

# **Vihreän energian kriteerit ja elinkaariarviointi energiatuotteiden ympäristökilpailukyvyn arvioinnissa**

Helena Mälkki, Mikko Hongisto, Tarja Turkulainen,  
Jaakko Kuisma & Torsti Loikkanen

VTT Kemiantekniikka



ISBN 951-38-5466-3  
ISSN 1235-0605

ISBN 951-38-5467-1 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1999

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Kemiantekniikka, Ympäristötekniikka, Tekniikantie 4 B, PL 14031, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7043

VTT Kemiteknik, Miljöteknik, Teknikvägen 4 B, PB 14031, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7043

VTT Chemical Technology, Environmental Technology, Tekniikantie 4 B, P.O.Box 14031, FIN-02044  
VTT, Finland, phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7043

Toimitus Maini Manninen

Libella Painopalvelu Oy, Espoo 1999

Mälkki, Helena, Hongisto, Mikko, Turkulainen, Tarja, Kuisma, Jaakko & Loikkanen, Torsti. Vihreän energian kriteerit ja elinkaariarviointi energiatuotteiden ympäristökilpailukyvyn arvioinnissa [Green energy criteria and life cycle assessment in assessing environmental competitiveness of energy products]. Espoo 1999, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1974. 117 s. + liitt. 24 s.

**Avainsanat** green energy, electricity markets, life-cycle assessment, environmental impacts, environmental labelling, environmental protection, energy production, power generation, benchmarking, requirements

## Tiivistelmä

Energiamarkkinoiden avautuminen on lisännyt tarvetta energiantuotantoketjun tietopohjan laajentamiseen, ympäristölaadun läpinäkyvään selvittämiseen sekä sen uskottavaan viestintään. Energian hankinnan, tuotannon ja myynnin valmiuksia tukea asiakkaiden energiavalintoja ja vastata eri sidosryhmien tiedontarpeisiin voidaan vahvistaa.

Energiatuotteiden ympäristövaikutuksista on muodostumassa yksi merkittävä kilpailukyvyn ulottuvuus. Tämä avaa mahdollisuuksia myös markkinavetoisen ympäristönsuojelun edistämiseksi ja koko energiantuotantojärjestelmän laajuisten kannustinten rakentamiselle. Tietämystä eri energiatuotteiden ympäristövaikutuksista voidaan lisätä monin toisiansa täydentävin keinoin kuten ympäristöselosteilla, ympäristömerkinnöillä ja tuotteiden elinkaariarvioinneilla.

Elinkaariarviointi muodostaa systemaattisen tietoperustan, joka tukee erilaisille sidosryhmille suunnattua ympäristöviestintää. Tässä tutkimuksessa vertailtiin julkisia energiantuotannon elinkaariarviointeja, kartoitettiin vihreän energian kriteeristöjä sekä arvioitiin niiden kehitysnäkymiä. Näiden lisäksi työssä hahmoteltiin elinkaariarviointiin perustuvien suhteellisten ympäristöindikaattoreiden avulla muodostettavan läpinäkyviä vertailuja tukevan järjestelmän kehittämistä.

Eri energiamuodoista tehtyjen julkisten elinkaaritutkimusten metodologisten erojen kartoitus osoitti, että eroja on mm. allokointiperiaatteissa, tarkastellun ketjun rajauksissa sekä lähtötietojen iässä ja monissa muissa yksityiskohdissa. Nämä tutkimusten väliset eroavuudet tulisi tuntea, koska ne vaikuttavat myös lopputuloksiin. Tästä johtuen saatavilla olevien tutkimusten elinkaaritiedon käyttäminen vertailuväitteiden muodostamiseen voi olla ongelmallista.

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa paikallisten luonnonsuojeluliittojen toimesta käytönotetussa Ekoenergian kriteeristössä hyväksynnän ehtona on energianlähteen uusiutuus. Tällä pyritään mm. parantamaan uusiutuvien energiamuotojen kilpailuasemaa.

Niiden käytön lisääminen nähdään oleellisena keinona kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä.

