea ominaispäästökerroin tuotetulle lasille on noin 0,73 tCO₂/ t, tasolasia jatkojalostukseen. Lukuarvo sisältää sekä raaka-aineperäisen että polttoaineperäisen päästöosuuden. 2 %:n suuruinen maakaasuenergian säästömahdollisuus vastaisi noin 700 t,CO₂/a ja 10kt/a lasinkierrätyksen lisääminen 1600 tCO₂/a. Tässä selvityksessä tehtaalta yksilöitiin 2,3 kt verran päästöjen vähentämispotentiaalia.

Yleisenä johtopäätelmänä voidaan todeta, että kasvihuonekaasupäästöjen vähennysmahdollisuudet tasolasin valmistuksessa vaikuttavat tämän selvityksen perusteella hyvin marginaalisilta.

5.4.2 Vuorivillan valmistus, Paroc Oy Ab

Vuorivillaeristeitä valmistava Partek Insulation itsenäistyi emoyhtiöstään Partekista vuonna 1999. Yhtiö nimettiin Paroc Group Oy Ab:ksi. Paroc Group valmistaa PAROC vuorivillatuotteita Suomessa, Ruotsissa, Liettuassa, Puolassa ja Iso-Britanniassa ja on Euroopan kolmanneksi suurin mineraalivillan tuottaja. Vuonna 2002 noin 32 % Parocin Suomen tuotannosta meni vientiin (Karppinen 2003). Vuorivillaa käytetään pääasiassa lämmön, palon ja äänen eristeinä rakentamisessa, prosessiteollisuudessa, energiantuotannossa ja laivanrakentamisessa.

Suomessa valmistetaan vuorivillaa kolmella tehtaalla: Lappeenrannassa, Oulussa ja Paraisilla. ”Vuorivilla” on Parocin valmistaman mineraalivillan tuotenimi. Polttoaineiden lisäksi CO₂-päästöjä syntyy dolomiitista ja kalkkikivestä.

5.4.2.1 Vuorivillan valmistusprosessi ja tuotantopanokset

Vuorivilla valmistetaan sulatetusta kivistä, joka kuidutetaan keskipakovoiman avulla pyörivällä kuidutuslaitteella, ”lingolla”. Sulatusuunien savukaasut puhdistetaan pölynerottimella kaikilla linjoilla. Sähköuuni ja kaksi koksuiuuneista on varustettu jälkipolttolaitteella, jälkipoltosta saatu energia käytetään sulatusuunin polttoilman esilämmitykseen. Kuidutuksen yhteydessä kuituihin lisätään vedellä laimennettu sideaine. Kuidut ja sideaine kerätään imuilman avulla kuljettimelle. Imu ilma, jonka mukana kulkeutuu jonkin verran kuituja, sideainetta ja vettä, puhdistetaan vuorivillasuotimessa, jonka jälkeen puhdistettu ilma johdetaan piippuun. Vuorivillaan lisätty sideaine polymeroidaan (”karkaistaan”) karkaisu-uunissa yli 200 °C lämpötilassa ja samalla tuote puristetaan oikeaan paksuuteen. Karkaisu-uunin savukaasut puhdistetaan joko jälkipolttamalla tai samassa vuorivillasuotimessa kuin keraailu ilma. Karkaisun jälkeen tuote jäähdytetään, sahataan määrämittoihin ja pakataan. Sahat on varustettu pölynpoisto- ja talteenottolaitteilla. Osa tuotannosta jatkojalostetaan edelleen teknisiksi eristeiksi (esim. putkieristeet, verkkomatot) (Paroc 2002).

Raaka-aineet

Vuorivillan pääraaka-aine on luonnonkivi (gabbro, anortosiitti, diabaasi, dolomiitti). Pääosa raaka-ainekivistä (n. 75 %) hankitaan yrityksen omista kaivoksista. Vain dolomiitti ostetaan. Dolomiitistä aiheutuu kiven sulatuksen yhteydessä mineraaliperäisiä CO₂-päästöjä käytettävien fossiilisten polttoaineiden lisäksi. 80 - 90 % vuorivillan valmistuksen CO₂-päästöistä syntyy sulatuksessa, loput sideaineen polymeroinnissa (Karppinen 2003).

Polttoaineet

Vuorivillatehtailla käytetään energialähteinä fossiilisia polttoaineita: koksia, maatai nestekaasua ja kevyttä polttoöljyä sekä kaatopaikalta saatavaa metaania. Vuorivillan valmistuksen merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät kiven sulatukseen ja sen vaatimaan energiaan. Neljä viidestä tuotantolinjasta käyttää sulatukseen koksia, yksi sähköä. Koksin lisäksi vuorivillan valmistusprosessissa käytetään kaasua sulatuksen polttoilman esilämmityksessä ja sideaineen polymeroinnissa (karkaisussa). Sulatusuunien manttelin jäähdytysveden lämmöllä lämmitetään myös tuotanto- ja konttoritiloja aina kun tuotanto on käynnissä.

Biokaasun käyttö säästää vastaavan määrän fossiilista polttoainetta. Merkittävämpi hyöty saadaan kuitenkin siitä, että polttamaton biokaasu, metaani, on kasvihuonekaasuna moninkertaisesti haitallisempi kuin poltetun kaasun hiilidioksidi. Parocin kokemusten perusteella kaatopaikalta kerättävä biokaasu soveltuu hyvin korvaamaan nestekaasua, maakaasua ja polttoöljyä, kunhan sen tasainen saanti on turvattu (Karppinen 2003).

Yksi Parocin viidestä tuotantolinjasta on varustettu sähköisellä kiven sulatusuunilla. Vaikka tämä tekniikka on ollut tunnettua jo noin 20 vuotta, se ei ole yleistynyt ja arvioilta vain noin 10 % kivivillan valmistuslinjoista on varustettu sähköisellä sulatuksella. Laitoksen omien hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta sähkösulatuksella päästään alhaisempiin hiilidioksidin ominaispäästöarvoihin. Kokonaisvaikutus riippuu sähköenergiajärjestelmän kehityksestä.

Koksi on ainoa kupoliuuniin soveltuva polttoaine, se osallistuu sulatusprosessiin energialähteenä, mahdollistaa dolomiitin kalsinoitumisen ja pelkistää kivessä olevaa rautaa sekä tuo riittävän mekaanisen lujuuden sulatusuunissa olevaan kivi-koksi-panokseen, mikä mahdollistaa kaasujen läpivirtauksen panoksen läpi.

Maa- tai nestekaasua käytetään vuorivillan valmistuksessa sulatusuunin polttoilman esilämmitykseen sekä vuorivillan sideaineeksi lisätyn hartsin polymerointiin. Lisäksi kaasua käytetään kupoliuunin polttimiin sekä pakkauslaitteisiin. Oulun

ja Lappeenrannan tehtailla on osa kaasusta korvattu kunnalliselta kaatopaikalta saatavalla metaanilla. Paraisilla tätä mahdollisuutta ei ole koska kunnallisella kaatopaikalla ei ole kaatopaikkakaasujen keräilyä.

5.4.2.2 Hiilidioksidipäästöt ja CO₂-ominaispäästökertoimet

Vuonna 2001 Parocin toimipaikkojen yhteenlasketut hiilidioksidipäästöt fossiilisista polttoaineista olivat 70,5 ktCO₂/a ja raaka-aineena käytetystä dolomiitistä 16,5 kt/a eli yhteensä noin 87 kt/a. Kaatopaikalta talteenotetusta biokaasusta vapautui noin 3,5 kt hiilidioksidia, mutta tätä ei sisällytetä hiilidioksidipäästöinventointiin.

Tuotannon määrä ja siksi myös hiilidioksidipäästöt ovat 1990-luvulla vaihdelleet voimakkaasti rakentamisen suhdanteiden mukaisesti ollen alhaisimmalla tasollaan vuonna 1993 (noin 60 ktCO₂/a vastaten 86 kt/a tuotantoa), jonka jälkeen kasvu on jatkunut melko tasaisesti vuoden 2001 87 kt/a tasolle, joka vastasi 120 kt/a tuotantotasoa. Tällä tuotantomäärällä CO₂-päästösuudet jakautuivat seuraavasti: koksista 69 % (60,4 t), dolomiitista 19 % (16,5 kt) sekä neste- ja maakaasusta 12 % (10,5 kt). Polttoöljyn käyttö on ollut hyvin vähäistä. Parocin kolmen toimipaikan ominaispäästökerroin on näiden lukuarvojen perusteella 0,73 tCO₂/t, vuorivillaa. Tämä ominaispäästökerroin on keskiarvo neljältä koksivuunilta ja yhdeltä sähkövuunilta käyttävältä tuotelinjalta. Mikäli linjojen käyttöastetta lisätään, vähenee sähkövuunin suhteellinen osuus, koska se toimii jo nyt käytännöllisesti katsoen maksimikapasiteetilla, mutta koksivuunilinoilla on käyttöasteessa vielä tehostamisen varaa. Tällaisessa tilanteessa ominaispäästökerroin nousee. Lisätuotannon, joka perustuu koksilinjoiden käyttöön, CO₂-päästökerroin on 0,9 - 1,0 t CO₂/t vuorivillaa.

5.4.2.3 Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot

Raaka-ainesubstituutio

Mineraalivillan kemiallisen koostumuksen muuntelumahdollisuudet on määritelly tarkkaan EU direktiivissä 97/69/EC. Direktiivin noudattaminen tekee raaka-ainesubstituutioiden hyödyntämisen vaikeaksi. Vuorivillan kohdalla ainoa helposti käytettävä substituutti raaka-aineena on tuotantojäte.

Dolomiitti tai vaihtoehtoisesti kalkkikivi on välttämätön lisä kiviseoksessa, jotta sulatettaessa saadaan aikaiseksi sopivalla tavalla kuidutettava lasimassa. Dolomiitista aiheutui vuonna 2001 noin 16,5 kt prosessiperäinen CO₂-päästö.

Raaka-aineiden kierrätystä ja uusiokäyttöä on mahdollista lisätä vain vähän. Paroc on kehittänyt kivivillan valmistukseen Waste Injection -tekniikan Life-rahoituksella. Menetelmällä voidaan hyödyntää yli 50 % kaikista kivivillan valmistuksen

jätteistä sekä vähentää kiven kulutusta noin 15 %. Lisäksi menetelmä vähentää rikki- ja hiilidioksidin päästöjä. Tämä hanke on toteutettu Oulussa, jossa käytetään 75 % syntyneestä kuidutusjätteestä uudelleen Vuorivillan raaka-aineena. Lappeenrannassa on todennäköisesti mahdollista vähentää CO₂-päästöjä muutamia prosentteja Waste-injection tekniikalla.

Polttoainesubstituutio

Maa- tai nestekaasua käytetään vuorivillan valmistuksessa sulatusuunin polttoilman esilämmitykseen sekä vuorivillan sideaineeksi lisätyn hartsin polymerointiin. Lisäksi kaasua käytetään kupoliuunin polttimiin sekä pakkauslaitteisiin. Paraisten tehtaalla käytössä on nestekaasu, Lappeenrannassa maakaasu ja paikalliselta kaatopaikalta saatava metaani ja Oulussa pelkästään kaatopaikan biokaasusta saatava metaani, jota ajoittain täydentää polttoöljy. Oulussa kaikki mahdolliset biokaasun käyttökohteet ovat jo käytössä ja Lappeenrannassa käytetään se määrä, joka luotettavasti on saatavilla. Saatavuus ratkaisee biokaasun käyttömahdollisuudet. Paraisilla ei kunnallisella kaatopaikalla ole biokaasun keräilyä, joten siellä tätä mahdollisuutta ei ole.

Koksi on sulatusprosessissa prosessisidonnainen polttoaine, jonka korvaaminen on mahdotonta ilman koko teknologian vaihtoa sähkösulatusta hyödyntäväksi. Koksi osallistuu sulatusprosessiin energianlähteenä ja dolomiitin kalsinoitumiseen ja pelkistämällä kivessä olevaa rautaa sekä tuomalla riittävän mekaanisen lujuuden sulatusuunissa olevaan kivi-koksi-annokseen, mikä mahdollistaa kaasujen läpivirtauksen panoksen läpi (Karppinen 2003).

Energian käytön tehostaminen on ja tulee kasvavasti olemaan yksi tuotannon avaintekijöistä tulevina vuosina Paraisilla ja Oulussa.

Teknologiasubstituutio

Siirtyminen koksista sähköön on periaatteessa mahdollista. Koksi on kuitenkin kupoliuunissa prosessisidonnainen polttoaine, jonka korvaaminen esimerkiksi sähköllä on mahdotonta ilman koko teknologian vaihtoa sähkösulatusta hyödyntäväksi. Sähkösulatustekniikka on vuorivillan valmistuksessa suhteellisen vähän käytetty, koska sen vaatima investointi koksiiuuniin verrattuna on noin 40 % kalliimpi. Sähköuuni on käytössä joustamattomampi, koska sitä ei voida ajaa alas eikä pysäyttää, vaan sen oltava käytössä koko uunin vuorauksen käyttöiän (3 - 4 vuotta). Kun tuotanto ei ole käynnissä, pidetään uunin lasimassa sulana jatkuvan sähkönsyötön avulla. Sähköuunin sähkönsyötön on myös oltava taattu, koska uunia ei voida käynnistää uudelleen, jos se pääsee jäähtymään. Jähmettynyt sula ei johda sähköä, siksi jähmettynyttä sulaa sisältävää uunia ei voida sulattaa uudelleen sähköä.

köuuniteknikalla. Sähköuuni on myös vaativampi raaka-aineiden suhteen (Karpinen 2003).

Pitkällä aikavälillä painopisteen siirtäminen sähkösulatuksen suuntaan voisi vähentää yhtiön omia hiilidioksidipäästöjä, mutta kokonaisvaikutus riippuu sähköenergiajärjestelmän kehittymisestä ja laskennassa käytettävästä sähköenergian keskimääräisestä ominaispäästökertoimesta. Vuorivillan valmistus on lasinvalmistuksen ohella esimerkki siitä, että tietyissä prosesseissa siirtymällä fossiilisista polttoaineista sähköenergian käyttöön, voi olla mahdollista vähentää kokonaishiilidioksidipäästöjä. Parocin viidestä tuotantolinjasta yksi toimii sähkösulatuksella.

5.4.2.4 Tulosityhteenveto ja johtopäätelmiä

Oulussa ja Lappeenrannassa on toteutettu kaatopaikkakaasun käyttö siinä mitta-kaavassa, kuin se on mahdollista. Paraisilla tätä mahdollisuutta ei ole. Oulussa ja Paraisilla on toteutettu tuotantojätteen hyötykäyttö lähes täydellisesti, joten raaka-ainesubstituution kautta saatava CO₂-vähennyspotentiaalia ei enää ole jäljellä.

Lappeenrannassa Waste-injection -tekniikka saattaa tuoda muutaman prosentin vähennyksen siltä osin kun se vähentää dolomiitin tarvetta ja pienentää jokin verran sulatusenergian (kaksin) tarvetta. Yhtiön kaikilla tehtailta energian käytön tehostaminen on jatkuvaa kehitystoimintaa, jossa kaikki ”helpot ratkaisut” on jo toteutettu. Kyse on kuitenkin yhtiön mielestä marginaalisista säästömahdollisuuksista (Karpinen 2003).

Sähköenergian osuuden kasvattaminen ja kaksin käytön vähentäminen on periaatteessa mahdollista (jos tuotantolinjojen koksilla toimivat sulatusuunit korvataan sähkökäyttöisillä), mutta korvauksen ilmastovaikutuksen laskeminen tässä yhteydessä on hyvin epävarmaa, koska arvio nettohyödyistä on riippuvainen laskenta-periaatteista. Tätä teknologiasubstituutiota ei tarkemmin tarkastella.

Vuorivillan kysyntä on seurannut selkeästi rakentamisen suhdanteita. Vuosina 1990 ja 2001 tuotantomäärä on ollut noin 120 kt, vuonna 2002 lähes 126 kt ja esimerkiksi vuonna 1993 noin 86 kt. Karkea ominaispäästökerroin vuorivillan valmistukselle on vuoden 2001 tuotantorakenteella noin 0,73 tCO₂/t, vuorivillaa. Päästötaso on laskettu yhteen neljältä koksiumia ja yhdeltä sähköuunia käyttävältä linjalta. Jos linjojen käyttöastetta lisätään, vähenee sähköuunin suhteellinen osuus, koska se toimii jo nyt käytännöllisesti katsoen maksimikapasiteetilla. Koksiumi linjoilla on käyttöasteessa vielä tehostamisen varaa, joten jos tuotantoa lisätään nykyisestä, CO₂-päästö suhteessa tuotettuun määrään nousee enemmän kuin nykytason keskiarvo koko Suomen tuotannosta laskettuna edellyttäisi. Tällaisessa tilanteessa ominaispäästökerroin nousee ja lisätuotannon CO₂-päästökerroin on 0,9 - 1,0 t CO₂/t vuorivillaa.

Parocin raaka-aineperäiset hiilidioksidipäästöt olivat tähän tarkasteluun saatujen tietojen perusteella noin 16,5 kt/a normaalikäytössä ja koksista peräisin olevat CO₂-päästöt noin 60,4 kt/a ja muista fossiilisista polttoaineista (neste- ja maakaasu) peräisin olevat päästöt 10,5 kt/a vastaten 120 kt/a tuotantotasoa. Vuoden 2002 vastaavat luvut ovat: tuotanto 126 kt/a, raaka-aine dolomiitista peräisin olevat hiilidioksidipäästöt 14 kt sekä fossiilisista polttoaineista 73 kt CO₂ eli yhteensä 87 ktCO₂/a.

Erilaisten eristemateriaalien käytön arvioidaan kasvavan rakennusten kiristyvien energiatehokkuusvaatimusten takia. EU:n uudet rakennusten vaatimukset nostavat rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia 30 %, mikä laskennallisesti lisää eristeiden tarvetta noin 15 %.

Omia päästöjään yhtiö voi lähinnä vähentää vain tehostamalla lämpöenergian talteenottoa, kierrätettävän fraktion osuutta lisäämällä sekä pitkällä aikavälillä korvaamalla koksiin perustuvaa kupoliuuniteknologiaa sähkösulatusteknologialla. Waste-injection -tekniikalla yhtiö saattaa saavuttaa Lappeenrannassa joidenkin satojen tonnien CO₂-päästövähennyksen. Energiankäytön tehostamismahdollisuuksista ei toistaiseksi ollut saatavilla kvantitatiivisia lähtötietoja. Siten on epäselvää, mitkä päästöjen vähennystoimista ovat realistisia vallitsevassa kilpailutilanteessa. Muut kuin jatkuva energiatehokkuuden parantaminen, jolla saatavat säästöt ovat enää vain marginaalisia, vaativat merkittäviä investointeja ja ajoittuvat siksi pitkälle aikavälille.

Rakennuksen 50 vuoden elinkaaren aikana 90 % kokonaisenergian kulutuksesta tulee talon ja veden lämmittämisestä, keittämisestä ja ilmanvaihdosta. Alle 10 % kokonaisenergian kulutuksesta tulee rakennusmateriaalien valmistuksesta, josta vain murto-osa eristeiden valmistuksesta.

5.4.3 Lasivillan valmistus, Saint-Gobain Isover Oy

Saint-Gobain Isover Oy kuuluu kansainväliseen Saint-Gobain-konserniin, joka toimii maailmanlaajuisesti 46 maassa. Saint-Gobain -konserni maailman suurin eristevalmistaja. Saint-Gobain Isover Oy:llä on Suomessa tuotantolaitokset Hyvinkäällä ja Forssassa. Niissä valmistetaan vuosittain noin 60 000 tonnia lasivillatuotteita lämmöneristämiseen ja äänenvaimennukseen.

Hyvinkään tehdas aloitti toimintansa 1982 ja käyttää prosessissa sähköä ja maakaasua. Hyvinkäällä on Saint-Gobainin TEL-kuidutustekniikkaa hyödyntävä laitos ja lisäksi tehtaalla valmistetaan puhallusvillatuotteita. Tehtaan päätuotteita ovat lasivillaeristeet erilaisiin lämmöneristystarkoituksiin. Hyvinkään ja Forssan lasivillatehtailla tarvittava fenoliformaldehydihartsit valmistetaan Hyvinkään tehtaan hartsinvalmistuslaitoksessa.

Tehtaan lasivillan valmistuksen tuotantokapasiteetti on ollut viime vuodet täydessä käytössä ja suurin tuotanto saavutettiin vuonna 2001, jolloin valmistettiin 44,4 kt lasivillaa. Laitoksen maksimi tuotantokapasiteetti nykyisellä laitteistolla on noin 46 kt/a. Fenoliformaldehydihartsin valmistuskapasiteetti (40 kt/a) on osittaisessa käytössä. Hartsia (kiintoainepitoisuus 52 %) on valmistettu viime vuosina noin 8,5 kt/a.

Lasivillalinjan osaprosessien käyntiajat vaihtelevat. Lasiuunin toiminta on jatkuvaa lukuun ottamatta 5 - 7 vuoden välein tapahtuvia uuniremontteja, jotka keskeyttävät toiminnan 4 - 8 viikon ajaksi. Myös lasivillalinjan toiminta on jatkuvaa. Kausittaiset vaihtelut tuotannossa ovat normaalisti pienet.