Energiamarkkinoiden avautuminen mahdollistaa energiatuotteiden ympäristölaatua parantavien kannustinjärjestelmien vahvistamisen ja laajentamisen sekä uusiutuvan että uusiutumattoman tuotannon osuudelle. Tämä edellyttää kaikkiin energiatuotteisiin laajennettavan mahdollisimman vertailukelpoisen, läpinäkyvän, modulaarisen ja päivitettävissä olevan tiedon tuottamista, mikä tukisi tehokkaasti energiantuottajien ja asiakkaiden sekä muiden intressiryhmien välistä viestintää ja edistäisi siten myös päätöksiin ja valintoihin liittyvän ympäristövastuun jakautumista tasaisemmin eri osapuolille.

Mälkki, Helena, Hongisto, Mikko, Turkulainen, Tarja, Kuisma, Jaakko & Loikkanen, Torsti. Vihreän energian kriteerit ja elinkaariarviointi energiatuotteiden ympäristökilpailukyvyn arvioinnissa [Green energy criteria and life cycle assessment in assessing environmental competitiveness of energy products]. Espoo 1999, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1974. 117 p. + app. 24 p.

**Keywords** green energy, electricity markets, life-cycle assessment, environmental impacts, environmental labelling, environmental protection, energy production, power generation, benchmarking, requirements

## Abstract

The liberalisation of energy markets has increased the need to enlarge the information base of fuel chains, to evaluate the environmental quality of energy products transparently and to communicate results in a credible way. The preparedness of energy purchasers, producers and sellers to support energy choices of their customers and to meet the information requirements of various stake holders can be strengthened.

The environmental impacts related to energy products are turning into a significant dimension of competitiveness. Possibilities to promote market-driven environmental protection mechanisms and to construct incentives, which cover the whole energy production system exist and can be supported. Knowledge of environmental impacts of various energy products can be increased by means of several supplementary instruments like eco-profiles, environmental labels and life cycle assessments of products.

Life cycle assessment forms a systematic basis of information, which supports the environmental communications directed to various stake holders. In this study selected public LCA-studies concerning energy production have been compared, criteria of green energy have been charted and their outlook has been assessed. In addition the development of an LCA-based relative environmental performance indicator system, which supports various transparent comparisons, has been outlined.

The mapping of methodological differences of published LCA-studies regarding various energy alternatives proves, that there is differences e.g. in allocation principles, system boundaries, and age of source information and in many other details. These discrepancies should be known, because they also affect the results. That is why the use of available LCA studies as a basis for comparative assertions may be problematic.

The renewability of an energy source is a threshold requirement in eco-energy criteria formulated and introduced by Finnish, Swedish and Norwegian nature conservation associations. One central aim of such a criteria is to improve the competitiveness of

renewable energy resources. Increased use of renewable energy resources is considered to be an essential mean to decrease greenhouse gas emissions.

The liberalisation of energy markets makes it possible to reinforce and enlarge incentives, which improve the environmental quality of energy products, covering both renewable and non-renewable components. This requires the production of as comparative, transparent, modular and updateable information as possible. Such information promotes effectively the communication between energy producers and their customers and other interest groups and would thus also promote a more even distribution of environmental responsibility of choices and decision-making among different parties.

# Alkusanat

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vihreän energian kriteerejä, julkisia energiantuotannon elinkaariarviointeja sekä tiedon tuottamista energiatuotteiden ympäristökilpailukyvyn arviointiin. Tutkimuksessa myös hahmoteltiin elinkaari pohjaisten ympäristövaikutusindikaattoreiden kehittämistä energiayhtiöiden ja energiankäyttäjien tiedon tarpeisiin. Työssä esitetään toimintamalli, jonka avulla voidaan tukea koko energiajärjestelmän laajuista jatkuvan parantamisen mekanismia.

Tutkimuksen rahoittivat Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), Gasum Oy, Neste Oy, Helsingin Energia, Vantaan Energia ja VTT Kemiantekniikka. Tutkimuksen teki Teollisuuden ympäristötalouden ryhmä VTT Kemiantekniikan ympäristötekniikassa ja projektin vastuullisena johtajana toimi ryhmäpäällikkö Torsti Loikkanen ja projektipäällikkönä erikoistutkija Helena Mälkki. Raportin tekemiseen ja kirjoittamiseen antoivat tärkeän panoksen VTT Kemiantekniikan tutkijat Mikko Hongisto ja Tarja Turkulainen sekä tutkimusharjoittelija Jaakko Kuisma. Projektin johtoryhmään kuuluivat:

Björn Ahlnäs, puh.joht.	Gasum Oy
Jouko Helenius	Vantaan Energia
Janne Jokinen	Neste Energy
Pekka Karinen	Gasum Oy
Torsti Loikkanen	VTT Kemiantekniikka
Jari Luukkonen	WWF
Helena Mälkki, siht.	VTT Kemiantekniikka
Christer Paltschik	Gasum Oy
Raija Pikku-Pyhältö	TEKES
Marja Pirinen	WWF
Hilkka Vahervuori	Neste Oy
Tapio Öhman	Helsingin Energia

Projektipäällikkö kiittää kaikkia mukana olleita tahoja innostavasta ja aktiivisesta osallistumisesta tutkimukseen.

Espoossa 1.3.1999

Helena Mälkki

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	5
Alkusanat .....	7
Lyhenteet ja yksiköt .....	10
Käsitteiden määritelmiä .....	15
1. Johdanto .....	20
1.1 Sähkömarkkinoiden vapautuminen ja energian ympäristömerkintä .....	20
1.2 Energian ympäristömerkinnän toimintaympäristöstä .....	21
2. Tutkimuksen tavoitteet .....	23
3. Energian ympäristöluokittelun ulottuvuudet .....	24
3.1 Energian lähde luokittelun perusteena .....	26
3.2 Tuotantoteknologia luokittelun perusteena .....	28
3.3 Ympäristökuormitukset luokittelun perusteena .....	28
3.4 Ympäristövaikutuksiin perustuva luokittelu .....	31
3.5 Energiatuotteiden ympäristövaikutusten vertailun problematiikkaa .....	34
3.6 Sähkön ja lämmön yhteistuotannon hyötyjen ja haittojen kohdentaminen .....	35
3.6.1 Energiasisältöön perustuva jako .....	37
3.6.2 Exergiasisältöön perustuva jako .....	37
3.6.3 Tuotteiden hintaan perustuva jako .....	38
3.6.4 Muuntokertoimiin perustuva jako .....	38
3.6.5 Päästöjen kohdistus ilman jakoa .....	39
3.6.6 Kohdentamisperiaatteiden vertailua .....	39
3.6.7 Hyödykekorajattelu .....	41
4. Uusiutuvien energianlähteiden käyttö ja potentiaalit Suomessa .....	43
5. Vihreän energian kriteerien tilannekatsaus .....	46
5.1 Suomi .....	46
5.1.1 Suomen luonnonsuojeluliitto .....	46
5.1.2 Kainuun Sähkö Oyj .....	50
5.1.3 Imatran Voima Oy .....	51
5.1.4 Helsingin Energia .....	52
5.1.5 Ympäristöministeriö (YM) .....	52
5.1.6 Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) .....	53
5.1.7 Suomen Standardisoimisliitto SFS ry .....	53
5.1.8 Energia-alan Keskusliitto ry Finergy .....	54
5.2 Kansainvälinen tilanne .....	55
5.2.1 Ruotsi .....	55
5.2.2 Norja .....	56
5.2.3 Alankomaat .....	57
5.2.4 Yhdysvallat .....	57