Forssan TEL-kuidutustekniikkaa hyödyntävä tehdas käynnistettiin 1972 ja se käyttää polttoaineenaan nestekaasua ja sähköä. Forssassa sijaitsee myös alakattolevyjien maalaus- ja laminointilinja. Forssan laitoksen sulatuskapasiteetti on noin 18 kt/a tasoa.

Saint-Gobain Isover Oy käyttää eristeiden raaka-aineena pääosin kierrätyslasia. Kierrätyslasin osuus vaihtelee vuosittain ja viimeisen viiden vuoden aikana kierrätyslasia on käytetty yli 180 000 tonnia. Vuonna 2002 yhtiön raaka-aineista noin 65 % oli kierrätyslasia. Eristeiden valmistus muodostaa tärkeän osan maamme lasinkeräysjärjestelmää. Lisäksi kierrätyslasin käyttö lasivillan raaka-aineena alentaa energian kulutusta valmistusprosessissa ja vaikuttaa tarvittavan dolomiitin määrään.

5.4.3.1 Lasivillan valmistusprosessi

Lasin valmistuksen osaprosessit ovat lasin raaka-aineiden käsittely ja sekoitus, raaka-aineiden sulatus lasiksi, lasin kuiduttaminen, aihion muodostus ja kypsytytys, jäähdytys, mitallistaminen ja pakkaaminen. Erillisinä prosesseina valmistetaan sideainetta sekä puhallusvillaa. Seuraava kuvaus kattaa Isoverin Hyvinkään tuotantolaitoksen prosessit. Hyvinkään tuotannon osuus on 70 - 75 % Isoverin kokonaistuotannosta.

Keskeiset valmistusprosessin vaiheet ovat

- Lasin raaka-aineiden sekoitus ja kuljetus
- Raaka-aineiden sulatus lasiksi
 - Raaka-aineiden sulatus tapahtuu sähkötoimisissa sulatusuuneissa.
 - Lasikanavan lämpötilaa ylläpidetään maakaasupolttimoin.
- Kuidutus
 - Kuidutuskoneiden tarvitsema lämpöenergia saadaan maakaasusta.
- Aihion muodostus

- Aihion kypsytytys
 - Kiertoilma lämmitetään maakaasulla.
- Jäähdytys, mitallistaminen ja pakkaaminen
- Sideaineen valmistus
- Puhallusvillan valmistus.

5.4.3.2 Lasivillan tuotantopanokset ja CO₂-päästölähteet

Isoverin tuotanto on vaihdellut suhdanteiden mukaan. Vuonna 2002 tuotanto oli noin 60 kt/a, josta Hyvinkään tehtaan osuus oli 43 kt.

Raaka-aineet

Lasivillan tuotannossa hyödynnetään suomalaista keräyslasia, jonka osuus tuotteen painosta on yli 60 %. Keräyslasi on pullo- ja tasolasia. Tekniset ja taloudelliset seikat huomioon ottaen tavoitteena on pitää keräyslasiin käyttö mahdollisimman korkealla tasolla. Valmistuksessa tarvittavasta soodasta ja dolomiitista aiheutuu raaka-aineperäisiä CO₂-päästöjä.

Energian käyttö

Lasivillatehtaan pääasialliset energianlähteet ovat sähkö ja maakaasu (Hyvinkäällä) ja sähkö sekä nestekaasu Forssassa. Aikaisemmin sähköuunien sijaan käytettiin kaasuuuneja. Merkittävimmät sähkön kulutuskohteet ovat sähköuuni, puhaltimet, paineilmakompressorit ja pumput. Noin puolet käytetystä sähköenergiasta menee lasin sulatukseen sähköuunissa. Maakaasun suurimmat kulutusyksiköt ovat lasikanava, kuidutus koneet ja kypsytysuuni. Lisäksi maakaasua käytetään kiinteistön lämmitykseen. Nestekaasua käytetään maakaasun varapolttoaineena tilanteissa, joissa maakaasua ei ole käytettävissä.

Jos tarkastellaan Hyvinkään ja Forssan tehtaita yhdessä on sähköenergian osuus ollut vuosina 1998–2002 48 - 51 % kokonaisenergian tarpeesta ja tarvittavien polttoaineiden määrä yhteensä 321 - 367 TJ/a. Tarkasteltaessa sähköenergian ominaiskulutuksia toimipaikoittain havaitaan niiden vaihdelleen vuosittain hieman ja olleen 2000-luvun alkuvuosina välillä 1,48 - 1,58 MWh/t, tuotetta. Vaihtelu johtuu pääasiassa tuotevalikoiman muutoksista. Vastaavana aikana polttoaineiden ominaiskulutukset tehtailla ovat vaihdelleet eri vuosina välillä 5,9 - 6,1 GJ/t, tuotetta. Ominaiskulutuksissa on havaittavissa voimakas tehostumistrendi 1990-luvun lopulla.

Hyvinkään positiiviseen kehitykseen vaikuttivat korkea käyntiaste ja parantunut aika-hyötysuhde. Forssan osalta viime vuosina saavutettu hyvä kehitys johtuu lähinnä tek-

nisistä muutoksista prosessissa vähemmän kuluttaviin laitteisiin (kompressorit, uuni) sekä parantuneesta käyntiasteesta.

Hiilidioksidin ominaispäästöt

Polttoaineperäiset hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2002 21,4 ktCO₂ vastaten 60,4 kt/a tuotantoa. Yhtiön toimittamien tietojen mukaan vuonna 1990 lähes vastaavalla tuotannolla hiilidioksidipäästöt olivat 47,7 ktCO₂.

Raaka-aineseosta kuumennettaessa tapahtuu karbonaatin hajoamista. Dolomiitti (kalsium- ja magnesiumkarbonaattien seos) vapauttaa hiilidioksidia muuttuessaan kalsium- ja magnesiumoksideiksi. Lisäksi hiilidioksidia vapautuu käytetystä soodasta. Jos näiden raaka-aineperäisten päästöjen suuruusluokkaa arvioidaan Hyvinkään tehtaan soodan ja dolomiitin käytön perusteella vuosilta 2000 ja 2001, saadaan koko tuotannolle arvio 2200 - 3200 t, hiilidioksidia raaka-aineista/a. Lasi-villatuotannon hiilidioksidin ominaispäästökertoimeksi saadaan näiden lukuarvojen perusteella 0,38 - 0,41 tCO₂/t, lasivillaa ja kokonaishiilidioksidipäästöiksi 24,6 kt/a, kun se vuonna 1990 oli yli 50 kt/a.

5.4.3.3 Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot ja potentiaaliarvio

Polttoainesubstituutio

Koska laitokset perustuvat sähkösulatukseen ja kaasumaisten polttoaineiden käyttöön, ei polttoainevaihoilla ole enää saavutettavissa juurikaan parannuksia kasvi-huonekaasupäästöihin. Vuonna 2003 annetussa uudessa ympäristöluvassa arvioitiin, että Hyvinkään tehdas on lähellä BAT-tasoa. Yhtiön Suomen tehtaat ovat energiankulutukseltaan lähes parhaita tehtaita mitä Saint-Gobainin eristetoimialalla on (Tollander de Balsch 2003).

Lämmön talteenottoa lasikanavan poistokaasuista on tutkittu, mutta lämmönvaihtimen asennus ei ole ollut taloudellisesti kannattavaa. Yhtiö voinee vähentää hie-man erilliseen lämmitykseen käytettävän maakaasun määrää. Tehtaan hukkalämpöä ei hyödynnetä kaukolämmön tuotantoon, koska se ei yhtiön mukaan ole osoit-tautunut kannattavaksi (Tollander de Balsch 2003).

Raaka-ainesubstituutio

Raaka-aineiden kierrätystä ja uusiokäyttöä on mahdollista lisätä. Kierrätyslasin käyttö vähentää dolomiitin ja soodan tarvetta ja energiankulutusta sulatuksessa. Dolomiitti ja sooda ovat välttämättömiä lisäaineita raaka-aineseoksessa, jotta sulatettaessa saadaan aikaiseksi sopivalla tavalla kuidutettava lasimassa.

Kierrätyslasin lisäkäyttöön liittyvä CO₂-vähennyspotentiaali on kuitenkin suuruusluokaltaan vähäinen, yhtiön mukaan alle 2 t CO₂/a ja mahdollisuus riippuu paljolti siitä, löytyykö riittävän puhdasta kierrätyslasia raaka-aineeksi. Hyvinkäällä lieinee mahdollista lisätä hieman kierrätyslasin osuutta. Kierrätyslasin käyttöä on kasvatettu lähes nykyiselle maksimitasolle (Tollander de Balsch 2003).

Isoverin tehtaiden energian käytön tehostamisella saavutettavissa oleva potentiaali on hyvin vähäinen. Molemmissa tehtaissa on siirrytty sähköuunien käyttöön ja ne ovat energiatehokkuuksiltaan toimialansa parhaimmista.

Kierrätyslasin lisäkäytöllä saavutettavissa oleva potentiaali on pieni, mutta se on mahdollista hyödyntää, jos kierrätyslasin puhtaus ja laatu pystytään pitämään korkealla tasolla. Kierrätyslasin saatavuus on Suomessa ongelmallista. Kierrätysjärjestelmien avaamista kilpailulle tulisi harkita, mikä saattaisi myötävaikuttaa toimintatapojen ja kustannustehokkuuden kehittymiseen, ja siten parantaa materiaalien kierrätysmahdollisuuksia.

5.4.3.4 Tulosityhteenveto ja johtopäätelmät

Isoverin tuotanto on nykyisin 1990-luvun alun tasolla. Eristeiden kysyntä noudattelee rakennusalan suhdanteita. Isoverin raaka-aineperäiset hiilidioksidipäästöt dolomiitista ja soodasta ovat noin 2,2 - 3,2 kt/a. Fossiilisista polttoaineista (neste- ja maakaasu, POK) peräisin olevat päästöt olivat vuonna 2002 21,4 ktCO₂ vastaten 60,4 kt/a tuotantotasoa. Nykyään sähkösulatusta hyödyntävän lasivillatuotannon hiilidioksidin ominaispäästökertoimeksi saadaan näiden lukuarvojen perusteella 0,38 - 0,41 tCO₂/t, lasivillaa ja kokonaishiilidioksidipäästöiksi 24,6 kt/a. Vuonna 1990 vastaava luku oli yli 50 kt/a.

Isoverin jäljellä oleva hiilidioksidipäästöjen vähentämispotentiaali on hyvin pieni. Yhtiö on läpikäynyt 1990-luvulla merkittävän teknologisen muutoksen ja siirtynyt kaasu-uuneista sähkösulatukseen. Omia päästöjään yhtiö voi enää vähentää vain hieman lämmön tehokkaammalla hyötykäytöllä sekä kasvattamalla kierrätyslasin käyttöä, joka sekin on lähes maksimitasollaan. Toistaiseksi on kuitenkin epäselvää, mitkä näistä toimista ovat kannattavia tai mahdollisia vallitsevassa kilpailutilanteessa. Suomalaisen eristeteollisuuden kannalta kilpailun odotetaan kiristyvän mm. Venäjältä suuntautuvan tuonnin vuoksi.

5.4.4 Lasikuidun valmistus, Ahlstrom Glassfibre Oy

Ahlstrom Oyj on globaali erikoistuotemarkkinoille suunnattujen kuitumateriaalien valmistaja. Karhulassa sijaitseva Ahlstrom Glassfibre Oy:n lasikuidun valmistus-

ta ja jatkojalostusta harjoittava yksikkö kuuluu päästökaupan mineraaliteollisuuden lohkoon. Yhtiöllä on toinen jatkojalostustehdas Mikkelissä, jonka tarvitseman lasikuidun valmistus tapahtuu pääosin Karhulan tehtaalla. Karhulan yksikön kolmen sulatusuunin yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti kuituna on alle 40 kt/a (suuruusluokka 100t/d).

1990-luku on ollut yhtiölle tasaisen kasvun aikaa huolimatta vuosikymmenen alun lamakaudesta, jonka vaikutukset olivat vähäiset. Viennin osuus on noin 92 % ja päämarkkina-alueena on Eurooppa. Tuotannosta menee tuulivoimateollisuuteen noin 30 % ja yli 30 % rakennusteollisuuteen. Tuulivoimateollisuus on keskeinen kasvusektori. Merkittävä osuus suuntautuu rakennusteollisuuteen.

5.4.4.1 Lasikuidun valmistuksen prosessikuvaus

Karhulan kuitulasitehdas valmistaa jatkuvassa vuorotyössä lasikuitumattoa, lasihuopaa, lasikuitulankaa, roving-lankaa ja lasikuituhaketta. Valmistusprosessi käsittää raaka-aineiden käsittelyn, lasin sulatuksen, kuidutuksen ja kuivauksen sekä jatkojalostuksena lasihuovan, lasikuitumaton ja erilaisten kelattujen tuotteiden valmistuksen.

Lasikuitutehtaalla on käytössä kolme sulatusuunia, jotka ovat rekuperatiivisia ilma- maakaasupolttimilla varustettuja lasiuuneja. Lasikuidun valmistuksen hiilidioksidipäästöistä suurin osa syntyy maakaasun käytöstä lasinsulatukseen ja vähäisemmässä määrin kuivaukseen. Korkeiden lämpötilojen johdosta on energian kulutus suhteellisen suurta. Lasiuunien hiilidioksidipäästöt ovat olleet 27 - 31 kt/a vuosina 1999–2002.

Lasikuitukakkujen kuivausunit ovat tunneleita, joiden läpi kuivattavat lasikuitukakut ja -puolat kulkevat vaunuissa kuljetinketjuun kiinnitettynä jaksoittain asetetun kuivausajan mukaisesti. Uunit on jaettu 15 lohkoon, joista kunkin lämpötila voidaan erikseen valita. Kuivausuunien lämmitysenergia saadaan suurimmaksi osaksi lasikanavien rekuperaattorien avulla poistokaasuilla lämmitetystä ilmasta ja lisäksi kukin uuneista on varustettu maakaasukäyttöisellä lämminilmakehittimellä. Lisäenergiana käytetyn maakaasun määrä on yhteensä n. 175 000 m³/a.

Lasikuituhuopaa valmistetaan neljä metriä leveällä ratamuotoisella lasihuopakoneella, jonka radanmuodostus koostuu suljetusta nestekierrosta. Lasihuovissa käytetyt sideaineet lisätään nestemäisessä muodossa haketetun kuidun eli lasikuituhakkeen sekaan kahdessa eri vaiheessa joko verholevittimellä tai filmiliimapuristimella. Rata kuivataan maakaasulämmitteisessä kiertoilmauunissa ja leijukuivaimessa 100 - 210 °C:ssa. Uunit on varustettu matalapainemaakaasupolttimilla, joita kiertoilmauunissa on 5 kpl ja leijukuivaimessa 4 kpl. Keskimääräinen maakaasun käyttö uuneilla on yhteensä 2 400 000 m³/a. Valmis kuivattu tuote rullataan keskiö-rullaimella rullamuotoon ja siirretään pakkauksen jälkeen valmistuotevarastoon.

Lasikuitumatto valmistetaan mattokoneella, jonka rata muodostetaan kuivatekniikalla. Sideaineet levitetään pulverimaisena tai nestemäisenä suljetussa kierrossa, jonka jälkeen matto kuivataan maakaasulla toimivassa uunissa. Uunin maakaasun kulutus on noin 624 000 m³/a. Ilmapäästöt syntyvät lasikuitumattoradan kuivauksessa, jolloin radassa oleva vesi haihdutetaan.

Roving-osastolla tehdään sekä roving-lankaa että lasikuituhaketta. Lanka tehdään lasikuitulangasta muokkaamalla ja hake lasikuitulankaa katkomalla.

Lasiuunit toimivat käynnistämisen jälkeen yhtäjaksoisesti 6 - 10 vuotta. Tänä aikana ei uunin konstruktion voida käytännössä tehdä mitään muutoksia, vaan kaikki uunien päästöihin ja savukaasujen käsittelyyn tehtävät muutokset on toteutettava uunien peruskorjauksien yhteydessä, jolloin uunit tyhjennetään lasimassasta ja jäädytetään kylmiksi. Koska uuneja on kolme, tapahtuvat peruskorjaukset eri vuosille porrastettuina.

5.4.4.2 Tuotantopanokset, hiilidioksidipäästöt ja ominaispäästökertoimet

Lasin raaka-aineina käytetään kvartsihiekkää, kaoliinia, poltettua kalkkia ja kolemaniittia sekä sulatuksen apuaineena kipsiä. Taso- ja pakkauslasin valmistuksesta poiketen kuitulasin valmistuksessa ei käytetä raaka-aineena soodaa eikä kalsiumkarbonaattia.

Nykyään Karhulan tehtaiden lasin kalsiumlähteenä käytetään poltettua kalkkia (alle 6 % raaka-aineista), joten lasinsulatusprosesseista ei toimipaikalla vapaudu raaka-aineperäisiä hiilidioksidipäästöjä.

Muista tehtaassa käytettävistä mineraaliraaka-aineista voi vapautua pieniä määriä hiilidioksidia, koska ne voivat sisältää karbonaatteja. Näitä raaka-aineita ovat kaoliini, kolemaniitti, kvartsihiekkä ja kipsi. Tässä yhteydessä tätä hyvin pieneksi arvioitua hiilidioksidilähdettä ei tarkastella yksityiskohtaisemmin.

Pienistä sulatusyksiköistä sekä korkeammalla sulavista raaka-aineista johtuen uunien energiatalous on selvästi ”isoja” lasiuuneja heikompi. Tarvittava energiamäärä vaihtelee riippuen uunista, mutta se on tyypillisesti kuitulaseilla välillä 2 - 8 kWh/kg, lasia (EC 2001b). Pääenergianlähteenä käytetään maakaasua. Lasinsulatuksen osuus koko tehtaassa maakaasun kulutuksesta on yli 70 % (Lehto 2003, Ahlstrom Glassfibre Oy).

Tehtaan pääenergianlähde on maakaasu, jonka käytön kokonaispäästöt vuosina 1999–2002 ovat vaihdelleen välillä 37,7 - 40,9 ktCO₂/a. Toimipaikan hiilidioksidipäästöissä ei ole ollut 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa kovin voimakkaita vaihteluita. Pidemmällä aikavälillä on havaittavissa selvä kasvutrendi.

5.4.4.3 CO₂-vähennyskeinot ja potentiaaliarvio

Raaka-aineiden substituutio

Lasikuidun valmistusprosessi on hyvin tarkka (kuidun lujuudet ja halkaisija) materiaalien epäpuhtauksien suhteen, joten heterogeenista kierrätyslasia ei voida prosessissa käyttää. Prosessi perustuu nk. e-lasin valmistukseen, jossa sähkön käyttömahdollisuudet ovat tasolasin valmistusta heikommalla lasin huonomman sähkönjohtavuuden vuoksi (joka on tärkeä ominaisuus useiden lopputuotteiden kannalta). Materiaalivaihdot vähähiilisempään suuntaan eivät ole yhtiön mukaan mahdollisia. Poltetun kalkin käytön päästöt ovat aiheutuneet elinkaaren aiemmassa kalasinointivaiheessa.

Polttoainesubstituutio

Lasinsulatusprosessin osalla on jo aikaisemmin tehty polttoaineen muutos raskaasta polttoöljystä maakaasuun. Biopolttoaineiden käyttö lasiuuneissa ei vaikuta mahdolliselta. Kiinteistön lämmityksen osalta polttoaine on teknisesti vaihdettavissa kaukolämpöön tai bioenergiaan. Kiinteistön lämpöenergian tarpeen tyydyttämiseen käytetään noin 9 % maakaasun kokonaiskulutuksesta.

Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi voidaan optimiolosuhteissa nostaa sähköboostingin määrää joitakin prosenttiyksikköjä kokonaisenergiasta.

Suuremmat muutokset edellyttäisivät merkittäviä teknologisia muutoksia. Sulatuksessa sähkön hyötysuhde on maakaasua selvästi parempi. Maakaasusulatuksen hyötysuhde jää noin 50 - 60 %:n tasolle, kun sähköenergiasta saadaan hyödynnettyksi lähes koko energiasisältö. Yhtiön mukaan maakaasu osallistuu kuitenkin lasinsulatuksessa kemiallisen prosessin aikaansaamiseen ja sen vaihtaminen ei siten ole teknisesti mahdollista. Valmistettavan e-lasin huonon sähkönjohtavuuden takia ei sataprosenttisen sähkösulatusteknologian hyödyntäminen ole mahdollista.

Energiankäytön tehostaminen

Lasiteollisuuden keskeisin keino päästöjen vähentämiseksi on energiatehokkuuden kasvattaminen. Toimipaikalla on toteutettu Motiva-konseptin mukaisen energia-analyysin ensimmäinen vaihe vuonna 1999. Tässä Kupari Engineering Oy:n laatimassa energia-analyysissä arvioitiin lämpöenergian säästöpotentiaaliksi 16 GWh/a. Ehdotettujen säästöohjelmien takaisinmaksuajat arvioitiin alle neljäksi vuodeksi.

Analyysin mukaan lämpöenergian kulutusta voidaan pienentää seuraavilla toimenpiteillä (Kupari Engineering Oy 1999):

- lämmitys- ja höyrykattiloiden sekä kuivausuunien palamisen säätö
- alkutuotannon uunien lämmön talteenotto pakokaasukattilalla
- alkutuotannon uunisalin yllilämmön lämmön talteenotto
- kuivausuunien jätelämmön hyödyntäminen varaston lämmityksessä
- huopakoneen poistokaasujen lämmön talteenotto
- huopakoneen palamisilman esilämmitys.

Teoriassa uunien savukaasuista olisi talteenotettavissa merkittävä lämpömäärä. Alueella on kaukolämpöverkosto, johon lämpöenergia voitaisiin periaatteessa siirtää. Lisäksi lämpöä voitaisiin hyödyntää ilman- ja materiaalien esilämmitykseen, mutta nämä toimenpiteet edellyttäisivät tutkimusta ja säätöjen uusimista.

Taloudellisen toiminnan kannalta lasinsulatuksessa ylläpidetään aina lähes täyttä kapasiteettia. Kapasiteetin käyttöasteen alentuminen tuotantokatkosten tms. ongelmien vuoksi johtaa ominaispäästöjen kasvuun.

Arvio hiilidioksidipäästöjen vähennyspotentiaalista

Karhulan toimipaikan hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2002 noin 38 kt, josta 9 % aiheutui kiinteistöjen lämmitykseen käytettävästä maakaasukäyttöisestä höyrykattilasta. Keskeinen keino päästöjen vähentämiseksi on energiankäytön tehostaminen. Mikäli yhtiö toteuttaisi energia-analyysissä esitetyt toimenpiteet, mahdollistaisivat ne suuruusluokaltaan 3,25 kt/a hiilidioksidipäästövähennyksen, mikäli säästö kohdistuisi maakaasusyöttöön. Tämä päästövähenitys olisi suuruusluokaltaan 8,6 % laitoksen kaikkien päästölähteiden yhteenlasketusta nykypäästöjen tasosta ja kuvaa teknistä parannuspotentiaalia. Tämä vähennysprosentti vastaa samalla suuruusluokaltaan toimipaikan kiinteistöjen lämmitykseen kuluvan lisäenergian tarvetta, joten yhtiöllä on mahdollisuuksia saavuttaa tämä 9 %:n päästövähenitystaso joko energiankäyttöään tehostamalla ja/tai hyödyntämällä lämmityksessä bioenergiaa.

5.4.4.4 Johtopäätelmät

Ahlstrom Glassfibre Oy:n Karhulan tehtaan tuotanto on kasvanut voimakkaasti 1990-luvulla ja kasvun odotetaan jatkuvan. Lasikuitutuotteiden markkinat kasvavat voimakkaasti mm. tuulivoimaloiden siipien osalta, joka on toimipaikalle merkittävä tuoteryhmä. Yhtiön kokonaistuotannosta yli 90 % menee vientiin.

Yhtiön hiilidioksidipäästöt syntyvät suurimmaksi osaksi maakaasun käytöstä tehtaan lasiuuneissa. Maakaasulle ei ole olemassa ilmastokysymyksen kannalta

parempaa prosessipolttoainevaihtoehtoa lyhyellä aikavälillä. Siirtyminen sähköuuniteknologiaan lasikuidun valmistuksessa on lähinnä teoreettinen vaihtoehto, eikä e-lasin kohdalla toistaiseksi mahdollinen.

Karhulan toimipaikan hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2002 noin 38 kt, josta 9 % aiheutui kiinteistöjen lämmitykseen käytettävästä maakaasukäyttöisestä höyrykattilasta. Toimipaikan karkea ominaispäästökerroin oli vuonna 2002 1,15 tCO₂/t, tuotteita (nettotuotantoa kohden laskettuna).

Keskeinen keino päästöjen vähentämiseksi on energiankäytön tehostaminen. Mikäli yhtiö toteuttaisi energia-analysissä esitetyt toimenpiteet (havaittu säästöpotentiaali 58 TJ), mahdollistaisivat ne suuruusluokaltaan 3,25 kt/a hiilidioksidipäästövähennyksen, mikäli säästö kohdistuisi maakaasusyöttöön. Tämä päästövähenitys olisi suuruusluokaltaan 8,6 % laitoksen kaikkien päästölähteiden yhteenlasketusta nykypäästöjen tasosta ja kuvaa ”teknistä parannuspotentiaalia”. Tämä vähenysprosentti vastaa samalla myös toimipaikan kiinteistöjen lämmitykseen kuluvan lisäenergian tarvetta, joten yhtiöllä voidaan katsoa olevan realistisia mahdollisuuksia saavuttaa tämä 9 %:n päästövähenyksen taso, joko energiankäyttöään tehostamalla tai muuttamalla lämmitykseen käytettävä polttoaine uusiutuvaksi energiaksi. Jatkossa tulisikin selvittää perusteellisesti Karhulan teollisuusalueen hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuudet tehtaiden omien kiinteistöjen lämmitykseen sekä alueen kaukolämpöverkon piirissä.

Energiankäytön tehostamistoimien vaikutukset jäänevät kuitenkin varsin vähäisiksi verrattuna tuotannon nopeaan kasvuun.

5.4.5 Lasipakkausten valmistus, Karhulan lasi Oy

Karhulan Lasi Oy on osa Owens-Illinoisin maailmanlaajuisesta organisaatiosta ja ainoa suomalainen lasipakkausten valmistaja. Karhulan lasitehtaalla valmistetaan erilaisia lasipakkauksia elintarvike-, alkoholijuoma-, lääke- ja virvoitusjuomateollisuudelle sekä panimoille. Toimipaikan uunien sulatuskapasiteetti on 300 t/d suuruusluokkaa.

5.4.5.1 Tuotantopanokset, hiilidioksidipäästöt ja CO₂-ominaispäästöarvio

Lasipakkaukset tehdään Karhulassa Owens-Illinoisin valmistusteknologialla. Karhulan Lasi Oy:llä on käytössä kaksi lasiuunina. Tehtaan tuotantokapasiteetti riippuu tuoteportfoliosta ja se on noin 75 kt/lasia/a. Maksimikapasiteettina voidaan pitää tällä hetkellä 80 kt/a. Vuonna 2002 tuotanto oli 66 kt/a lasia, koska tehtaalla oli 2 kk:n revisiojakso (Laurila 2003). Uuneja ajetaan kampanjoittain ja ne ovat yhtiöjaksolisesti käynnissä noin 7 vuotta, jonka jälkeen ne korjataan.

Lasin tärkeimmät raaka-aineet ovat hiekka, sooda ja kalsiumkarbonaatti, jotka sulatetaan lasiksi noin 1500 asteen kuumuudessa. Tehtaan pääenergianlähde on 1990-luvun alusta asti ollut maakaasu, joka on myös toimipaikan keskeisin päästölähde. Lasiuuneissa lisäenergianlähteenä on sähkö.

Puhdistetusta keräyslasista on tullut Suomessa tärkeä luonnonmateriaaleja korvaava raaka-aine lasipakkausten ja lasivillan valmistuksessa. Lasin kierrätyksellä voidaan vähentää jätteiden syntymistä ja ulkomaisten raaka-aineiden käyttöä. Sen käyttö säästää myös energiaa, sillä se sulaa helpommin kuin neitseelliset raaka-aineet. Kierrätysvirun käyttö vähentää sulatuksen energiantarvetta noin 2 %, jokaisesta 10 %:n kierrätysvirun osuuden lisäystä kohden (Laurila 2003). Tämä merkitsisi 50 %:n siruosuudella 10 %:n energiansäästöä suhteessa primääriraaka-aineista valmistettavaan lasiin.

Kirkkaan lasin tuotannossa kierrätysaste on korkeintaan 30 %, ruskeassa lasissa 55 - 60 % ja vihreässä lasissa 80 - 90 %. Vihreää lasia tuodaan Suomeen enemmän kun sitä pystytään hyödyntämään lasipakkausten valmistuksessa. Kierrätysastetta voitaisiin nostaa edelleen, mikäli vihreän lasin kysyntä sen mahdollistaisi. Kaiken kaikkiaan Karhulan tehtailla käytetään kierrätysvirua 30 - 50 %. Virun lähteinä ovat oman tuotannon rejekti, omien asiakkaiden palautukset sekä kuluttajalasi, jonka Forssan Uusioaines Oy puhdistaa ja seuloa hyödynnettäviin fraktioihin. Karhulan Lasi Oy voi hyötykäyttää myös tasolasi-fraktion, jonka osuus ei kuitenkaan voi ylittää 5 % (Laurila 2003).

Vuonna 2002 tehtaan tuotanto oli 56 kt/a, raaka-aineista aiheutui 7,8 ktCO₂/a ja maakaasusta 31,1 ktCO₂/a hiilidioksidipäästö kokonaispäästöjen ollessa tasolla 39 kt/a.

5.4.5.2 Arvio hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinoista

Toisen lasiuunin yhteyteen on rakennettu jätelämpökattila, josta talteenotettua lämpöä hyödynnetään tehdasalueen lämmitykseen. Yhtiö neuvottelee lämmön hyödyntämismahdollisuuksien parantamisesta.

Suomessa kerätty, värieroteltu ja puhdistettu lasi käytetään joko lasivillan tai uusien lasipakkausten valmistukseen. Pitkällä aikavälillä lasinkeräys- ja käyttö ovat olleet jokseenkin tasapainossa. Ongelmana on lähinnä ollut kerätyn lasin värijakauma. Valtaosa maahamme tuoduista lasipakkauksista on vihreää lasia, kun taas kotimainen teollisuus valmistaa enimmäkseen kirkkaita lasipakkauksia. Sama ongelma on myös monessa muussa Euroopan maassa: kirkkaasta sirusta on pula, mutta sekasirua on tarjolla liikaakin. Edullisinta olisi varmistaa, että kotimainen teollisuus pystyisi jatkossakin hyötykäyttämään myös värillisen lasin. Vihreässä lasissa voitaisiin käyttää 95 % kierrätyslasia. Jos vihreälle lasille pystytään luomaan mark-

kinoita, olisi mahdollista nostaa lasipakkausten kierrätysastetta. Toisaalta lasivil-latuotannossa pystytään nykyäänkin hyödyntämään värillinen lasi.

Sähkön osuutta sulatuksessa voidaan mahdollisesti hieman lisätä, mutta suurem-mat muutokset edellyttäisivät merkittäviä teknologisia muutoksia. Sulatuksessa sähkön hyötysuhde on maakaasua selvästi parempi.

Yhtiön kokonaistuotannosta noin 40 % menee vientiin ja enimmäkseen Venäjälle. Yhtiön hiilidioksidipäästöt syntyvät maakaasun käytöstä tehtaan lasiuuneissa. Maa-kaasulle ei ole olemassa ilmastokysymyksen kannalta parempaa polttoainevaihto-ehdot lyhyellä aikavälillä tehtaan prosesseissa. Siirtyminen sähköuuniteknologiaan lasin valmistuksessa on lähinnä teoreettinen ja vain hyvin pitkällä aikavälillä mah-dollinen vaihtoehto.

Yhtiö voinee tehostaa energiankäyttöä jonkin verran ja lämpöenergiaa on mah-dollista hyödyntää kasvavasti alueen kaukolämpöverkossa. Näiden toimien vaiku-tukset jäävät kuitenkin suhteellisen vähäisiksi.

5.5 Tiiliteollisuus

Suomalaisessa karkeakeraamisessa teollisuudessa on tapahtunut 1990-luvulla voi-makkaita muutoksia. Tiiliteollisuus on osa rakennusaineteollisuutta, jossa suhdan-nevaihtelut ovat olleet hyvin voimakkaita. Ala on voimakkaasti keskittynyt ja toi-mintaa on rationalisoitu ja tehostettu. Vuonna 2003 jäljellä on enää kuusi poltettuja tiiliä valmistavaa tehdasta.

Alan suurimmaksi toimijaksi Suomessa on yritysjärjestelyin kasvanut Wienerber-ger Oy Ab, jonka markkinaosuus Suomessa on hieman yli puolet poltetuista tiilis-tä. Wienerbergerin kanssa lähes yhtä suuri toimija on Tiileri-tehtaat (Seppälän Tii-li Oy, Keramia Oy, Ylivieskan Tiili Oy). Lisäksi poltettuja tiiliä valmistaa Raikko-nen Oy Loimaalla. Poltettujen tiilien valmistusmäärät ovat Suomessa eurooppa-laisittain vähäisiä.

Keski-Euroopassa tiilenvalmistus on merkittävä teollisuusala ja eniten tiilitehtaita on Saksassa, Iso-Britanniassa ja Italiassa. Monissa muissakin maissa tiilitehtaiden lukumäärä on viidenkymmenen suuruusluokkaa. Suomen markkinoiden kannalta tärkeä kilpailijamaa on Tanska (Nyström 2003). Keraamisten kattotiilien tuotan-toa ei ole Suomessa lainkaan. Suomessa valmistettavat kattotiilet ovat betonikat-totiiliä. Edellä mainittujen yritysten lisäksi Optiroc Oy Ab valmistaa kalkkihiekkatiiliä, joiden valmistus ei kuulu karkeakeraamiseen teollisuuteen eikä perustu polttoprosessiin.

5.5.1 Poltettujen tiilien valmistus

Wienerberger valmistaa tiiliä Korian ja Lappilan tiilitehtaissa. Lappilassa tiilen valmistus aloitettiin jo vuonna 1928 ja Koriolla 1951. Wienerbergerin Suomen tehtaiden tuotanto oli vuonna 1990 noin 80 miljoonaa tiiltä vuodessa, jolloin tehtaiden CO₂-päästöt olivat 39 kt/a tasolla. 1990-luvun alkupuolen laman jälkeen tuotanto laski nykyiselle 30 miljoonan tiilen vuositasolle. 1990-luvun loppuvuosina tuotanto oli parhaimmillaan 40 - 50 miljoonan tiilen suuruusluokkaa. Wienerbergerin Suomen tehtaiden yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti on noin 50 miljoonaa tiiltä vuodessa (Romu 2003), joka nykyisellä tuoteportfoliolla vastaisi noin 145 kt/a tuotantotasoa.

Hiilidioksidipäästöjen kannalta tiilenvalmistuksen keskeisiä prosesseja ovat tiilien kuivaus ja poltto, joissa molemmissa tarvitaan runsaasti lämpöenergiaa. Raaka-aineena käytetään suhteellisen pieniä määriä kalkkikiveä, josta syntyy prosessipäästöjä.

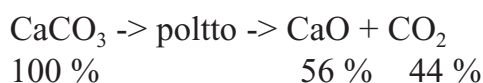
Tiiliuunin polttovyöhykkeen korkeimmat lämpötilat ovat tuotettavan tiilen tyypistä riippuen 1 000 - 1 100 asteen välillä. Tiilen kiertoaika tehtaassa prosessien läpi on 10 - 14 vuorokautta. Eri tuotelaaduille on laadittu hyvin tarkat poltto-ohjelmat ja uuni on hyvin tekninen kokonaisuus (yli 100 poltinta/suutinta). Punaiset ja keltaiset tiilet voidaan valmistaa kotimaisesta savesta, mutta vaaleat tiilet valmistetaan ulkomaisesta savesta, jonka polttolämpötila on hieman kotimaista korkeampi. Tiilitehtaan polttoprosessi on käynnissä aina. Polttouunin alasajoja ja uudelleen käynnistyksiä tapahtuu hyvin harvoin. Uuni saattaa toimia keskeytyksettä useita vuosia.

Tiilenvalmistuksessa tarvittavat raaka-aineet ovat

- savet, kotimainen ja ulkomainen savi vaaleisiin tiililaatuihin
- hiekka
- sahanpuru
- tiilimurske, tehdas pystyy hyödyntämään rejektin täysin
- kalkkifilleri (CaCO₃), aiheuttaa pienen CO₂-prosessipäästön
- väriaineet
- vesi.

Tiilenvalmistusprosessin raaka-aineet ovat ympäristönäkökulmasta ongelmattomia eikä tehtailta synny lainkaan merkittäviä jätevirtoja. Tietty tiilet sisältävät kalkkifilleriä (CaCO₃-pitoisuus 85 - 90 painoprosenttia), jota on käytetty vuoden 1997 jälkeen Wienerbergerin tehtailla vuosittain vaihtelevasti alle 10 kt/a. Aikaisempien vuosien tiedoissa on toimialajärjestelyistä johtuvia puutteita. Tiilen polton yhteydessä kalsiumkarbonaatin hiili vapautuu hiilidioksidina ja yhtä puhdasta CaCO₃

-tonnia kohden syntyy 0,44 tonnin hiilidioksidipäästö seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



Korian tiilitehdas käyttää pääpolttoaineenaan maakaasua, mutta kaikki muut Suomen tiilitehtaat käyttävät pääpolttoaineenaan kevyttä tai keskiraskasta polttoöljyä (Tempera 15 tai vastaava). Muutamissa tehtaissa käytetään lisäksi vähäisiä määriä nestekaasua, pääpolttoaineen ollessa keskiraskas polttoöljy.

5.5.2 Tiilenvalmistuksen hiilidioksidipäästöt

Vuonna 2002 Wienerbergerin tehtailta kalkkifillerin käytöstä aiheutui noin 2 kt/a prosessiperäinen hiilidioksidipäästöosuus. Toinen raaka-aineperäinen CO₂-päästölähde on ulkomainen Ball-Clay-savi, jossa on noin 2,5 % kivihiiltä, josta aiheutuu pienehkö noin 3 kt/a prosessipäästö (Romu 2003). Yhtiön keskeisin päästöosuus syntyy kuitenkin käytetyistä polttoaineista (noin 15,4 ktCO₂/a, vuonna 2002), joten kokonaispäästöt olivat 20,3 ktCO₂/a.

Wienerbergerin vuosina 1995–2002 käynnissä olleiden tehtaiden CO₂-ominaispäästöt tuotettua tiilitonnia kohden ovat vaihdelleet välillä 0,195 - 0,231 tCO₂/t, tiiliä.

Wienerbergerin lisäksi tiiliä valmistavat Seppälän suvun omistamat Tiileri-tehtaat (3 tehdasta: Keramia Oy /Kemiö, Seppälän tiili Oy /Tarvasjoki ja Ylivieskan Tiili Oy). Lisäksi noin 6,5 % markkinaosuuden verran (vajaa 4 milj. kpl) tiiliä valmistaa Raikkonen Oy Loimaalla.

Tiilerin hiilidioksidipäästöt vuonna 2002 olivat suuruusluokaltaan noin 21 kt/a jakautuen seuraavasti: 18,3 kt polttoaineista, 0,5 kt kalkista ja arviolta noin 2 kt savesta. Ominaispäästöt vaihtelivat välillä 0,179 - 0,232 tCO₂/t, tiiliä.

Saviperäisten päästöjen arviot perustuvat M. Romun (Wienerberger Oy) laskelmiin ja ne ovat vertailukelpoisella tavalla määritetyt. Laskelma perustuu koti- ja ulkomaisessa savessa olevan orgaanisen aineksen määrän arvioon, josta syntyy poltossa hiilidioksidia, joka ei kuitenkaan ole fossiilista alkuperää.

Selvityksen perusteella tiiliteollisuuden kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 44 kt/a suuruusluokkaa. Rakennusteollisuuden suhdannevaihtelut saattavat kuitenkin muuttaa vuosipäästöjä merkittävästikin. Kaiken kaikkiaan toteutetuista tiilitehtaiden toimipaikkakohtaisista ominaispäästötarkasteluista voidaan todeta, että

ominaispäästötaso 0,20 - 0,23 tCO₂/t, tiiliä kuvaa tiilenvalmistuksen nykytilannetta varsin hyvin.

5.5.3 Tiiliteollisuuden hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot ja potentiaali

Tiiliteollisuuden keskeisin polttoaine on polttoöljy. Ainoastaan Wienerbergerin Korian tehtaassa uunissa polttoaineena on maakaasu. Wienerberger on rationalisoinut voimakkaasti toimintaa ja ottanut käyttöön uutta teknologiaa. Korian tehtaassa tiiliuuni uusittiin vuonna 2000. Samalla yritys toteutti energiatarkastelun. Myös Lappilan tehtaasta on tehty energiataseselvitys (Enemi Oy, 2000). On hyvin todennäköistä, että muiden tiilitehtaiden ominaisenergiankulutukset ovat ainakin 5 % Korian tehdasta korkeampia ja jopa kymmenien prosenttien erot tähän nähden ovat mahdollisia.

Tiilenvalmistuksen energiatehokkuus on parantunut 1980-luvun tasolta (jopa 7 000 MJ/t,tiiliä) nykyiselle noin 2 600 MJ/t,tiiliä tasolle (Romu 2003). Tiilitehtaissa energiatehokkuus on voimakkaasti riippuvainen kapasiteetin käyttöasteesta. Suurten jatkuvatoimisten tiiliuunien (jopa 140 m pitkiä) alasajo ja uudelleenkäynnistys heikentävät tehtaisten energiatehokkuutta merkittävästi. Tehtaisten kapasiteetin käyttöasteet ovat viime vuosina olleet noin 70 %:n suuruusluokkaa. Usein korkeat kapasiteettiin käyttöasteet johtavat energia-, eko- ja pääomatehokkuuden kannalta vajaakapasiteettitilanteita parempiin lopputuloksiin. Uunien kestoikä voi olla jopa 40 vuotta, ja ne tarvitsevat hyvin vähän tuotantokatkoksia aiheuttavia huoltotoimenpiteitä (Romu 2003).

Viiden prosentin polttoainesäästö tiiliteollisuudessa vastaisi keskimääräisellä polttoainejakaumalla noin 2 kt/a CO₂-päästövähennemää. Luotettavan energiansäästöpotentiaalın arvioiminen ei tässä yhteydessä ollut kuitenkaan mahdollista, sillä kaikista tehtaista ei ollut saatavilla analysoituja ja vertailukelpoisia tietoja energiansäästömahdollisuuksista.

Kalkkikivestä aiheutuvat päästöt riippuvat kalsiumkarbonaatin seostusmäärästä, jotka vaihtelevat paljon eri tiilityypeissä.

Mikäli maakaasuverkko laajenee tulevaisuudessa Lahdesta Riihimäen suuntaan, voisi Lappilan tehdas vähentää päästöjään maakaasuun siirtymällä.

Puuhaketta on tietävästi käytetty polttoaineena Ruotsissa ja Saksassa eräissä tiilitehtaissa, mutta tuhkan pölyäminen ja sulamisvaara korkeissa lämpötiloissa aiheuttavat ongelmia. Uunien uusiminen biomassaa hyödyntäviksi edellyttäisi niiden rakentamista kokonaan uudelleen, jolloin kustannukset nousevat kannattamattomiksi.

Tiilenvalmistuksessa energiakustannusten osuus valmistuskustannuksista on 25 - 30 %:n suuruusluokkaa, joten energia on merkittävä tuotantopanous ja sen tehokas käyttö tärkeä kilpailutekijä (Romu 2003). Tiiliteollisuus on parantanut energiatehokkuuttaan ja vähentänyt ominaispäästöjään ensisijaisesti tehostamalla toimintaansa suurempiin ja modernimpiin yksiköihin.

Tulevaisuudessa CO₂-vähennyspotentiaalia lienee saavutettavissa lähinnä vanhempien laitosten lämmön talteenottoa tehostamalla, jossa 5 %:n tehostuminen vastaisi pientä 2 kt/a CO₂-säästöpotentiaalia. Tehostamismahdollisuudet ovat vähäisemmät niissä laitoksissa, joissa uunin jäähdetyslämpö käytetään jo kuivaamossa hyödyksi. Kuivaamosta ilma poistuu kosteana noin 30 - 40 asteen lämpöisenä ja sille tulisi etsiä hyötykäyttökohteita. Uusien kuivaamojen ja uunien rakentaminen on nykyisessä markkinatilanteessa kannattamatonta (Romu 2003).

Kaikista tiilitehtaista ei ollut saatavilla nykytilannetta vastaavia energiansäästöanalyysitietoja. Raskaan polttoöljyn käytön korvaaminen nestekaasulla johtaisi noin 5 kt/a päästövähennemään. On kuitenkin hyvin todennäköistä, etteivät nämä polttoainemuutokset tule käytännössä kyseeseen niiden heikon kustannustehokkuuden vuoksi. Tietyillä toimipaikoilla päästöjä voitaneen vähentää korvaamalla tehtaiden polttoöljyllä tapahtuva lisälämmitys lämpöenergian tehokkaammalla talteenotolla tai biopolttoaineilla.

5.5.4 Tulosityhteenvedo, näkymät ja johtopäätelmät

Tiiliteollisuuden vuoden 2002 tässä selvityksessä arvioitu päästötaso on noin 44 kt/a, joka aiheutui Wienerbergerin 20,4 kt/a, Tiileri-tehtaiden 20,8 kt/a ja Raikkonen Oy:n 3,1 kt/a vuosipäästöistä. Nämä päästötasot sisältäisivät myös kalkkikiviperäisen ja saviperäisen päästöosuusarvion, jotka yhteensä ovat noin 8 kt. Tämä tuotantotaso vastaisi nykyistä markkinan kokoa, joka on noin 60 miljoonaa tiiltä vuodessa. Vuonna 1990 tuotanto ja päästöt olivat huomattavasti 2000-luvun alkua suuremmat.

Tiiliteollisuudessa lähes kaikki polttoaineen käyttö liittyy tiilten valmistusprosessin lämpöenergian tarpeeseen ja erityisesti polttoprosessiin tiiliuuneissa. Eri tuotelaaduille on laadittu tarkat poltto-ohjelmat, uuneissa on kymmeniä (jopa yli sata) poltinta/suutinta ja savukaasut ovat suoraan kosketuksissa lopputuotteisiin. Näistä syistä johtuen tiiliuunien polttoaineiden vaihto vähähiilisemmiksi tai uusiutuviksi on lyhyellä aikavälillä vaikeaa tai jopa mahdotonta.

Suomen oloissa tavoitteellisena kokonaisenergiankäytön tasona voitaisiin toistaiseksi yksityiskohtaisempien selvitysten puuttuessa pitää noin 2 100 - 2 500 MJ/t tasoa riippuen valmistettavien tuotteiden laadusta. Tarkasteluissa kävi ilmi, että

kapasiteetin käyttöasteella on ratkaiseva merkitys energiatehokkuuden kannalta, mikä korostaa ”ei teknisten” tuotannonohjaukseen liittyvien seikkojen merkitystä. Tämän selvityksen perusteella ”hyväksi ominaispäästötasoksi” saataisiin noin 0,21 tCO₂/t, ”keskimääräisiä tiiliä”. Laskelmassa keskimääräisen tiilen kooksi on oletettu 2,9 kg/tiili, mikä on hyvin lähellä todellisia keskimääräisiä lukuarvoja suurimpien tiilenvalmistajien kohdalla. Tämä taso voi muuttua kuitenkin vuodesta toiseen riippuen tuoterepertuaarista sekä kapasiteetin käyttöasteesta. Yksityiskohtaisia tavoitteita määritettäessä tuoteportfolion vaikutukset ominaisenergiankulutuksiin tulisi ottaa huomioon. Ominaisenergiankulutuksen ja -päästöjen vertaileminen laitostasolla on vaikeaa ja jää osin subjektiiviselle tasolle lopputuotteiden, raaka-aineiden, polttoaineiden saatavuuden ja muiden yksityiskohdissa olevien eroavaisuuksien vuoksi.

Tämän selvityksen perusteella tiiliteollisuuden osuus rakennusaineteollisuuden hiilidioksidipäästöistä jää marginaaliseksi kokonaishiilidioksidipäästöjen (polttoaineet, kalkkikivi ja savi) ollessa vuonna 2002 44 kt/a suuruusluokkaa. Rakennusteollisuuden suhdannevaihtelut kuitenkin saattavat muuttaa vuositason päästöjä paljon.

Tiiliteollisuus on ensisijaisesti kotimarkkinateollisuutta ja tiilet kilpailevat esimerkiksi julkisivumateriaaleina puun, alumiinin, betonin, teräksen ja lasin kanssa. Viime vuosina erityisesti puu on kasvattanut markkinaosuuttaan. Tiilten kuljettaminen pitkiä matkoja heikentää kilpailukykyä muihin kilpaileviin materiaaleihin ja paikallisiin tuottajiin nähden. Vientipanostukset ovat kuitenkin pienessä kasvussa ja tiilimarkkinoiden odotetaan kasvavan muutaman prosentin vuosivauhdilla seuraavan 5 - 10 vuoden aikana (Romu 2003). Venäjän markkinoiden kehittyminen on tästä näkökulmasta keskeistä ja sinne onkin jo suuntautunut investointeja.

5.6 Kevytsoran valmistus, Optiroc Oy Ab

Optiroc Oy Ab:llä on Suomessa kaiken kaikkiaan 12 tehdasta: 3 kalkkihiekkatiili-tehdasta, 4 kuivalaasti- ja tasoitetehdasta, 3 Leca-harkkotehdasta, yksi Leca-soratehdas ja yksi sirotehiekkatehdas. Yhtiö on osa kansainvälistä HeidelbergCement konsernia. Optiroc on luopunut poltettujen tiilien valmistuksesta vuonna 2003, mutta valmistaa edelleen kalkkihiekkatiiliä. Kalkkihiekkatiilien valmistus ei perustu polttoprosessiin, vaan kemialliseen reaktioon CaO:n ja SiO₂:n välillä.

Optiroc Oy Ab:n Leca-kevytsoratehdas sijaitsee Kuusankoskella ja on ainoa kevytsoran valmistaja. Tehtaan tuotanto kuluu kokonaan kotimarkkinoilla. Oman tuonin osuus Virosta on noin 18 % ja kotimaan tuotannon osuus loput 82 %. Optirocin tuottamalla kevytsoralla on Suomen kevytsoramarkkinoista 85 %:n markki-

naisuus, loput kevytsorasta tuodaan muilta valmistajilta Venäjältä (6 - 7 %) tai Saksasta (8 %). Tehtaan toiminta on aloitettu vuonna 1951 ja ensimmäinen laajennus tehtiin vuonna 1963 ja toinen laajennus vuonna 1991. Nykyinen kapasiteetti/vuosi on noin 420 000 m³ (jatkuva kolmivuoro, 330 vrk/vuosi, 7 vrk/viikko, 24 tuntia/vrk) eli 123 500 t. Kuusankosken Leca-soratehtaan tuotantomäärät vuosilta 1999–2002 ovat vaihdelleet välillä 99 - 127 kt/a (Heliö 2003).

5.6.1 Kevytsoran valmistuksen prosessikuvaus, panokset ja päästöt

Leca-kevytsora on keraaminen, palamaton tuote, jonka pehmenemispiste on noin 950 °C ja sulamispiste noin 1150 °C. Leca-sora on kemiallisesti neutraalia, pH on noin 9. Kuusankoskella Leca-kevytsoraa valmistetaan 70 metriä pitkässä rumpu-uunissa polttoprosessilla.

Kevytsoran valmistus voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: (1) saven nosto, kuljetus ja käsittely, (2) varsinainen kevytsoran valmistus eli uunilinja sekä (3) valmiin tuotteen seulonta, varastointi ja uloslataus.

Tehtaalla on yksi teholtaan 17 MW:n tuoteuuni. Uuni on lähes 70 metriä pitkä, kaksiosainen pyörivä putkiuuni, jonka lämpötila polttovyöhykkeessä on prosessin aikana 1100 - 1200 °C. Uunin kapasiteetti on 1 500 m³ kevytsoraa/vrk. Polttovyöhykkeessä uunin lämpötila on 1100 - 1200 °C. Vanhempi uuni ei ole toimintakuntoinen.

Leca-soran raaka- ja polttoaineet ovat

- luonnonsavi, raaka-aine
- kalkkikivijauhe, raaka-aine
- käytetty valkaisumaa, raaka-aineena satunnaisesti (margariinin prosessijäte)
- saviöljy, raaka-aine
- kierrätysöljy, polttoaine
- raskas polttoöljy, polttoaine/raaka-aine
- kivihiili, polttoaine
- maakaasu, polttoaine
- sahanpuru, polttoaine.

Raaka-aineet syötetään saveen sekoitettuina uuniin. Polttoaineet syötetään uuniin polttimen kautta. Kalkkikivijauhe lisätään polttouuniin paisumisprosessin helpottamiseksi. Sekä raskasta polttoöljyä, valkaisumaata ja saviöljyä käytetään sekä poltto- että raaka-aineena.

Polttoaineena kevytsorauuneissa käytetään puolalaista kivihiiltä, pet-koksia (runsasrikkistä hiiltä), maakaasua, kierrätyspolttoainetta ja sahanpurua. Pääpolttoaine on kivihiihi. Uunin ylösajo tapahtuu maakaasulla. Lisäksi uunissa poltetaan jonkin verran kivihiihiä vastaavaa, mutta rikki- ja pitoisuudeltaan korkeampaa pet-koksia. Kuluvana vuonna on ollut koekäytössä jäteöljyistä valmistettua kierrätyspolttoainetta ja sahanpurua.

Hiilidioksidipäästöt

Polttoprosessin edistämiseksi uuniin lisätään kalkkikivijauhoa noin 3,5 kg/tuotetonni eli noin 420 t/a. Kalkki sitoo myös poltossa muodostuvaa rikkiä. Kalkkikivestä vapautuvan mineraalisen CO₂-päästön osuus on kuitenkin Lecasoran tapauksessa niin pieni (n. 185 t/v), että se jätetään toistaiseksi ottamatta huomioon. Myös savessa olevasta hiilestä saattaa aiheutua pieniä määriä CO₂-päästöjä. Tehdyn selvityksen mukaan alueen savi sisältää keskimäärin 1,1 paino-% saven kuivapainosta humusta. (Lauri Sahala, Geologian tutkimuskeskus, v. 1988: Korian alueen saviselvitys).

Tuotannon ominaiskulutukseksi vuosille 1996–1998 saadaan 3,2 - 3,6 GJ/t, tuotetta ja se sisältää POR:n raaka-ainekäytön. Vastaava ominaiskulutus vuodelle 1999 oli 3,9 GJ/t, tuotetta ja vuodelle 2001 3,5 GJ/t tuotetta.

Öljyjä käytetään prosessissa myös raaka-aineena. Kaikista fossiilisista poltto- ja raaka-aineista aiheutuvat päästöt olivat vuonna 2001 noin 32 ktCO₂ (Riitta Heliö 2003) vastaten 0,25 tCO₂/t, tuotetta.

5.6.2 Hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot ja päästöjen vähennyspotentiaali

Polttoainesubstituutio

Konsernin tavoitteena on tuottaa 50 % energiasta bio- ja kierrätyspolttoaineilla, joten kierrätyspolttoaineita ja bioenergiaa on tarkoitus jatkossa käyttää kasvavasti korvaamaan maakaasua ja kivihiihiä. Vuonna 2000 konserni oli saavuttanut keskimäärin 34 %:n tason, mistä bioenergiaa oli 12 % ja kierrätysenergiaa 22 %.

Polttoainesubstituutiolla, jossa bioenergian osuutta kasvatettaisiin vuoden 2001 noin 34 000 kuutiometrin (noin 15 %:n) tasolta 55 000 m³/a tasolle (25 % energiantarpeesta), saavutettaisiin kivihiihiä korvattaessa 4 kt/a CO₂-päästövähennys eli 13 %:n päästövähennys tehtaalla CO₂-päästöistä.

Bioenergian määrän lisääminen on kuitenkin vaikeaa, koska prosessiin sopivan bioenergian saatavuus on rajallinen. Tilanne on sama myös kierrätyspolttoainei-

den kohdalla. Lisäksi osuuden merkittävä kasvattaminen johtaa prosessitekniisiin ongelmiin. Biopolttoainetta voidaan vuoden aikana syöttää uuniin maksimissaan 55 000 m³. Vuonna 2001 biopolttoaineen määrä oli 33 750 m³, joten lisäysvaraa on noin 21 000 m³. Energiämäärältään tämä vastaisi 44 TJ eli kokonaisenergiatarpeeseen suhteutettuna noin 9 % (v. 2001 yhteensä 486 TJ). Bioenergian osuutta ei nykytekniikalla ilman mittavia lisäinvestointeja voida kasvattaa edellä mainittua 25 %:n osuutta suuremmaksi, joka on ”prosessitekkinen katto”. Tämä taso voisi toteutua optimitilanteessa, mikäli sopivan bioenergian saatavuus olisi täysin turvattu ja prosessi toimisi häiriöttä (Heliö 2003).

Tehdas osallistuu kymmenen eurooppalaisen kevytsoratehtaan energiakehitysohjelmia, missä tavoitteeksi on asetettu etsiä merkittäviä energiankäytön tehostamismahdollisuuksia. Tehtaiden lämmön talteenottoa tehostamalla olisi löydettävissä mahdollisesti jopa 10 %:n lämpöenergian säästöpotentiaali, joka voitaisiin hyödyntää kaukolämpönä (suuruusluokka 20 - 30 GWh/vuosi) eikä se siten vähennä Leca-soratehtaan omia päästöjä. Hanke savukaasujen sisältämän energian talteenotosta on käynnistetty syksyllä 2002 yhteistyössä paikallisen aluelämpö yhtiön kanssa (Heliö 2003).

Yhtiön tavoitteena on bioenergian osuuden kasvattamisen lisäksi korvata fossiilista energiaa kierrätyspolttoaineilla. Fossiilista alkuperää olevien kierrätyspolttoaineiden käyttö ei kuitenkaan vähennä päästökauppaan kuuluvien CO₂-päästöjen määrää. Kivihiilen kanssa käytetyn petro-koksin määrää rajoittaa rikkipitoisuus, minkä vuoksi sen käyttöosuus kivihiileen nähden on rajattu 20 %:n tasolle. Mahdollisia kivihiiltä korvaavia polttoaineita ovat erilaiset öljyt (jäteöljyt) ja kierrätyspolttoaineet (liuottimet). Tällä hetkellä selvitetään myös lihaluujauhon käyttömahdollisuutta polttoaineena. Lihaluujauho luokiteltaisiin uusiutuvaksi polttoaineeksi, eikä siitä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä sisällytetä inventaareihin. Kivihiiltä korvaavilta polttoaineilta edellytetään prosessin hyvän säädettävyyden varmistamiseksi sekä polttoaineen korkeaa homogeenisuutta että korkeaa energiasisältöä, jotta prosessin hallinta on mahdollista.

Mikäli tehtaalta löytyisi lämmön talteenottoa tehostamalla esimerkiksi 10 %:n lämpöenergian säästöpotentiaali, joka voitaisiin hyödyntää prosessipanosten esilämmityksessä ja/tai kaukolämpönä, vastaisi tämä potentiaali kivihiiltä korvatessaan 4,2 kt/a päästövähennemää.

Raaka-ainesubstituutio

Käytetystä raaka-aineesta savea on 98 %. Saviesiintymänä se on entistä merenpohjaa. Korvaaminen muulla materiaalilla ei ole käytännössä mahdollista. Saviöljynä on käytetty raskasta polttoöljyä, minkä korvaaminen kierrätysöljyllä on aloitettu.

Teknologiasubstituutio

Optiroc Groupissa on meneillään tutkimusprojekti ”uusi tuotantoteknologia”, jonka puitteissa on pyritty löytämään, testaamaan ja arvioimaan uusia tuotantomenetelmiä, joilla perinteinen pyörivään uuniin perustuva tuotantoteknologia voitaisiin korvata. Tutkimus olemassa olevista ja vasta kehitetyistä tekniikoista on poikkinut pitkän listan potentiaalisia tuotantomenetelmiä, joista kuitenkin suurin osa on jouduttu hylkäämään liian korkeiden investointi-, käyttö- tai energiakustannusten perusteella. Lisäksi Suomessa raaka-ainesaven korkea kosteuspiitoisuus on osoittautunut ongelmalliseksi, koska vaihtoehtoiset tuotantomenetelmät on suunniteltu kuivemmalle materiaalille. Tällä hetkellä näyttää siltä, että em. kostean saven käsittelyyn ei ole olemassa pyörivää rumpu-uunia parempaa tuotantomenetelmää.

Kuusankosken Leca-soratehtaan osalta CO₂-päästöjen ja energiakulutuksen vähentämiseen on parhaat mahdollisuudet tilanteissa, joissa pyritään vähentämään energiahukkaa uunin kuoren läpi ja ottamaan talteen savukaasun sisältämä energia. Lämpöhukka uunin kuoren läpi on noin 20 % (15 % uunin poltto-osassa ja 5 % uunin kuivatusosassa) ja uusi polttomenetelmä kykenisi vähentämään kyseistä energiahukkaa. Savukaasun lämpöenergia on noin 30 % käytetystä kokonaisenergiasta ja kondensaatioenergia noin 40 %. Tämä viittaa siihen, että lämmön talteenotto savukaasusta olisi tuottoisaa ja vähentäisi myös CO₂-päästöjä.

Biomassan kaasutusteknologian soveltuvuutta kevytsorauunin energialähteenä on alustavasti tutkittu, ja sen ei ole todettu olevan taloudellisesti houkutteleva vaihtoehto tällä hetkellä. Teknisiä ratkaisuja biomassan kaasutuksesta saatavan energian syöttämiseen prosessiin on alustavasti tutkittu yhdessä VTT:n kanssa (Heliö 2003).

5.6.3 Tulosityhteenvedo ja johtopäätelmät

Optiroc Oy Ab:n Leca-kevytsoratehtaan CO₂-päästöt vuonna 2001 olivat 32 kt/a vastaten 127 kt/a tuotantotasoa. Hiilidioksidipäästöt ovat vaihdelleet 1990-luvulla 25 - 43 kt/a välillä. Tähän tulisi tarkoissa laskelmissa lisätä mahdollisesti vielä raaka-aineista (kalkkikivijauhe, savi) aiheutuvat CO₂-päästöt. Kalkkikivijauheesta aiheutuu noin 185 tonnin vuosipäästö ja saven sisältämästä humuksesta suurempi, mahdollisesti jopa 1 kt:n suuruusluokkaa oleva päästöosuus, joka ei epävarmana sisälly em. lukuihin. Humusta ei toisaalta voitane kiistatta pitää fossiilisena hiilipäästönä. Laitoksessa raskasta polttoöljyä ja kierrätysöljyä käytetään myös prosessin raaka-aineena, mistä aiheutuu vuosittain 2 - 3 kt/a prosessiperäinen CO₂-päästöosuus, joka on sisällytetty lukuarvoihin.

Keskimääräinen CO₂-ominaispäästökerroin leca-soran valmistukselle oli vuonna 2001 0,25 tCO₂/t, tuotetta ja sähköenergian ominaiskulutus oli 57 kWh/t, tuotetta. Panosenergiaa prosessi tarvitsee noin 3,5 GJ/t.

Kivihiiltä bioenergialla korvaamalla yhtiö voi optimaalisessa tilanteessa vähentää päästöjään noin 4 kt/a. Laitoksella saattaa olla mahdollisuuksia energiankäytön tehostamiseen ja mainittua suurempaan bioenergian lisäkäyttöön.

5.7 Hienokeraaminen teollisuus

5.7.1 Kylpyhuonekeramiikan valmistus, IDO Kylpyhuone Oy

Tammisaarella sijaitseva Ido Kylpyhuone Oy:n tehdas valmistaa kylpyhuonekeramiikkaa ja -kalusteita, asennustarvikkeita, suihkuseiniä ja kabinetteja sekä muita hygieniatiloja. Tammisaaren tehdas on ainoa kylpyhuonekeramiikan valmistaja Suomessa. Keraamiset tuotteet muodostavat suurimman osan toimipaikan tuotannosta, josta vientiin menee 51 %.

Tehtaalla hiilidioksidipäästöjä syntyy kattilalaitokselta ja tuotantoprosessin uuneista. Kattilalaitos käyttää polttoaineenaan raskasta polttoöljyä (vuonna 2002 71,9 TJ) ja tuotantoprosessi nestekaasua (butaania), jonka määrä vuonna 2002 oli 120 TJ. Luvut vastaavat 10,1 kt:n eli 873 400 kappaleen vuosituotantoa (Nyström 2003).

Vuodesta 1998 toimipaikan tuotanto on ollut melko tasaista noin 10 kt/a suuruusluokkaa. Keskimääräinen päivätuotanto jää tasolle 27,4 t/d.

Toimipaikan kokonaisenergiankäyttö on kasvanut 10 vuoden tarkastelujaksolla noin 18 %. Erityisesti sähköenergian käyttö on kasvanut. Tuotettua tonnia kohden energiankäytön kasvu on kuitenkin ollut vain 5 %:n suuruusluokkaa.

Kattilalaitoksen käyttämästä raskaasta polttoöljystä aiheutui vuonna 2002 5440 tonnin hiilidioksidipäästö ja tuotantoprosessin butaanista 7730 tCO₂/a energiati-laston kertoimilla laskettuna. IDO:n vuosipäästöiksi saadaan siten 13168 tCO₂/a eli noin 1,3 tCO₂/tonni lopputuotteita.

Kylpyhuonekeramiikan valmistuksessa ei voida korvata raaka-aineita vähäpäästöisemmällä. Kattilat käyttävät raskasta polttoöljyä polttoaineenaan, joten polttoainesubstituutio uusiutuvan energian suuntaan voi tulla pitkällä aikavälillä mahdolliseksi. Polttouunien butaanikäytön vaihtaminen on todennäköisesti hyvin vaikeaa, mutta mikäli maakaasua olisi tulevaisuudessa saatavilla (teoreettinen

tilanne), voitaisiin polttoainevaihdolla saavuttaa 11 %:n suuruusluokkaa oleva CO₂-vähennys.

Ido Kylpyhuone Oy:n tuotanto on ollut 1990-luvun ja 2000-luvun alun melko tasaista. Yhtiön CO₂-päästöt ovat vaihdelleet 11,5 ja 13,2 kt/a (2002) välillä. Päästöt aiheutuvat POR:n ja nestekaasun (butaani) käytöstä. Tuotannon ominaispäästökertoimeksi saatiin 1,3 tCO₂/tonni lopputuotteita. Omia päästöjään yhtiö voi lähinnä vähentää muuttamalla kattilalaitoksen biopolttoaineita hyödyntäväksi (-5,4 kt, CO₂/a) tai energiatehokkuutta parantamalla (lämmön tehokkaampi hyötykäyttö). Maakaasun käyttömahdollisuudet riippuvat jakeluverkoston kehittymisestä. Toistaiseksi on kuitenkin epäselvää, mitkä näistä toimista ovat kohtuukustannuksin toteutettavissa.

5.7.2 Keraamisten laattojen valmistus, Pukkila Oy Ab

Pukkila Oy Ab valmistaa keraamisia seinä- ja lattialaattoja. Pukkila Oy Ab kuuluu Italialaiseen Ricchetti Group:iin. Koko konsernin tuotantokapasiteetti on noin 50 miljoonaa neliometriä laattaa vuodessa (Saranpää 2003). Tällä hetkellä Pukkila Oy Ab valmistaa laattoja 1986 rakennetussa Turun tehtaassa, jonka kapasiteetti on noin miljoona neliometriä laattaa vuodessa. Tuotanto koostuu lasitetuista seinä- ja lattialaatoista, joita valmistettiin 949 115 m² vuonna 2002.

Laattojen valmistuksessa käytetään energialähteinä nestekaasua ja sähköä. Nestekaasun kulutus vuonna 2002 oli 1610 t ja sähköä kului noin 5,9 GWh. Lisäksi erilaisia raaka-aineita (esim. savea, kiviainesta, frittejä) kulutetaan tuhansia tonneja. Nestekaasua käytetään myös kiinteistöjen lämmitykseen lämpökeskuksen polttoaineena 358 t, joka sisältyy kokonaiskulutukseen. Raaka-aineina käytettiin savea noin 5700 t (hiilipitoisuus 0,1 - 0,6 %), wollastoniittia (CaSiO₃) noin 3200 t, maa-sälpää 400 t ja muita raaka-aineita noin 1700 t (esim. laattamurske).

Saven sisältämästä hiilestä syntyy CO₂-päästöjä noin 125 t/a ja nestekaasusta 4516 t/a (yhtiön ilmoitus). Tilastokeskuksen kertoimilla nestekaasun CO₂-päästökäsi saataisiin 4703 t/a. Kalkkikiveä Pukkila ei käytä raaka-aineena. CO₂-päästöt syntyvät suurimmaksi osaksi polttouunien lämpöenergiantarpeesta.

Laattojen valmistuksessa ei voida korvata raaka-aineita vähäpäästöisemmillä. Myöskään laattojen kierrätys ei onnistu, koska niitä ei käytännössä kyetä irrottamaan hyvälaatuisina. Polttouunien kaasumaisten polttoaineiden vaihtaminen on vaikeaa eikä bioenergiavaihtoehto ole realistinen. Polttoainesubstituutio voi kuitenkin tulla kyseeseen, jos maakaasuverkko rakennetaan Turkuun. Tällöin tehtaan nykyinen nestekaasun tarve voitaneen korvata maakaasulla, jolloin saavutettaisiin

noin 11 %:n CO₂-päästövähennemä energiayksikköä kohden. Vuositasolla tämä nestekaasusta maakaasuun substituutio vastaisi 520 tCO₂/a. Toimipaikan vuosipäästötaso on 4830 tCO₂/a.

Yhtiö on omilla toimenpiteillään saanut aikaan energiansäästöä. Viimeisimmän uunin poltinvaihdon avulla saavutettiin noin 20 %:n energiasäästö uunin osalta. Uunin poistoilmaa hyödynnetään osittain laatan kuivatuksessa ennen uunia (Saranpää 2003). Turun seudulla ei ole saatavissa maakaasua tai biokaasua lähivuosien aikana, mutta yhtiö seuraa tilanteen kehittymistä.

Rakennusaineita tuottavan teollisuudenalan tuotanto ja päästöt vaihtelevat hyvin voimakkaasti eri vuosina riippuen rakentamisen aktiviteeteista. Pukkilan hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2002 4,8 kt, joka vastaa keskimäärin 5,06 kgCO₂ yhden neliömetrin laattatuotannolle.

5.7.3 Posliini- ja lasituotteet, Iittala Oy Ab

Iittalan, Nuutajärven ja Humppilan lasitehtaat

Iittalan tehtaalla on kaksi lasiuunia, joiden yhteenlaskettu kapasiteetti on periaatteessa 20 t/d suuruusluokkaa, mutta joiden tuotanto käytännössä on selvästi alle 20 t/d. Nuutajärven ja Humppilan lasitehtaiden kapasiteetti on Iittalaa pienempi.

Arabian posliinitehdas

Tehtas kuuluu hienokeraamiseen teollisuuteen ja käyttää polttoaineenaan maakaasua. Arabian posliinituotetehtaalla on kaksi tunneliuunia, joiden kapasiteetti alittaa 75 t/d.

5.7.4 Muurlan lasitehtaat

Tehtaan sulatuskapasiteetin maksimi on 4,5 t/d ja käytännön tuotantotasoa 2,5 t/d, joka jää selvästi päästökauppadiirektiivin kapasiteettirajan alapuolelle.

5.7.5 Kermansavi Oy

Tuotanto on 2 milj. kpl päivässä, polttopäiviä 300 ja tuotantoarvio on noin 7 t/d, mikä alittaa selvästi 75/d päästökauppajärjestelmän kapasiteettirajan. Uunien polttoaineena on nestekaasu, mikä on hienokeraamisen teollisuuden keskeisin polttoaine silloin, kun maakaasua ei ole saatavilla.

5.7.6 Pentik

Pentik on ilmeisesti uunikapasiteetiltaan hieman Kermansavea pienempi ja voitaneen siten jättää päästökauppajärjestelmän ulkopuolelle.

5.7.7 Kultakeramiikka Oy

Kultakeramiikka on suomalainen kodin käyttökeramiikan valmistaja, jonka tehdas sijaitsee Pihlputaalla. Tuotevalikoimaan kuuluvat täydelliset ruoka- ja kahviastiat sekä lisäksi koriste-esineitä. Tuotteet valmistetaan kivitavarasta, jonka polttolämpötila on 1265 °C. Yhtiö on pienin tässä mainituista hienokeraamisen teollisuuden yrityksistä ja siten voitaneen jättää päästökauppajärjestelmän ulkopuolelle.

5.8 Yhteenveto, mineraalisektorin poltto- ja raaka-aineiden käyttö ja hiilidioksidipäästöt

Rakennusaineteollisuudessa suhdanneriippuvuus ja tuotantomäärien vaihtelu on ollut voimakasta ja 1990-luvun laman vaikutukset näkyivät voimakkaasti hiilidioksidipäästöjen pienentymisenä. Suomalainen rakennusaineiden valmistus on monien tuotteiden kohdalla keskittynyt muutamalle yhtiölle, jotka ovat monikansallisten teollisuuskonsernien tytäryhtiöitä. Rakennusaineteollisuuteen kuuluvat tässä selvityksessä tarkastellut sementin, kalkin, eristeiden sekä karkeakeraamisten rakennusaineiden ja -tuotteiden valmistus. Mineraaliteollisuuteen kuuluu myös globaaleja vientiyhtiöitä, kuten tasolasin ja lasikuidun valmistus, joiden tuotanto erityisesti vuosikymmenen lopun vuosina näytti säilyneen melko tasaisena. Venäjän suhtautuminen ilmastopoliittiseen vaikuttaa voimakkaasti suomalaisen rakennusaine- ja rakennustuoteollisuuden kilpailuedellytyksiin. Selvityksessä havaittiin Venäjän merkityksen kasvu sekä uusinvestointeja houkuttelevana kohteena, että kasvavana alueena viennin kannalta.

Mineraalisektorin erityispiirre muihin päästökaupan teollisuusektoreihin nähden on mineraaliraaka-aineista peräisin olevien hiilidioksidipäästöjen merkittävä osuus (56 %) kokonaispäästöistä. Keskeisin hiilidioksidipäästöjen lähde on kalsiumkarbonaatti (CaCO₃), jonka poltossa sementti-, kalkki-, tiili- ja lasiteollisuuden uuneissa vapautuu merkittävä CO₂-päästö määrä.

Yhteenvetona tarkastelusta voidaan havaita, että mineraaliteollisuuden päästökaupparajauksen piiriin kuuluvien yritysten toimipaikkojen polttoaine-energian

käyttö on noin 11,1 PJ/a, raaka-aineperäiset hiilidioksidipäästöt (jotka enimmäkseen aiheutuvat kalsiumkarbonaatin hajoamisesta polttoprosesseissa) yhteensä 1,11 milj. tonnia CO₂ vuodessa ja polttoaineista peräisin olevat päästöt noin 0,89 milj. tonnia vuodessa. Raaka-aineperäiseen päästöön on erittäin vaikea vaikuttaa ja mahdolliset vähennyskeinot löytyvät rakennusteollisuuden kohdalla tuotesubstituution ja materiנקäytön tehostamisesta, joita tässä selvityksessä ei voitu perusteellisesti tarkastella.

Mineraalisektorin kokonaishiilidioksidipäästöt vuoden 2002 tietotasolla olivat tämän selvityksen mukaisesti noin 1,99 milj. tonnia. Päästöiltään kolmen suurimman yrityksen osuus, ottaen huomioon vuonna 2003 toimintansa aloittaneen Röytän kalkkitehtaan, oli 1,63 Mt CO₂ eli 82 % toimialan kokonaispäästöistä. Tuotantokapasiteetin käyttöaste oli vuonna 2002 84 %:n suuruusluokkaa, ja sen muutoksilla havaittiin olevat merkittävä vaikutus prosessien energiatehokkuustasoihin.

Toimipaikkakohtaisista tarkasteluista laadittiin ominaispäästöindikaattorikäyriä, joista voitiin arvioida vuotuisten vaihteluiden suuruutta. Yleiskuvaksi muodostui, että ominaispäästöt ovat vaihdelleet suhteellisen vähän vuosina 1998–2002.

Taulukko 18. Tarkasteltujen toimipaikkojen tuotanto, tarkasteluvuosi, kokonaishiilidioksidipäästöt sekä poltto- ja raaka-aineista aiheutuneet päästöosuudet. Päästölukuarvot ovat vain suuntaa-antavia ja tulevat tarkentumaan päästökaupparjestelmän yhteydessä ja laskentasääntöjen kehittyessä.

Yritys	Toimi- paikat	Tied. Vuosi	Kapas. kt/a	Tuot. kt/a	Lopputuote	Sähkö GWh/a	p.aineet TJ/a	ktCO ₂ Raak.ain	ktCO ₂ Polt.ain	kt/CO ₂ Yht.	Polttoaineet
Finnsementti Oy	Parainen	2002	750	769	Sementti	137	3955	517	376	893	Kh, Pet-koksi, Kumi, Jäteöljyt
Nordkalk Oyj	Lappeenranta	2002	480	425	Poltettu kalkki	39	2890	454	226	680	Kh, koksi-k, POR, POK, Mk, Nk
	Lohja	2001	230	600							
	Raahe		255								
	Lappeenranta		197								
	Kerimäki		60								
	Parainen		65								
SMA Saxo Mineral Oy	Tornio	2003	180	100	Poltettu kalkki	?	400	79	31	110	POR, POK, kierrätysöljyt
Pilkington Oy	Lahti	2002	60	60	Tasolasit	29	612	9.5	34.5	44	Mk, POK
Karhulan Lasi Oy	Karhula	2002	80	66	Lasipakkaukset	41	555	7.8	31.1	38.9	Mk
Ahstrom Kuitulasi Oy	Karhula	2002	40	32	Lasikuitutuott.	62	673	0	37.7	37.7	Mk
Saint Gobain Isover Oy	Hyvinkää	2002	70	60	Lasivillatuott.	94	367	3	21.4	24.6	Mk, Nk, POK
	Forssa										
Paroc Oy	Lappeenranta	2002	160	45	Kivivillatuott.	?	820	14	73	87	Koksi, Nk, Mk, Bk, POK
	Parainen		57								
	Oulu		24								
Wienerberger Oy	Koria	2002	145	85	Tiilet	8.8	217	15.4	5	20.3	Kr-Pö, Mk, Nk
	Lappila										
Seppälän tiili Oy	Tarvasjoki	2002	150	97	Tiilet	?	243	2.5	18.3	20.8	Kr-Pö, POR, Nk
Ylivieskan tiili Oy	Ylivieska										
Keramia Oy	Kemiö										
Optiroc Oy	Kuusankoski	2002	124	121	Kevytsora	7.3	376	3	29	32	Kh, Mk, Jäteöljyt, POR, POK, puru
13 yhtiötä	22 toimipaik.	01-03	3046	2541		418	11108	1105	883	1988	

Sementtiklinkkerin tuotannossa BAT-taso on 3 GJ/t, klinkkeriä ja poltetun kalkin tuotannossa 4 GJ/t sekä 1,1 tCO₂/t, CaO osoittavat uusimman saatavilla olevan

teknologin tason. Tiiliteollisuudessa kokonaisenergiankäytön BAT-taso sijainnee suuruusluokassa 2 100 - 2 500 GJ/t, tiiliä riippuen tuoteportfoliosta. Lasikuidun ominaispäästö on laskettu nettotuotannolle. Tarkempia tietoja löytyy toimintokohdaisista luvuista.

Taulukko 19. Keskeisten mineraaliteollisuuden toimipaikkojen loppu- (ja väli- tuotteita) kohden laskettuja suuntaa-antavia CO₂-ominaispäästö-indikaattoreita muodostettuna usean toimipaikan tiedoista.

Tuote ryhmä	Sähkö MWh/t	PA-ene. GJ/t	tCO ₂ /t, tuotetta Raak.aineista	tCO ₂ /t, tuotetta Polt.aineista	tCO ₂ /t, tuotetta Yhteensä
Sementti	0.11	3.3	0.43	0.31	0.75
Sem.klinkkeri	0.14	4.05	0.53	0.38	0.91
Poltettu kalkki	0.07	4.8	0.79	0.38	1.17
Poltettu kalkki	?	4.0	0.79	0.31	1.10
Tasolasi	0.48	10.2	0.16	0.58	0.73
Lasipakkaukset	0.62	8.4	0.12	0.47	0.59
Lasikuitu	1.94	21.0	0.00	1.17	1.17
Lasivilla	1.57	6.1	0.05	0.36	0.41
Kivivilla	?	6.5	0.11	0.58	0.69
Tiilet	?	2.5	0.03	0.18	0.22
Kevytsora	0.06	3.1	0.02	0.24	0.25

Lisäksi on syytä huomata, että taulukon 18 ominaislukukertoimet kuvaavat toimipaikkojen vuositason tietoja ottamatta huomioon esimerkiksi jatkojalostusketjun pituudessa olevia eroja esim. lasiteollisuuden toimipaikoilla. Näitä karkeita kertoimia voidaan kuitenkin käyttää arvioitaessa tuotannon mahdollisen kasvun heijastuksia hiilidioksidipäästöihin ja energiankulutukseen.

Sementtiteollisuuden toimipaikkatason ominaispäästöjen tarkasteluista selvisi, että ominaispäästöjen laskennassa on monia vaihtoehtoja riippuen laskentaperiaatteista ja rajauksista. Paraisten toimipaikalla ominaispäästöjen määrittäminen monimutkaistui, koska toimipaikalle ostetaan välituotteita (ostoklinkkeriä ja tiettyjä sementtilaatuja) ja nämä hankinnat vaikuttavat lopputuotteen ominaispäästöihin melko voimakkaasti. Ostettujen ”välituotteiden” määrät voidaan haluttaessa joko ottaa tai jättää ottamatta huomioon tuotantoon suhteutettujen ominaispäästöjen laskennassa. Lisäksi koko toimipaikka voidaan tarkastella kokonaisuutena ottamatta kantaa lainkaan ostettujen välituotteiden määriin ja suhteuttamalla toimipaikan toteutuneet kokonaispäästöt lopputuotteiden (eri sementtilaadut) yhteenlaskettuun määrään. Myyty määrä poikkeaa kuitenkin valmistetusta määrästä mm. varastoinnin vuoksi.

Sementin valmistuksessa suurin osa CO₂-päästöistä syntyi sementtiklinkkerin valmistuksesta kiertouuneissa, joten myös ominaispäästöjen laskenta voidaan kohdistaa kiertouunin toimintaan laskemalla CO₂-päästöt toimipaikalla tuotettua klinkkeritonnia kohden. Klinkkeri on kuitenkin sementin valmistuksen välituote eikä lopputuote. Lappeenrannan toimipaikalla lopputuotteisiin ei 1990–2002 sisältynyt ostettua klinkkeriä eikä sementtiä. Ominaispäästöjen laskennassa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että toimipaikalla sijaitsee kaksi uunia, joiden ominaispäästöt poikkeavat toisistaan ja uuneilla on selvä ajojärjestys toisiinsa nähden. Toimipaikan molempien uunien yhteenlaskettu ominaispäästö on siten tuotantomäärästä riippuvainen. Tämän seikan todettiin vaikuttavan myös vuorivillan ominaispäästötasoihin. Sementtiuunien kapasiteetit eivät ole vuositasolla täysin yksikäsitteisiä, sillä vuorokausikapasiteettien muuttaminen vuosikapasiteeteiksi edellyttää vuotuisen kapasiteetin käyttöasteen arviointia. Erilaisilla mineraaliteollisuudessa käytettävillä uunityypeillä yhtämittaisen käyttöjakson pituus voi vaihdella viikosta jopa neljään vuoteen.

Tuotettuja klinkkeritonnieja kohden lasketut ominaispäästöluvut kohdistavat tarkastelun erityisesti kiertouunin toimintaan ja niiden vaihtelut vuositasolla ovat suhteellisen vähäisiä. Tästä seuraa toisaalta se, että erilaisilla lopputuotteeseen liittyvillä seostusvaihtoehdoilla (välituotesubstituutio, esimerkiksi klinkkerin korvaaminen kierrätetyillä raaka-aineilla) ei voida vähentää ominaispäästöjä.

Huomioon otettava seikka on se, että edellä esitetyt päästö- ja ominaispäästöluvut ovat ”suuntaa-antavia”. Sementin valmistuksen tarkastelusta ilmenneet ominaispäästöjen laskentaan liittyvät geneeriset kysymykset liittyvät myös sellaisiin muihin teollisuusprosesseihin, joissa CO₂-päästöihin voidaan vaikuttaa ostamalla ja myymällä välituotteita.

5.9 Yhteenveto tiedossa olevien kasvihuonekaasupäästöjen vähennyskeinoista ja -teknologioista ja arvio päästöjen vähennysmahdollisuuksista

Mineraalisektorin päästöjen vähennysmahdollisuuksien tarkastelun tulosityhteenvetona voitaneen todeta, että prosessien polttoaineita, raaka-aineita tai teknologioita vaihtamalla sekä energian- ja materiaalien käyttöä tehostamalla keskimääräinen yritysکوhtainen hiilidioksidipäästöjen ”tekninen vähennyspotentiaali” olisi noin 5 % ja oli koko toimialalla 100 - 150 kt/a suuruusluokkaa. Tekninen vähennyspotentiaali vaihtelee kuitenkin erittäin paljon yritysکوhtaisesti tarkasteltuna ja vain osa siitä on taloudellisesti hyödynnettävissä.

Arvio kuvaa tässä ja aikaisemmissa töissä löydettyjä teknisiä hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuuksia ja osa niistä saattaa myöhemmin osoittautua taloudellisesti täysin kannattamattomiksi. Arvio kertoo kuitenkin sen päästövähennysten karkean suuruusluokan, johon yrityksillä olisi mahdollisuuksia päästä aktiivisella päästöjen vähennystoiminnalla.

Tarkasteluista nousi esiin sementin ja kalkintuotannon keskeinen merkitys päästövähennysmahdollisuuksien kannalta.

Käytettävissä olevien resurssien vähäisyyden vuoksi kovin yksityiskohtaisia energian- ja materiaalien käytön tehostamiskeinojen vaikutuksia ei todennäköisesti tässä työssä havaittu kattavasti eikä läheskään kaikista kohteista ollut saatavilla ajantasaisia energiansäästöanalyysyjä julkiseen käyttöön. Tarkastelussa ei myöskään voitu määrittää tuotesubstituution vaikutuksia, jolla tarkoitetaan sitä, että jokin päästökaupan ulkopuolella tuotettava vähäpäästöisempi tuote kykenisi korvaamaan päästökaupassa mukana olevien tuotantolaitosten tuotantoa.

5.10 Johtopäätelmiä ja jatkotoimenpidesuosituksia

Yli puolet mineraaliteollisuuden hiilidioksidipäästöistä aiheutuu raaka-aineista ja enimmäkseen kalsiumkarbonaatin hajotessa korkeassa kuumuudessa. Raaka-aineperäiseen päästöön on erittäin vaikea vaikuttaa ja mahdolliset vähennyskeinot löytyvät rakennusteollisuuden kohdalla tuotesubstituution ja materiankäytön tehostamisesta, joita tässä selvityksessä ei voitu perusteellisesti tarkastella. Materiaalien kierrätyksellä ”suurella mittakaavassa ja pitkällä aikajänteellä” voitaneen vaikuttaa kalsiumkarbonaattiperäiseen päästöosuuteen. Tämä on aihepiiri, jota on tutkittu vähän ja joka edellyttäisi jatkotutkimuksia.

Biomassan kaasutusteknologia muodostaa tärkeän jatkuvia toimenpiteitä edellyttävän aihepiirin, jota tukee mahdollisuus hyödyntää biomassan kaasutusteknologiaa metsäteollisuuden meesauunien lisäksi myös muissa mineraaliteollisuuden kiertouuneissa (kalkki- ja sementtiuunit, joiden päästöt ovat kansallisesti merkittävät). Tässä selvityksessä ei voitu tarkastella, onko toimipaikkojen läheisyydessä saatavilla fossiilisten polttoaineiden korvaamisen kannalta riittävästi biomassaa. Tieto alueellisesta saatavuudesta ja konkreettiset toimet tarjonnan edistämiseksi ovat keskeisiä parametreja pohdittaessa, missä määrin biomassasubstituutio voisi toteutua käytännössä.

Mineraaliteollisuudessa käytetään suhteellisen paljon polttoaineena maa- ja nestekaasua erilaisissa uuneissa, joihin biomassan kaasutusteknologiaa voitaisiin tulevaisuudessa mahdollisesti soveltaa. Massa- ja paperiteollisuuden meesauuneihin liitettävä kaasutusteknologia on kaupallisesti kypsällä tasolla. Raskasta polttoöl-

jä käyttävien meesauunien lisäksi mineraaliteollisuuden muista uuneista voisi olla löydettävissä mahdollisia sovelluskohteita biomassan kaasutusteknologialle, joiden avulla voitaisiin vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä (esim. kalkki- ja sementtiuunit). Teknologian käyttöönoton ja leviämisen kannalta ongelmat liittynevät myös suuremman kokoluokan laitosten rahoitusjärjestelyihin. Edellytyksenä lisäksi on, että kaasutukseen kelpaavaa biomassaa on kilpailukykyisesti saatavilla korvaamaan kaasumaisia fossiilisia polttoaineita ja öljyä.

Tarkastelluista mineraaliteollisuuden kohteista voidaan havaita kolme geneeristä teknologista aihepiiriä: kiertouunit, lasiuunit ja tiiliuunit. Näihin liittyvää energiankäytön tehostamista tulisi jatkossa tutkia lämmön talteenoton lisäksi myös sähköntuotantomahdollisuuden hyödyntämisen näkökulmasta. Kuumille savukaasuille ei kaikissa tarkastelluissa kohteissa ole löytynyt lämmön hyötykäyttömahdollisuuksia vaikka tehot (muutamia, jopa kymmeniä megawatteja) ja lämpötilatasot (jopa 700 astetta) mahdollistaisivat pitkällä aikavälillä mini-chp tai lauhdesähkön pienimittakaavaisen tuotannon tuotantolaitosten yhteydessä. Nämä mahdollisuudet tulisi selvittää osana hajautetun energian tutkimusta ja niistä todennäköisesti löytyy lupaavia ”ESCO-liiketoiminnan” kohteita.

Yritykset ovat tyypillisesti toteuttaneet energiansäästöinvestointeja ja siirtyneet uusiutuvien energianlähteiden käyttöön silloin, kun muutosinvestointien takaisinmaksuajat ovat olleet alle 3 vuotta. Huonommin kannattavien hankkeiden toteuttaminen lienee melko poikkeuksellista ja kokonaan takaisinmaksamattomien ”ympäristotaloudellisten uhrausten” teko erittäin harvinaista. Polttoainejakaumat ja energiatehokkuus ovat lähtökohtaisesti nykyisten tuotannontekijöiden kuten pääoman, tuotantopanosten hintojen sekä verojen osoittamassa tasapainossa, joka muuttuu hiilidioksidipäästöjen muuttuessa päästökaupan myötä hinnoitelluksi resurssiksi. Kaikilla prosessiteollisuuden yhtiöillä on olemassa keinoja ominaispäästöjensä vähentämiseksi. Keinojen vaikuttavuus ja kustannukset kuitenkin vaihtelevat eikä niistä ole olemassa eikä voida saadaakaan täysin kattavaa kuvaa.

Energiankäytön tehostaminen on mahdollista suurimmassa osassa teollisuuslaitoksia. Työn tulisi olla jatkuvaa ja pitkäjänteistä. Silti vain muutamien prosenttiyksiköiden päästövähennykset näyttävät raskaassa prosessiteollisuudessa lyhyellä aikavälillä mahdollisilta ja kasvualoilla havaittu ominaispäästöjen pienenemiskehitys ei riitä pitämään päästöjä ennallaan.

Selvityksen perusteella voidaan arvioida, että päästökauppasektoreilla on olemassa keskimäärin noin 5 %:n suuruusluokkaa oleva tekninen CO₂-päästövähennyspotentiaali suhteessa nykytilaan. Vaihtelut yksittäisten yritysten ja toimipaikkojen kohdalla ovat kuitenkin hyvin suuria. Selvitys viittaa siihen, etteivät kasvavat teollisuustoimialat kuitenkaan kykene pitämään päästöjään nykytasolla tai laskemaan

niitä prosessipolttoaineisiin liittyvien muutosten tai energiankäytön tehostamisen avulla. Mikäli tuotannon määrien kasvattaminen on kannattavuuden edellytys, kasvavat myös hiilidioksidipäästöt vääjäämättä, jolloin todennäköisimmäksi toimintavaihtoehdoksi jää päästöoikeuksien hankinta markkinoilta.

Hiilidioksidipäästöjä vähentävää substituutiota voi tapahtua polttoainevaihtojen lisäksi raaka-aineissa, prosessiteknologioissa, lopputuotteissa ja -palveluissa. Biologista hiiltä voidaan varastoida kierrätyskaskadeihin ja nieluihin polttamisen jäädessä alemmalle prioriteettitasolle. Päästöjä aiheuttavien sektoreiden päästöt voivat pienentyä myös ulkopuolisen kilpailun vaikutuksesta, kun vähäpäästöisemmät hyödykkeet saavat kilpailuedun ja voivat korvaavat päästökauppasektoreiden tuotantoa. Tuotetason substituutiomahdollisuuksiin tulisi jatkossa kiinnittää kasvavaa huomiota. Tässä selvityksessä näitä keinovalikoimiamia ei voitu tarkastella, mutta niihin liittyvien päästövähennysmahdollisuuksien tarkastelemista ja kartoittamista tulisi jatkossa harkita.

Vähähiilisemmät materiaalisyytteen, uusien materiaalien hiilinieluvaikutukset ja kierrätyskaskadit sekä uusien teknologioiden, tuotteiden ja palveluiden kilpailu ovat aiheita, joista voi löytyä innovatiivisia keinoja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi pitemmällä aikavälillä.

5.11 Lähdeviitteet ja lisätietoja

Enemi Oy 2000. Lappilan tehtaan energiataaseen määrittäminen 12.4.2000. Optiroc Oy (nyk. om. Wienerberger Oy). 1097 Enemi Oy. Environmental Consulting.

Engman 2003. Nordkalk Oyj, Kalvoaineistot, kommentit, 3.3.2003 päivätty muistio sekä puhelinkeskustelut.

Geologian tutkimuskeskus (GTK) 2003. http://www.gsf.fi/explor/limst_01.htm

Heliö 2003. Optiroc Oy Ab, Sähköpostitiedonannot, puhelinkeskustelut sekä kommentit muistioluonnoksiin.

Isover 2001. Saint-Gobain Isover Oy. Ympäristöraportti 2001.

Isover 2002. Saint-Gobain Isover Oy. Ympäristöraportti 2002.

Kaakkois-Suomen Ympäristökeskus 2000a. Ympäristölupapäätös 29.12.2000. Leca-kevytsorahdas.

Kaakkois-Suomen Ympäristökeskus 2000b. Ympäristölupapäätös, Ahlstrom Glassfibre Oy.

Karppinen 2003. Paroc Oy Ab, Puhelinhaastattelut, muistio sekä sähköpostitse toimitetut kommentit muistioluonnoksiin.

Kupari Engineering Oy 1999. Karhulan lasikuitutehtaan energia-analyysi. Ahlstrom Glassfibre Oy:n toimittamat kopiot yhteenvetoluvusta.

Kupari Solutions Oy 2001. Partek Nordkalk Oyj Abp:m Tytyrin toimipaikan energia-analyysi. 17.12.2001.

Laurila 2003. Karhulan Lasi Oy, Puhelinkeskustelut, sähköpostikirjeenvaihto ja - kommentit yhtiön toimipaikkaa koskeviin tietoihin.

LBNL 1999. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emission Reduction Opportunities in the U.S. Cement Industry. Nathan Martin, Ernst Worrell and Lynn Price. Environmental Energy Technologies Division. September 1999.

Lehto 2003. Ahlstrom Glassfibre Oy, Karhulan lasikuitutehdasta koskeva muistio, palaverikommentit, sähköpostitiedonnannot ja puhelinkeskustelut.

Motiva 2002. Teollisuuden energiansäästösopimus. Vuosiraportti 2001.
www.motiva.fi

Nordkalk Oyj 2001. Ympäristöraportti 2001.

Nordkalk Oyj 2002. Ympäristöraportti 2002.

Nyström 2003a. Wienerberger Oy, Haastattelut ja kalvoaineistot. Koria 12.3.03.

Nyström 2003b. Sanitec Corporation, Sähköpostitiedonanto 17.3.2003. (www.sanitec.com / www.IDOBathroom.com)

Paroc Oy Ab 2002. Ympäristöraportti 2002.

Perttula 2003. SMA Saxo Mineral Oy, Haastattelu, kalvoaineistot, kommentit ja puhelinkeskustelut liittyen Tornion kalkkitehtaaseen.

Raikkonen 2003. Raikkonen Oy. Sähköpostitiedonanto selvitystä varten.

Romu 2003. Wienerberger Oy, Haastattelut, kalvo- ja Excel-aineistot, kommentit ja puhelinkeskustelut liittyen savitiilien tuotantoon Suomessa.

Saranpää 2003. Pukkila Oy Ab, Sähköpostitiedonanto. Muistio 10.4.2003. Pukkila Oy Ab.

Sahala 1988. Geologian tutkimuskeskus. Korian alueen saviselvitys.

Sihto 2003. Pilkington lahden lasitehdas Oy, Haastattelu, kalvoaineistot, kommentit ja puhelinkeskustelut.

Sutela 2003. Pilkington lahden lasitehdas Oy, Tiedonanto.

Siitonen ym. 1999. Energia Ekono Oy. Energia-analyysi.

Siljan M. Martin Siljan, Dr. Eng., Jo Gunnar Håkonsen, M.Sc., PA Exclay Optiroc Group (Optiroc Oy:ltä saatu muistio /Riitta Heliö 2003)

Seppälä 2003. Tiileri-tehtaat, 7.4.2003 luovutetut polttoainetiedot ja täydentävät puhelinkeskustelut.

Tollander de Balsch 2003. Saint-Gobain Isover Oy. Puhelinhaastattelut, muistiot, kommentit ja sähköpostikirjeenvaihto liittyen yhtiön lasivillatuotantoon.

Vartiainen 2002. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Tilastotietoja vuoriteollisuudesta. Vuoriteollisuus 2/2002.

Vartiainen 2003. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Tilastotietoja vuoriteollisuudesta. Vuoriteollisuus 3/2003.

Virtanen 2003. Finnsementti Oy. Haastattelut, kalvo- ja Excel-aineistot, kommentit ja puhelinkeskustelut liittyen sementin valmistukseen yhtiön toimipaikoilla.

6 Yhteenveto ja johtopäätöksiä

Tässä raportissa on esitetty eräitä teknologisia mahdollisuuksia vähentää Suomen kasvihuonekaasujen päästöjä. Nämä ovat täydennyksenä ja päivityksenä KTM:n aikaisempaan julkaisuun *Teknologia ja kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen – taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten (KTM 1/2001)*, nyt kun Suomen ilmastostrategiaa ollaan päivittämässä ja EU:n päästökauppajärjestelmää käynnistämässä.

Raportin luvuissa esitetään yhteenveto kunkin aihepiirin teknologisista mahdollisuuksista rajoittaa Suomen kasvihuonekaasujen päästöjä. Raportti sisältää kuvauksen teknologian kehittymisestä eri vaihtoehdoissa ja arvioita niihin liittyvistä investointi- ja käyttökustannuksista. Raportissa ei oteta kantaa eri toimenpiteiden paremmuusjärjestykseen, vaan tuodaan esille tällaisissa tarkasteluissa tarvittavaa taustatietoa. Esimerkiksi metalli- ja mineraaliteollisuuden tuotantoprosessit on kuvattu seikkaperäisesti, koska tällainen tieto palvelee päästökauppajärjestelmän tarpeita ja näistä sektoreista on saatavilla suhteellisen vähän julkista tietoa päätöksenteon pohjaksi.

Vetyteknologia ja polttokennot

Raportin luvussa 2 on tarkasteltu vetyteknologian ja polttokennojen mahdollisuuksia pidemmällä aikavälillä. Vetytalouteen siirtyminen ei tapahdu hyppäyksestä, vaan siirtyminen tapahtuu vähitellen seuraavan viidenkymmenen vuoden aikana. Välituotteena syntyy paljon hyödyllistä teknologiaa ja teollista tuotantoa, jota voidaan hyödyntää vaikka täydellistä vetytaloutta ei syntyisikään. Esimerkkinä tästä ovat polttokennot, jotka voivat hyödyntää vedyn lisäksi muitakin polttoaineita. Polttokennojen laajamittainen käyttöönotto on edellytys vetytalouden syntymiselle, mutta polttokennot voivat saada merkittävän osuuden energiantuotannosta, vaikka vetytaloutta ei syntyisikään suunnitellussa laajuudessa. Tämä johtuu siitä, että polttokennot voivat käyttää hiilivety pohjaisia polttoaineita. Polttokennojen vahvuutena on korkea sähköntuotannon hyötysuhde. Polttokennojen ympärille on jo maailmalla syntynyt teollista tuotantoa, joka on voimakkaassa kasvussa. Vuonna 2003 polttokennoteollisuuden liikevaihdon on arvioitu olevan maailmanlaajuisesti yli 600 miljoonaa euroa.

Etenkin korkealämpötilapolttokennot, SOFC ja MCFC, voivat käyttää maakaasun puhdistettua metaania polttoaineena sisäisen reformoinnin avulla. Siksi kohtuullisen yksinkertainen esireformointi riittää niin, että kaikkia hiilivety pohjaisia polttoaineita, dieselistä ja maakaasusta aina biopohjaisiin saakka, voidaan käyttää. Koska polttokennojen hyödyntäminen ei edellytä vetyä, maakaasu on tulevana kymmeninä vuosina sähköntuotantoon käytettävien polttokennojen pääasiallinen polt-

toaine. Tämä myös takaa sen, että polttokennoille löytyy markkinoita myös lähivuosina edellyttäen, että kestävyys ja hinta ovat sopivat.

Useat yritykset ympäri maailmaa kehittävät ja rakentavat erikokoisia polttokennovoimalaitoksia. Niitä on jo rakennettu yli 2000 kappaletta. Tällä hetkellä kysyntä, lähinnä demonstraatiotarkoituksiin, ylittää selvästi tuotantokapasiteetin. Useat markkinaennusteet povaavat laitteille suurta kysyntää jo lähivuosina, mikäli hinta ja teknologian taso saadaan vaadittavalle tasolle.

Julkisessa liikenteessä testataan jo polttokennobusseja useassa maassa, mm. Ruotsissa. Polttokennohenkilöautojen määrän ennustetaan kasvavan voimakkaasti. Vaikka monet suhtautuvat asiaan epäilleen, puolustajat sanovat, että autonvalmistajille markkinoille tulo on välttämätöntä, jotta kehitysrahat saataisiin takaisin. Polttokenno mahdollistaa auton täydellisen elektronisoitumisen, mikä poistaa suuren osan mekaanisista osista. Siksi uuden sukupolven autot, tällä hetkellä vielä piirustuslaudalla olevat mallit, ovat nykyisiä polttomoottoriautoja huomattavasti kevyempiä ja tilavampia.

Vety- ja polttokennoteknologian menestymisen esteenä on vielä suuri joukko teknistaloudellisia ongelmia, jotka kaipaavat ratkaisua. Monessa maassa on kuitenkin voimakas poliittinen sitoutuminen näiden teknologioiden edistämiseen.

Suomen kehityksen kannalta olisi tärkeää saada mukaan teollisuutta mahdollisimman laajasti. EU:n rakentaessa organisaatiotaan ja rahoitustaan vety- ja polttokennoteknologian kehittämiseksi on myös tärkeää, että Suomi kehittää kansallista tutkimustoimintaansa, jotta se voisi osallistua aktiivisesti EU:n H2FC-teknologia -platformin toimintaan.

Sähköntuotannon rinnalla toinen suuri hiilidioksidin lähde on liikenne. Hiilidioksidineutraalisti tehty vety ei aiheuttaisi nettopäästöjä. Polttokennoauton hyötysuhde vetykäytössä on parempi kuin polttomoottorin, joten polttokennoauto on energiataloudellisesti parempi. Käytännössä tullaan kuitenkin pitkän aikaa käyttämään fossiilista alkuperää olevia hiilivety pohjaisia polttoaineita. Vedyn varastointi- ja jakeluongelmista johtuen vaihtoehtona on vetykäytön lisäksi nestemäisen polttoaineen käyttö. Vedyn valmistus, jakelu ja varastointi kuluttavat energiaa ja huonontavat siten kilpailuasemaa verrattuna polttomoottoriin. Tätä yritetään kompensoida sillä, että polttokennokäyttö on parempi hyötysuhteeltaan.

Bensiinin tai metanolin tankkaus ja käyttö polttokennoautossa ei vähennä hiilidioksidipäästöjä verrattuna dieselmoottorilla varustettuun autoon. Maakaasusta tehty vety autoon tankattuna vähentää päästöjä muutama kymmenen prosenttia verrattuna dieselpolttomoottoriin. Tämän eron dieselteknologian kehitys saattaa

kuroa umpeen nopeasti, mikäli se katsotaan tärkeäksi suhteessa suorituskykyyn, jota nyt painotetaan. Yhteenvedona tästä voidaan sanoa, että varsinainen hyöty hiilidioksidipäästöjen kannalta polttokennoista saadaan vasta, kun käytetään hiilidioksidineutraalia vetyä. Tämän tuottaminen on kuitenkin suuressa mittakaavassa erittäin ongelmallista ja tuotannon mahdollisille raaka-aineille voidaan löytää suoraan hyödyntämiskohteita esimerkiksi yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa korvatessa fossiilisia polttoaineita.

Biopolttonesteet ja biokaasu

Kiinteistä biomassaraaka-aineista voidaan jalostaa nestemäisiä tuotteita lukuisin tavoin sekä sähkön ja lämmön tuotantoon että liikenteen polttoaineiksi. Jalostus mahdollistaa biopolttoaineiden käytön kohteissa, joissa kiinteitä polttoaineita ei voida teknisistä syistä käyttää, luoden näin uusia markkinoita biopolttoaineille. Raaka-aineina voidaan käyttää perinteisiä viljelykasveja, puubiomassaa ja jäteteperäisiä polttoaineita.

Tutkimus- ja kehitystoiminnan sekä biopolttonesteiden käyttöönoton ajavana voimana on ollut mm. halu vähentää öljyriippuvuutta ja parantaa näin energia-omavaraisuutta. Biopolttonesteet nähdään yhtenä keinona rajoittaa liikenteen hiilidioksidipäästöjä, ajoneuvojen polttoainekulutuksen pienentämisen ja muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden rinnalla. Muita vaihtoehtoisia polttoaineita ovat maa-kaasu ja tulevaisuudessa vety. Lisäksi biopolttonesteiden käyttöönotto on monissa maissa ollut maatalouspoliittinen kysymys.

Biopolttonesteiden tuotantokustannukset ovat yleensä 1,5 - 5 kertaa korkeammat kuin kilpailevien kaupallisten vaihtoehtojen. Tuotanto ja käyttö onkin nykyisin kilpailukykyistä vain erityisolosuhteissa ja edellyttää yleensä yhteiskunnan tukitoimenpiteitä, kuten esimerkiksi verohelpotuksia. Kilpailukykyä on kuitenkin mahdollista parantaa mm. integroimalla biopolttonesteiden tuotanto esimerkiksi teollisuus- tai voimalaitokseen tai hyödyntämällä jäteteperäisiä raaka-aineita.

Metsätähdepohjaisen pyrolyysiöljyn valmistuskustannuksiksi on arvioitu 6,4 €/GJ erillistuotantolaitoksessa ja teollisuuden CHP-tuotantoon integroituna 5 €/GJ, jos raaka-aineen hinta on 2,3 €/GJ. Kustannusarvio perustuu 50 MW:n tuotantokapasiteettiin.

Sellutehtaiden raakasuoista (sekasuoja) on arvioitu voitavan valmistaa polttoöljyä 3,8 €/GJ:n (13,5 €/MWh) kustannuksin. Potentiaali on kuitenkin rajallinen. Viidellä sellutehtaalla voitaisiin tuottaa suopapohjaista polttoöljyä yhteensä 1,9 PJ (45 ktoe/a), kokonaispotentiaali Suomessa olisi tuotanto kymmenellä sellutehtaalalla. Toisaalta suomaa, jossa on suuri männyn osuus, käytettäneen jatkossakin män-

työljyn valmistukseen ja jalostukseen. Suomessa käynnistyi vuoden 2002 lopulla maailman suurin mäntyöljytislaamo Raumalla (Forchem Oy).

Nykystandardien mukaisilla osuuksilla liikennepolttoaineiden biokomponentit eivät juuri aiheuta käytössä lisäkustannuksia, mutta suuremmissa pitoisuuksissa tai käytössä sellaisenaan biopolttoaineiden käyttöönotto edellyttää muutoksia jakelujärjestelmissä ja ajoneuvoissa. Esimerkiksi biodieselin dieselpolttoainetta parempi liuotuskyky ja huonompi stabiilisuus varastoinnissa on huomioitava tankkaus- ja varastointijärjestelmissä.

EU:n liikenteen biopolttoainedirektiivissä (2003/30/EC) esitetyt tavoitteet, biopolttoaineiden osuus energiana liikenteen polttoainekulutuksesta 2 % vuonna 2005 ja 5,75 % vuonna 2010, vastaisivat Suomessa polttoaineen nykykulutuksen perusteella arvioiden biopolttoaineiden käyttöä 73 ktoe vuonna 2005 ja 209 ktoe vuonna 2010. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman päivityksessä on alustavasti esitetty Suomelle tavoitetta 2 % liikenteen energiakulutuksesta vuonna 2010. Liikenteen polttoaineilla on tyypillisesti maailmanlaajuiset markkinat ja biopolttonesteille onkin odotettavasti laajaa kauppaa EU:n sisällä ja mahdollisesti tuontia EU:n ulkopuolelta.

Käytännössä vuoteen 2010 asti käytössä ovat vain perinteiset biopolttonesteet, siis viljapohjainen etanoli sekä biodiesel. Fortum on esittänyt suunnitelman käynnistää lähivuosina biodieselin tuotanto kasviöljyistä ja eläinrasvoista pohjautuen prosessiin, joka ei perustu esteröintiin vaan jossa tuotetaan perinteistä dieselpolttoainetta vastaavia hiilivetyjä. Euroopassa on lukuisia pieniä biodieselin valmistajia, joiden teknologia perustuu esteröintiin. Myös Suomessa kaksi pientä valmistajaa aloitti toiminnan vuonna 2004. Sekä synteesikaasupohjaisen tekniikan että puupohjaisen etanolin tuotantotekniikan on arvioitu voivan kaupallistua vuoteen 2010 mennessä, jos tutkimus- ja kehitysohjon panostetaan riittävästi.

Suomessa voitaisiin kesantopeltoja hyödyntäen tuottaa joko viljaetanolia tai RME:tä. RME:ksi laskettuna potentiaali olisi 60 ktoe/a. Periaatteessa Suomessa olisi tulossa markkinoille riittävästi puu- ja jättepohjaisia raaka-aineita direktiivin vuoden 2010 tavoitteen mukaisen biopolttonestemäärän tuottamiseksi, mutta tällä hetkellä uuden puupolttoainepotentiaalın oletetaan menevän pääasiassa teollisuuden ja yhdyskuntien kasvavaan yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon.

Arviot liikenteen biopolttonesteillä saavutettavista kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä vaihtelevat raaka-aineen ja prosessin sekä laskennassa käytettyjen oletusten mukaan. Tyypillisiä laskentaoletuksia ovat raaka-aineen viljelyssä käytetty energia, raaka-aineiden kuljetuksessa käytetty energia, tuotannon hyötysuhde sekä sivutuotteiden hyödyntämisvaihtoehdot. Biodieselillä on esitetty saatavan 50 - 80 %:n päästövähennys verrattuna fossiiliseen dieselpolttoaineeseen ja vastaavasti vilja-

etanolilla 20 - 40 %:n päästövähennelmä verrattuna bensiiniin. Puupohjaisilla polttoaineilla on mahdollista saada 75 - 100 %:n päästövähennelmä.

Orgaanisesta materiaalista, esim. jätevesilietteistä tai biojätteistä, voidaan anaerobikäsittelyssä tuottaa ns. biokaasua, joka koostuu lähinnä metaanista ja hiilidioksidista. Kaatopaikoilla muodostuu vastaavaa kaasua, ns. kaatopaikkakaasua. Bio- ja kaatopaikkakaasua voidaan teknisesti hyödyntää kaikissa maakaasulle suunnitelluissa sovelluksissa sähkön ja lämmön tuotannossa sekä liikenteen polttoaineena.

Kaatopaikkakaasun talteenotolla saavutettava päästövähennelmä muodostuu suurimmaksi osaksi talteenotetusta metaanista. Jos kaasu käytetään energiana, voidaan sillä mahdollisesti korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä, jolloin voidaan saavuttaa pieni lisävähennelmä. Jos kaatopaikkakaasun talteenotto olisi 160 milj. m³, voitaisiin saavuttaa noin 0,6 Mt CO₂-ekv:n suuruinen päästövähennelmä vuonna 2010. Jos talteenotetusta metaanista 75 % hyödynnetään energiana korvaamalla kevyen polttoöljyn käyttöä, saavutettaisiin lisäksi noin 0,05 Mt CO₂-ekv:n päästövähennelmä.

Metallien jalostus

Metallinjalostusta ja mineraaliteollisuutta koskeva tarkastelu on tehty toimialan, ei siis tietyn teknologian, näkökulmista. Metallien jalostuksen toimiala voidaan jakaa edelleen terästeollisuuteen (raudan, teräksen, rautaseosten ja putkien valmistukseen sekä muuhun raudan ja teräksen jalostukseen), värimetalliteollisuuteen (muiden kuin rautametallien valmistus) ja valimoteollisuuteen (metallien valu).

Metallien jalostuksen keskeisten prosessien ominaisuuksia kuvaavat energia- ja päästöparametrit ja tuotannon rakenne muuttuvat melko hitaasti. Viime vuosikymmenen puolivälin jälkeen voimakkainta määrällinen kasvu on ollut terästuotteiden valmistuksessa, jossa tuotanto on kasvanut noin 44 % vuoden 1995 tasosta. Kasvu on ollut vaatimattomampaa värimetallien kohdalla (+19 %). Valimoteollisuudessa tuotanto oli vuonna 2003 lähes vuoden 1995 tasolla ja on ollut viime vuodet laskussa. Terästuotteiden valmistuksen osuus metallien jalostuksen liikevaihdosta ja jalostusarvosta oli lähes kaksi kolmasosaa vuonna 2003. Värimetallien osuus on noin neljännes ja valujen kymmenesosa.

Teräsaihioiden tuotanto on kasvanut tarkasteltuna ajanjaksona 50 %. Tuotanto kasvaa edelleen tiedossa olevien vuonna 2003 toteutettujen ja päätettyjen lähiaikoina toteutuvien investointien vuoksi. Tällä seikalla on varsin keskeinen merkitys kansallisten kasvihuonekaasupäästöjen kehityksen kannalta.

Suomalaisen tuotannon mittakaavassa energiankäytön ja kasvihuonekaasupäästöjen kannalta keskeisimmät tarkastelukohteet muodostuvat malmipohjaisen ja ruos-

tumattoman teräksen (ml. ferrokromi) valmistuksesta ja niiden jatkojalostuksesta sekä vähäisemmässä määrin kuparin, nikkelin ja sinkin sekä romupohjaisten terästuotteiden valmistuksesta. Metallien valua, putkien valmistusta sekä muuta raudan ja teräksen jalostusta sekä muuta rautaseosten valmistusta ei tässä yhteydessä tarkastella yksityiskohtaisemmin. Ne muodostavat alle 6 % metallinjalostuksen sähkön ja noin 4 % lämpöenergian kulutuksesta.

Metallinjalostuksen toimialalla ilmastokysymyksen kannalta keskeisiä toimipaikkoja on vähän ja niiden prosessit ovat Suomen mittakaavassa ”yksilöitä”. Näiden seikkojen vuoksi tarkastelut joudutaan tekemään toimipaikkakohtaisina. Työhön on koottu yleiskuva rautametallien tuotannon ja jalostuksen tiedoista. Tietoja on kerätty mm. laitosten hiilipitoisten syötteiden käytöstä, päästöistä ja niiden vähennysmahdollisuuksista.

Malmipohjaisen teräksen valmistus on keskittynyt Rautaruukin Raahen ja Koverharin tehtaille. Rautaruukin nykyisellä tuotantorakenteella tuotannon määrän nostaminen lisää energiankulutusta. Jatkuvilla energiankäytön tehostamistoimilla energian ominaiskulutus tuotettua terästonnia kohti on pysynyt ennallaan. Tuotannon kasvun lisäksi energiankulutusta pyrkivät nostamaan muun muassa korkealle jalostettujen tuotteiden osuuden jatkuva lisääntyminen. Tämän lisäksi mm. työsuojelija ympäristöinvestoinnit nostavat jonkin verran energian ominaiskulutusta.

Energiankäytön tehostamistoimien jäljellä olevan potentiaalin suuruusluokan Raahen tehtaan ominaisenergiankulutuksessa voitaneen arvioida olevan noin -2 GJ/t,terästä, mutta investointitarve on suuri ja osa säästöstä kohdistuu ostosähkön vähentymiseen eikä vähennä laitoksen omia päästöjä. Voimalaitoksen modernisoinnin, konvertterikaasun talteenoton sekä pienempien tuotannon ja energiankäytön tehostamisinvestointien yhteenlaskettu päästövähennysvaikutus Rautaruukin omassa päästötaseessa voisi olla arviolta 100 - 200 ktCO₂/a eli Raahen tehtaalla 2 - 4 %:n suuruusluokkaa kokonaispäästöistä.

Hiilidioksidipäästöjen kehittymisen kannalta merkillepantavaa on se, että Raahen terästuotanto on syksyn 2002 jälkeen toiminut tasolla 2,8 Mt/a, mikä ei vielä masuunin korjausten vuoksi näkynyt vuoden 2002 tuotantotilastossa eikä näin ollen myöskään vuoden 2002 päästötasoissa. Raahen vuotuisen terästuotannon nousu 2,8 miljoonaan tonniin nostanee Raahen vuoden 2003 kokonaishiilidioksidipäästöjä noin 9 % vuoteen 2002 verrattuna eli lähes viiteen miljoonaan tonniin vuodessa (arvio, joka kattaa koko tehdasintegraatin, ml. kalkinpolttamo).

Vuonna 2002 käyttöön otettujen laajennusten jälkeen vuoteen 2010 mennessä tiedossa ei ole masuuniteknologiaan perustuvia kapasiteetin kasvatusinvestointeja. Peruslähtökohtana pidetään sitä, että molemmat masuunit ovat käytössä vuosina

2008–2012. Masuuneita ajetaan ”kamppanjoittain”. Kamppanjan loppuessa vuosikymmenen vaihteessa yhtiö joutuu päättämään hyvissä ajoin peruskorjauksista tai teknologian vaihtamisesta.

Energian käytön tehostamishankkeet (mm. konverterrikaasun talteenotto ja muutamat pienemmät hankkeet) voisivat vähentää ominaisenergiankulutusta noin 1 GJ/t eli 5 %, ja vaikuttaa nestekaasun sekä raskaan polttoöljyn käytön voimakkaaseen vähentymiseen laitoksella. Tästä aiheutuisi suuruusluokaltaan 100 ktCO₂/a päästövähennelmä. Pitemmällä aikavälillä kyseeseen voi tulla myös sintraamon sulkeminen ja siirtyminen pellettipanostukseen (kuten Koverharissa on tehty). Vuoden 2010 jälkeen on todennäköistä, että nykyisten masuunien käyttöikää jatketaan. Eräs vaihtoehto olisi investoida jatkossa vähäpäästöisempiin romupohjaisiin valokaariuuniteknologialla toteutettuihin yksiköihin kokonaistuotannon kasvattamiseksi.

Johtopäätelmänä malmipohjaisen teräksenvalmistuksen tarkastelusta voitaneen arvioida, että voimakkaatkaan toimet energiankäytön tehostamisessa eivät riitä kompensoimaan vuonna 2002 käyttöönotetusta ja suunnitteilla olevasta lisäkapasiteetista johtuvaa CO₂-päästöjen lisääntymistä vuoteen 2010 mennessä.

Outokumpu-konsernin Tornion tehdasintegraatissa tuotetaan ruostumatonta terästä. Integraattia on rakennettu ja modernisoitu kuluneiden 30 vuoden aikana perustuen parhaaseen käytettävissä olevaan teknologiaan, joka on myös energiatehokasta tekniikkaa. Päästöjen vähennysmahdollisuudet ovat siten marginaaliset, ja säästöjä voidaan saada aikaan enää lähinnä pienillä yksittäisillä kehitystoimenpiteillä (Hirsivaara 2003). Tehtyjen selvitysten valossa CO₂-päästöjä voitaneen vähentää noin 1 - 2 %.

Prosessin sivutuotteena syntyvästä CO-kaasusta (koksista peräisin) syntyvät CO₂-päästöt tulee luokitella prosessipäästöiksi, koska ne syntyvät FeCr:n valmistuksessa ja korvaavat nestekaasun ja POR:n käyttöä. Tässä yhteydessä on tarpeen ottaa esiin yleinen periaate, jossa CO₂-päästökiintiö voitaisiin allokoida sille prosessille, josta hiilipitoinen energiasivutuote syntyy, jotta voitaisiin varmistaa, että energiapitoiset sivutuotteet hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti paikallisesti.

Imatran terästehtaalla valmistetaan romupohjaista terästä valokaariuuniprosessilla. Terästehtaan raaka-aine on kierrätetty romu, joka sulatetaan, valetaan, valssataan ja jatkojalostetaan pyörö-, neliö-, latta- ja kierretangoiksi. Imatran terästehtaan mahdollisista CO₂-vähennyskeinoista ja potentiaaleista voidaan todeta, että laitoksen käytettävissä olevat vähennyskeinot ovat lähinnä energian- ja materiaalien käytön tehostamistoimia, joilla saavutettavat potentiaalit ovat yhtiön mukaan pienet. Energian käytön tehostamismahdollisuuksia yhtiö on selvittänyt vuonna 1999 luottamuksellisin toimeksiannoin Motivan prosessiteollisuuden energia-analyysin

mukaisesti. Tuolloin säästöpotentiaaliksi analyysissä arvioitiin lämmön osalta noin 3 % ja sähkön osalta noin 2 %.

Kaiken kaikkiaan raportissa esitetyn kartoituksen perusteella rautametallien valmistuksen hiilidioksidipäästöjen yhteenlaskettu vähennyspotentiaali, joka perustuisi ensisijaisesti energiankäytön tehostamishankkeisiin, olisi suuruusluokkaraviooltaan noin 160 ktCO₂/a eli noin 2,8 % kokonaispäästöistä. Tämä päästöjen vähennyspotentiaali perustuu suurelta osin todennäköisesti toteutuvaan konvertterikaasun talteenottoon Raahessa. Koverharissa oletettiin Raahen kaltaisen tehostumiskehityksen olevan mahdollinen. Tarkasteluissa kiinnitettiin huomiota toimiin, jotka vähentävät toimipaikkojen omia hiilidioksidipäästöjä. Lisäpotentiaalia liittyy niihin keinoihin (esimerkiksi Rautaruukin Raahen tehtaan voimalaitoksen modernisointi), jotka vähentävät päästöjä epäsuorasti taserajausten ulkopuolella korvaamalla prosessien ostopanoksia ja syötevirtoja.

Rautametallien valmistuksen hiilidioksidipäästöt kasvannevat yritysten toimittamien tietojen perusteella vuoteen 2005 mennessä 15 % vuoden 2002 tasolta. Tiedossa olevien päästöjen vähennyskeinojen avulla tästä päästöjä kyettäisiin leikkaamaan siis ainoastaan 2,8 %, jolloin kokonaispäästöjen kasvu nykytasolta vuoteen 2005 olisi noin 12 % vastaten 6,5 MtCO₂/a päästötasoa. Vuoteen 2010 mennessä tuotannon kasvun takia päästöt voivat kohota tasolle 7,5 Mt CO₂/a.

Mineraaliteollisuus

Mineraalisektorin erityispiirre muihin päästökaupan teollisuusektoreihin nähden on mineraaliraaka-aineista peräisin olevien hiilidioksidipäästöjen merkittävä osuus (56 %) kokonaispäästöistä. Keskeisin hiilidioksidipäästöjen lähde on kalsiumkarbonaatti (CaCO₃), jonka poltossa sementti-, kalkki-, tiili- ja lasiteollisuuden uuneissa vapautuu merkittävä CO₂-päästö määrä. Tarkasteluista nousi esiin sementin ja kalkintuotannon keskeinen merkitys päästövähennysmahdollisuuksien kannalta.

Yhteenvedon tarkastelusta voidaan havaita, että mineraaliteollisuuden päästökaupparajauksen piiriin kuuluvien yritysten toimipaikkojen polttoaine-energian käyttö on Suomessa noin 11,1 PJ/a, raaka-aineperäiset hiilidioksidipäästöt (jotka enimmäkseen aiheutuvat kalsiumkarbonaatin hajoamisesta polttoprosesseissa) yhteensä 1,11 milj. tonnia CO₂ vuodessa ja polttoaineista peräisin olevat päästöt noin 0,89 milj. tonnia vuodessa. Raaka-aineperäiseen päästöön on erittäin vaikea vaikuttaa ja mahdolliset vähennyskeinot löytyvät rakennusteollisuuden kohdalla tuotesubstituution ja materiaankäytön tehostamisesta, joita tässä selvityksessä ei voitu perusteellisesti tarkastella.

Mineraalisektorin kokonaishiilidioksidipäästöt vuoden 2002 tietotasolla olivat tämän selvityksen mukaisesti noin 1,99 milj. tonnia. Päästöiltään kolmen suurim-

man yrityksen osuus, ottaen huomioon vuonna 2003 toimintansa aloittaneen Röytän kalkkitehtaan, oli 1,63 Mt CO₂ eli 82 % toimialan kokonaispäästöistä. Tuotantokapasiteetin käyttöaste oli vuonna 2002 84 %:n suuruusluokkaa, ja sen muutoksilla havaittiin olevat merkittävä vaikutus prosessien energiatehokkuustasoihin.

Tarkastelluista mineraaliteollisuuden kohteista voidaan havaita kolme yleistä teknologista aihepiiriä: kiertouunit, lasiuunit ja tiiliuunit. Näihin liittyvää energiankäytön tehostamista tulisi jatkossa tutkia lämmön talteenoton lisäksi myös sähkötuotantomahdollisuuden hyödyntämisen näkökulmasta. Kuumille savukaasuille ei kaikissa tarkastelluissa kohteissa ole löytynyt lämmön hyötykäyttömahdollisuuksia vaikka tehot (muutamia, jopa kymmeniä megawatteja) ja lämpötilatasot (jopa 700 astetta) mahdollistaisivat pitkällä aikavälillä mini-chp tai lauhdesähkön pienimittakaavaisen tuotannon tuotantolaitosten yhteydessä.

Yritykset ovat tyypillisesti toteuttaneet energiansäästöinvestointeja ja siirtyneet uusiutuvien energianlähteiden käyttöön silloin, kun muutosinvestointien takaisinmaksuajat ovat olleet kohtuullisia. Energiankäytön tehostaminen on mahdollista suurimmassa osassa teollisuuslaitoksia. Työn tulisi olla jatkuvaa ja pitkäjänteistä. Silti vain muutamien prosenttiyksiköiden päästövähennykset näyttävät raskaassa prosessiteollisuudessa lyhyellä aikavälillä mahdollisilta ja kasvualoilla havaittu ominaispäästöjen pienenemiskehitys ei riitä pitämään päästöjä ennallaan.

Selvityksen perusteella voidaan arvioida, että päästökauppasektoreilla on olemassa keskimäärin noin 5 %:n suuruusluokkaa oleva tekninen CO₂-päästövähennyspotentiaali suhteessa nykytilaan. Vaihtelut yksittäisten yritysten ja toimipaikkojen kohdalla ovat hyvin suuria. Selvitys viittaa siihen, etteivät kasvavat teollisuustoimialat kuitenkaan kykene pitämään päästöjään nykytasolla tai laskemaan niitä prosessipolttoaineisiin liittyvien muutosten tai energiankäytön tehostamisen avulla. Mikäli tuotannon määrien kasvattaminen on kannattavuuden edellytys, kasvavat myös hiilidioksidipäästöt vääjäämättä, jolloin todennäköisimmäksi toimintavaihtoehdoksi jää päästöoikeuksien hankinta markkinoilta.

Hiilidioksidipäästöjä vähentäviä vaihtoehtoja voidaan hakea polttoainevaihtojen lisäksi raaka-aineissa, prosessiteknologioissa, lopputuotteissa ja -palveluissa. Päästöjä aiheuttavien sektoreiden päästöt voivat pienentyä ulkopuolisen kilpailun vaikutuksesta, kun vähäpäästöisemmät hyödykkeet saavat kilpailuedun ja voivat korvaavat päästökauppasektoreiden tuotantoa. Tuotetason vaihtoehtomahdollisuuksiin tulisi kiinnittää kasvavaa huomiota. Vähähiilisemmät materiaalisyötteet, uusien materiaalien hiilinieluvaikutukset ja kierrätyskaskadit sekä uusien teknologioiden, tuotteiden ja palveluiden kilpailu ovat aiheita, joista voi löytyä innovatiivisia keinoja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi pitkällä aikavälillä.

Liite 1

Tekesin CLIMTECH-ohjelman (1999–2002) julkaisut

CLIMTECHin yhteenvetoraportit (ohjelman koordinaation tuottamat)

Teknologia ja ilmastonmuutos – Lähtökohtia CLIMTECH-teknologiaohjelmalle. Savolainen, Ilkka; Tuhkanen, Sami; Ohlström, Mikael; Pipatti, Riitta; Pingoud, Kim & Johansson, Allan. 2000. Tekes, Helsinki. 65 s. Teknologiakatsaus: 85. ISBN 952-9621-77-9.

Teknologia ja kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen : Taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. Savolainen, Ilkka; Tuhkanen, Sami & Lehtilä, Antti (toim.). 2001. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Helsinki. 198 s. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja: 1/2001.

Technology and Climate Change (Climtech) Programme – Final Report. Soimakallio, Sampo & Savolainen, Ilkka. 2002. Finnish National Technology Agency (Tekes), Helsinki. Technology programme report 14/2002. 259 s.

Ilmasto – Haaste teknologialle. Näkemyksiä ja tuloksia Climtech-ohjelmasta. Savolainen, Ilkka; Ohlström, Mikael & Kärkkäinen, Anne (toim.). 2003. Edita, Helsinki. 208 s. ISBN: 951-37-3883-3

Climate – Challenge for Technology. Views and results from the CLIMTECH Programme. Extended Summary. Savolainen, Ilkka; Ohlström, Mikael & Soimakallio, Sampo. 2003. Edita, Helsinki. 32 p. ISBN: 951-37-3968-6

Projektiraportit

Uusiutuvat energianlähteet ja hajautettu energiantuotanto

Tuulivoimamarkkinat suomalaisen teknologiaviennin kannalta. E. Peltola, H. Holttinen. 2001. VTT Energian raportteja 45/2001. 40 s. + liitteet 1 s.

The effect of wind power on CO₂ abatement in the Nordic countries. H. Holttinen, S. Tuhkanen. Energy policy. Vol. 32 (2004) No: 14, pp. 1639 - 1652.

Aurinkoenergian teknologia- ja markkinakatsaus (Solpros, helmikuu 2001)
Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa ja sen potentiaali ilmastonmuutoksen torjunnassa (Solpros, kesäkuu 2001)

Kansallinen aurinkoenergian toimenpideohjelma (Solpros, lokakuu 2001).
<http://www.kolumbus.fi/solpros/kansohj.htm>

Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. S. Helynen, M. Flyktman, T. Mäkinen, K. Sipilä, P. Vesterinen. 2001. VTT Tiedotteita 2145, Espoo. <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2145.pdf>

Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt. E. Vartiainen, P. Luoma, J. Hiltunen, J. Vanhanen. 2002. Gaia Group Oy. 89 s. + liitt.

Kirjallisuustutkimus vetyenergiateknologian mahdollisuuksista hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Klaus Mäki-Petäys. TKK, Teknillisen Fysiikan ja Matematiikan Osasto (diplomityö).

Technical Review and Economic Aspects of Hydrogen Storage Technologies. 2001. Tero Hottinen, HUT, Department of Engineering Physics and Mathematics (Master's thesis).

Energiatehokkuus ja teollisuus

Kotitalouksien ja toimistotilojen laitesähkön käytön tehostaminen. V. Ahponen, A. Korhonen, H. Pihala, A. Ranne, L. Sillanpää. 2002. Työtehoseuran julkaisuja 384. 158 s. + liitt.

CO₂ESCO – Energiapalveluyritysten (ESCO) toiminta ilmastonmuutoksen rajoittamisen näkökulmasta. Motiva Oy / Electrowatt-Ekono, 2002. 86 s.

Energiantuotannon tehostaminen fossiilisiin ja uusiutuviin perustuvassa energiantuotannossa. Hepola, Jouko; Kurkela, Esa. 2002. VTT Tiedotteita 2155, Espoo. 65 s. <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2155.pdf>

Hiili-, maakaasukombi- ja moottorivoimalaitostekniikat sekä prosessiteollisuuden kehitysnäkymät ja vaikutukset CHP-tekniikkaan. Harmoinen, Antti; Heikkilä, Jouko; Nyberg, Katri; Raiko, Markku. 2002. Fortum Engineering Oy, Vantaa. 62 s.

ECLOGUE – the Impact of Information Technology on the Reduction of Greenhouse Gas Emissions in the Forest Cluster. P. Vasara, L. Peuhkuri. 2002. Jaakko Pöyry Consulting. 50 p.

Biotechnical methods for improvement of energy economy in mechanical pulping. Kallioinen, Anne; Pere, Jaakko; Siika-Aho, Matti; Lehtilä, Antti; Mälkki, Helena; Syri, Sanna & Thun, Rabbe. 2003. VTT Research Notes 2183, Espoo. 86 s. <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2003/T2183.pdf>

Industrial Ecology and greenhouse gas control. Siikavirta, Hanne; Järvinen, Pekka & Linnanen, Lassi. Helsinki University of Technology, The Publication Series of the Institute for Regional Economics and Business Strategy. Lahti, 2002. 69 s. ISBN: 951-22-6298-3

System innovations for greenhouse gas control. Siikavirta, H. 2001. Conference paper presented in Sustainable Services and Systems, 29–30 October 2001, Amsterdam, the Netherlands.

Muut kasvihuonekaasut kuin CO₂

HFC- ja PFC-yhdisteiden sekä SF₆:n päästöjen tekniset vähentämiskeinot ja niiden kustannukset Suomessa. Oinonen, Teemu; Soimakallio, Sampo. 2001. VTT Energia, Espoo. 154 s. + liitt. 17 s. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes: 2099. ISBN 951-38-5839-1; 951-38-5900-1. <Http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2001/T2099.pdf>

Abatement Options and Costs of Reducing HFC, PFC and SF₆ Emissions in Finland. Oinonen, T., Soimakallio, S. 2002. In: van Ham J., Baede A., Guicherit R., Williams-Jacobse J. (eds). Non-CO₂ Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control Options and Policy Aspects. Ss. 421–426. Millpress, Rotterdam Netherlands 2002. 714 s. (Kalvoina: <http://www.vtt.fi/pro/climtech/ncgg3.ppt>)

Jätehuollon toimenpiteiden merkitys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä - projektin yhteenveto. Tuhkanen, S., Sipilä, K. & Turkulainen, T. 2002. VTT Prosesit sisäinen raporttisarja, PRO/T7502/02, Espoo 4.2.2002. 19 s. (Yhteenvetoraportti)

Osaraportit:

1) Jätteiden määrät ja käsittely v. 2000 (L. Hietanen); 2) Jätteiden energiakäytön vaikutus GHG-päästöihin (E. Lohiniva, K. Sipilä, T. Mäkinen & L. Hietanen) <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2139.pdf>; 3) Jätteiden vaikutus kasvihuonekaasupäästöissä. Materiaalikierrätys ja jätteiden materiaalivirtojen kehitys (T. Turkulainen, A. Johansson); 4) Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiselle. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto (S. Tuhkanen) <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2142.pdf>

CO₂:n erotus ja hyötykäyttö

Capture of Carbon Dioxide from Power Plants. 2001. Liisa Aarikka, TUT, Tampere 2001. (Master of Science Thesis).

CO₂ capture, storage and utilisation in Finland. Koljonen, Tiina; Siikavirta, Hanne; Zevenhoven, Ron. 2002. Project report PRO4/T7504/02, VTT Processes, Espoo. 95 p.

Mineral carbonation for long-term storage of CO₂ from flue gases. Kohlmann, Jens; Zevenhoven, Ron; Mukherjee, Arun B.; Koljonen, Tiina. 2002. Report TKK-ENY-9, Helsinki University of Technology. Espoo, June 2002. 60 p. + App.

CO₂ Capture, Storage, and Reuse Potential in Finland. Koljonen, T., Siikavirta, H., Zevenhoven, R. & Savolainen, I. 2002. The Sixth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, 1–4 October 2002. Kyoto, Japan. <http://www.rite.or.jp/GHGT6/index.html>

Mallit ja järjestelmät

Suomen energiajärjestelmän ja päästöjen kehitysarvioita. Climtech-ohjelman skenaariotarkastelu. Lehtilä A. & Syri S. 2003. VTT Tiedotteita 2196, Espoo. 64 s. <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2003/T2196.pdf>

Greenhouse gas impacts of harvested wood products. Evaluation and development of reporting methods. Pingoud, K., Perälä, A.-L., Pussinen, A. & Soimakallio, S. 2003. VTT Research Notes 2189. Espoo. <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2003/T2189.pdf>

Suomen RECS-ryhmä. RECS-hankkeen arviointi. Electrowatt-Ekono. 49 s. + liitt.

Informaatioteknologian vaikutus energiatalouteen. Pursiheimo, E. & Hirvonen, R. 2002. Projektiraportti PRO4/T7532/02, VTT Prosessit, Espoo. 62 s.

Liikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuudet Suomessa. Kalenoja, Hanna; Mäntynen, Jorma; Kallberg, Harri; Jokipii, Tuomas; Korpela, Kari & Kulmala, Mika. 2002. Tampereen teknillinen korkeakoulu, liikenne- ja kuljetustekniikka. Tutkimuksia 48. 105 s.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia energiantuotantoon ja lämmitysenergian tarpeeseen. Tammelin B., Forsius J., Jylhä K., Järvinen P., Koskela J., Tuomenvirta H., Turunen M., Vehviläinen B. & Venäläinen A. 2002. Raportteja 2002:2, Ilmatieteen laitos. 121 s.

Paikalliset elinkeinot ilmastonmuutoksen hillinnässä Kaakkois-Suomessa. Lappalainen, Sami. 2002. Diplomityö/LTKK, Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Lappeenranta. 122 s. + liitt.

Kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen vaikutus muihin ilmansaasteisiin. Syri S. & Lehtilä A. 2003. VTT Tiedotteita 2186. Espoo. 71 s.
<http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2003/T2186.pdf>

Kaupallistaminen

Ilmastomyötäisten innovaatioiden juurruttaminen. Väyrynen, Erja; Kivisaari, Sirkku & Lovio, Raimo. 2002. VTT Tiedotteita 2175. Espoo. 111 s. + liitt. 40 s.
<http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2175.pdf>

Ilmastomyönteisen energiateknologian kaupallistamisen rahoitus. Pulkkinen, Matti; Lehtinen, Ville. 2002. LTT-Tutkimus Oy, Helsinki. 68 s.

Arvioita energiateknologioiden markkinoista lähivuosikymmeninä. Monni, Suvi; Soimakallio, Sampo & Ohlström, Mikael. 2003. Projektiraportti PRO4/P7501/03, VTT Prosessit, Espoo. 72 s.

Lisäksi Climtech-ohjelma tuotti mm. projektien tulosesitteet, lukuisia esitelmiä ja lehtiartikkeleita (ks. www.climtech.vtt.fi)



HANDELS- OCH INDUSTRIMINISTERIET

Besöksadress

Postadress

Alexandersgatan 4
00170 HELSINGFORSPB 32
00023 STATSRÅDETTelefon (09) 16001
Telefax (09) 1606 3666

Publikationsseriens namn och kod

HIM Publikationer

1/2005

Författare		Publiceringstid
M.Ohlström, I.Savolainen VTT Processer		Februari 2005
		Uppdragsgivare
		Handels- och industriministeriet
		Organets tillsättningsdatum
Titel		
Teknologi för reduktion av växthusgasutsläpp – Bakgrundsarbete för uppdatering av den nationella klimatstrategin		
Referat		
<p>Den nationella klimatstrategin drar upp riktlinjer för hur Finland åren 2008–2012 kommer att uppnå Kyoto-målet i sina växthusgasutsläpp som en del av EU:s bördefördelning. Klimatstrategin blev klar år 2001 och som bakgrundsmaterial vid beredningen av den beställdes en översikt över den teknologi som reducerar växthusgasutsläppen.</p> <p>Klimatstrategin verkställs och dess riktlinjer inbegrips i statsförvaltningens åtgärder. Under den tid då strategin bereddes hade många av den internationella klimatpolitikens spelregler ännu inte klarnat, men senare har regler bl.a. för mekanismer och sänkor blivit klara och Rysslands ratificering beäste möjligheterna att använda mekanismerna. Sedan strategin blivit klar framskred EU:s utsläppshandel snabbt från ett förslag till direktiv till verkställande av det.</p> <p>Med dessa utgångspunkter och med regeringsprogrammet som vägledning förnyas klimat- och energistrategin som bäst. Som en del av förnyandet av klimat- och energistrategin beställde handels- och industriministeriet denna utredning om teknologi för reduktion av växthusgasutsläpp. Eftersom den tidigare utredningen inte är särskilt gammal, och ingen betydande utveckling har skett i de teknologier som togs upp i den, koncentrerar man sig i denna utredning på de delar som antingen inte alls eller inte tillräckligt noggrant behandlades i den föregående utredningen. De delar som nu behandlats är: vätgasteknologi och förbränningsceller, flytande biobränslen och biogas samt metallbearbetning och mineralindustrin.</p> <p>Kontaktperson på Tekes har teknologisakkunnige Sami Tuhkanen varit och på HIM överingenjör Timo Ritonummi. Följande personer från VTT Processer har varit med och skrivit rapporten: Ilkka Savolainen och Mikael Ohlström (inledning och sammandrag), Rolf Rosenberg (kapitel 2 som behandlar vätgasteknologi och bränsleceller), Tuula Mäkinen (kapitel 3 som behandlar flytande biobränslen och biogas), Mikko Hongisto (kapitel 4–5 som behandlar metallbearbetning samt mineralindustrin). Rapporten har redigerats av Mikael Ohlström och Ilkka Savolainen från VTT Processer.</p> <p>HIM:s kontaktperson: Energiavdelningen/Timo Ritonummi, tfn (09) 1606 4798.</p>		
Nyckelord		
klimatstrategi, teknologi		
ISSN		ISBN
1459-9376		951-739-850-6
Sidoantal	Språk	Pris
182	Finska	27 €
Utgivare		Förläggare
Handels- och industriministeriet		Edita Publishing Ab



MINISTRY OF
TRADE AND INDUSTRY

Aleksanterinkatu 4

P.O. Box 32

Tel. +358 9 16001

FIN-00170 Helsinki
FINLAND

FIN-00023 GOVERNMENT
Helsinki FINLAND

Telefax +358 9 1606 3666

Series title and number of the publication

MTI Publications

1/2005

Authors M. Ohlström, I. Savolainen VTT Processes		Date February 2005
		Commissioned by Ministry of Trade and Industry
		Date of appointment
Title Technology for Reducing Greenhouse Gas Emissions – Background Study for Updating the National Climate Strategy		
Abstract Our National Climate Strategy outlines how Finland will during the period 2008–2012 meet the Kyoto target in her greenhouse gas emissions as part of the EU's burden sharing. The Climate Strategy was completed in 2001 and in its drafting a survey of the technology reducing greenhouse gas emissions was commissioned as background material. The Climate Strategy will be implemented in and its outlines will be applied to the measures by the public administration. During the drafting of the Strategy many of the rules of the game of the international climate policy were still unclear, but subsequently e.g. the rules of the mechanisms and sinks have been completed and the ratification by Russia ensured the application possibilities of the mechanisms. After the completion of the Strategy, emissions trading in the EU progressed rapidly from the proposal of a directive into implementation. The Climate and Energy Strategy is being revised on these bases and regulated by the Government Programme. The Ministry of Trade and Industry commissioned this study on the technology reducing greenhouse gas emissions as part of the revision of the Climate and Energy Strategy. As the previous study is not yet very outdated and no significant development has taken place in the technologies presented in it, this study focuses on the parts that the previous study did not deal with at all or in sufficient detail. The parts now studied are: hydrogen technology and fuel cells, bio fuels and bio gas, as well as metal refining and the mineral industry. Technology Expert Sami Tuhkanen from the National Technology Agency Tekes and Senior Engineer Timo Ritonummi from the Ministry of Trade and Industry have been the contact persons. The following experts from VTT Processes participated in writing this report: Ilkka Savolainen and Mikael Ohlström (Introduction and Summary), Rolf Rosenberg (Chapter 2, Hydrogen Technology and Fuel Cells), Tuula Mäkinen (Chapter 3, Bio Fuels and Bio Gas), Mikko Hongisto (Chapters 4–5, Metal Refining and Mineral Industry). The editors of this report are Mikael Ohlström and Ilkka Savolainen from VTT Processes. MTI contact: Energy Department/Timo Ritonummi, tel. +358 9 1606 4798.		
Key words Climate strategy, technology		
ISSN 1459-9376		ISBN 951-739-850-6
Pages 182	Language Finnish	Price 27 €
Published by Ministry of Trade and Industry		Sold by Edita Publishing Ltd