5.2.5	Kanada.....	58
5.2.6	Australia.....	58
5.2.7	Tanska.....	59
5.3	Arvioita vihreän energian kriteerien kehitysnäkymistä.....	59
5.3.1	Tutkimuksia kansalaismielipiteistä.....	59
5.3.2	Vihreän energian kriteereiden käyttötarkoituksia.....	61
5.3.3	Kysynnän ja tarjonnan tasapaino.....	62
5.4	Ympäristömerkinnän mahdollisuuksista ja kehittämisestä.....	63
6.	Energiamuotojen ympäristökuormitusten vertailua tehtyjen elinkaariarviointien pohjalta.....	66
6.1	Lähtökohta.....	66
6.2	Energiamuotojen tutkimuskohtaisia vertailuja.....	67
6.2.1	Energia-Ekono Oy.....	68
6.2.2	ETH.....	72
6.2.3	Imatran Voima Oy.....	73
6.2.4	Vattenfall Ab.....	75
6.2.5	Euroopan komission ExternE-projekti.....	77
6.3	Tutkimusten keskinäisiä tulosvertailuja.....	80
6.3.1	Maakaasu.....	80
6.3.2	Kivihiili.....	82
6.3.3	Puu.....	84
6.4	Tutkimusten ja polttoaineiden väliset vertailut.....	85
7.	Vertailukehikko eri tutkimusten metodologisten erojen kartoittamiseksi.....	90
8.	LCA-tiedon liittämistä päätöksentekoprosessiin.....	95
8.1	Ympäristövaikutusindikaattoreiden muodostaminen.....	97
8.2	Ympäristövaikutusindikaattorin suhteellistaminen.....	101
9.	Johtopäätöksiä.....	105
10.	Jatkotutkimustarpeita.....	108
	Lähdeluettelo.....	110

## LIITTEET

- Liite A. Finergyn suositus sähkön tuoteselosteeksi
- Liite B. Suomen luonnonsuojeluliiton sähköntuotannon ympäristökriteerit
- Liite C. Suomen luonnonsuojeluliiton lämmöntuotannon ympäristökriteerit
- Liite D. Listaus energiamuodoista tehdyistä LCA-, polttoaineketju- ja ekotasetietoja sisältävistä tutkimuksista
- Liite E. Bra Miljöval -hyväksyttyä sähköä tuottavat yhtiöt
- Liite F. Polttoainekohtaiset vertailutaulukot eri tutkimusten tuloksille

## Lyhenteet ja yksiköt

ADP	Uusiutumattomien luonnonvarojen loppuunkulumispotentiaali (Depletion Potential for Abiotic Natural Resources)
AFBC	Ilmanpaineinen leijukerros poltto (Atmospheric Fluidized Bed Combustion)
AP	Happamoitumispotentiaali (Acidification Potential)
BAT	Paras saatavilla oleva teknologia (Best Available Technology)
BDP	Uusiutuvien luonnonvarojen loppuunkulumispotentiaali (Depletion Potential for Biotic Natural Resources)
BFB	Leijukerroskattila, jossa kupliva leijupeti (Bubbling Fluidized Bed)
BOD	Biologinen hapenkulutus (Biological Oxygen Demand)
CBA	Kustannus-hyötyanalyysi (Cost-Benefit Analysis)
CCGT	Voimalaitos, jossa sähköä tuotetaan sekä kaasua että höyryturbiinilla eli ns. kombivoimalaitos (Combined Cycle Gas Turbine)
CEA	Kustannus-tehokkuusanalyysi (Cost-Effectiveness Analysis)
CFB	Kiertoleijupetikattila (Circulized Fluidized Bed)
CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (Combined Heat and Power)
COD	Kemiallinen hapenkulutus (Chemical Oxygen Demand)
CO <sub>2</sub> -ekv	Hiilidioksidiekvivalentti
CFC's	Kloorifluorihilivedyt
EA	Ympäristöauditointi (Environmental Audit)
EC	Euroopan komissio
EIA	Ympäristövaikutusten arviointi (Environmental Impact Assessment)

EP	Rehevöitymispotentialiaali (Eutrophication Potential)
ETP	Ekotoksisuuspotentialiaali (Eco-Toxicity Potential)
ExternE	Euroopan komission ulkoiskustannusten tutkimusprojekti
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich (Swiss Federal Institute of Technology). Julkaissut energiantuotannon elinkaaritietokannan <i>Ökoinventare von Energiesystemen</i>
FGD	Savukaasujen rikinpoisto (Flue Gas Desulfurization)
FINERGY	Energia-alan Keskusliitto ry
GCC	Kaasutuskombi (Gasification combined cycle)
GWP	Hiilidioksidiekvivalentin laskennassa käytettävä kerroin (Global Warming Potential)
IGCC	Voimalaitos, jossa kiinteän polttoaineen kaasutus on liitetty kombivoimalaitokseen (Integrated Gasification Combined Cycle)
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastopaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISO	International Standardization Organisation
IVO	Imatran Voima Oy
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö
LCA	Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment)
LCI	Elinkaari-inventaario (Life Cycle Inventory)
LOF	Maankäyttöindeksi (Land Occupation Factor)
MFA	Materiaalivirta-analyysi (Material Flow Analysis)
MIA	Materiaalisyöteanalyysi (Material Input Analysis)

NMVOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, paitsi metaani (Non-Methane VOC)
NNV	Norges Naturvernforbund, Norjan luonnonsuojeluliitto
ODP	Otsonikerroksen ohenemispotentiaali (Ozone Depletion Potential)
PF	Hienoksi jauhettu polttoaine (Pulverized Fuel)
PFBC	Paineistettu leijukerros poltto (Pressurised Fluidized Bed Combustion)
PM-X	Alle X µm halkaisijaltaan olevat pienhiukkaset
POCP	Valokemiallisten yhdisteiden muodostumispotentiaali (Photochemical Ozone Creation Potential)
POK	Kevyt polttoöljy
POR	Raskas polttoöljy
PV	Aurinkosähkö (Photovoltaics)
RA	Riskianalyysi (Risk Analysis)
SCR	Selektiivinen katalyyttinen menetelmä typen oksidien poistamiseksi savukaasuista (Selective Catalytic Reduction)
SEEP	Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta
SFS	Suomen standardisoimisliitto ry
SLL	Suomen luonnonsuojeluliitto ry
SNF	Sveriges Naturskyddsföreningen
T	Yleisnimitys kombivoimalaitoksissa käytettävästä korkeamman lämpötilan prosessista, jossa alempi prosessi ottaa hyödyksi korkeammalla lämpötilatasolla toimivasta prosessista poistuvan (ja muuten hukkaan menevän) lämpöenergian. (Topping Cycle)
THC	Hillivedyt (Total Hydro Carbons)

TSP	Hiukkasten kokonaisleijuma, suspensiohiukkaset (Total Suspended Particles)
UK	Iso-Britannia
UCPTE	Keski-Euroopan sähköntuottajien unioni
US-DOE	Yhdysvaltain energiaministeriö
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compounds)
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
WWF	Maailman Luonnon Säätiö
YM	Ympäristöministeriö

## Energiayksiköt

toe	ekvivalenttinen öljytonni	k	kilo	1 000
kWh	kilowattitunti	M	mega	1 000 000
J	joule	G	giga	1 000 000 000
		T	tera	1 000 000 000 000

	toe	MWh	GJ
toe	1	11,28	40,61
MWh	0,0886	1	3,6
GJ	0,0246	0,278	1

## Käsitteiden määritelmiä

Aihepiirin ollessa voimakkaan kehityksen kohteena saattavat tässä esitetyt käsitteiden määritelmät vielä muuttua ja osalle niistä voidaan esittää useita perusteltavissa olevia vaihtoehtoisia määritelmiä. Lisää määritelmiä löytyy mm. Ympäristötietous-www-sivuilta (Ympäristötietous 1998).

**Allokointi:** Kohdentaminen. Prosessin syöte- ja tuotosvirtojen jakaminen tutkittavaan tuotejärjestelmään (ISO 14040).

**Arvo:** mm. valintataipumus (Allardt 1983). Sanalla arvo saatetaan eri yhteyksissä tarkoittaa eri asioita.

**Arvottaminen:** Elinkaariarvioinnissa vaihe, jossa eri vaikutusluokkien merkitykset painotetaan niiden keskinäisen vertailun mahdollistamiseksi (Consoli et al. 1993). Arvottamisella tarkoitetaan menettelyä, jossa tarkasteltaville sinänsä yhteismitattomille tekijöille/vaikutuksille/seikoille tms. pyritään löytämään tavalla tai toisella niiden (subjektiiivista) merkitystä tai tärkeyttä kuvaavat painokertoimet tai arvot. (Arvottamiselle ei voitane muodostaa kiistatonta määritelmää mm. siksi, että eri tieteenalat ja -koulukunnat määrittelevät arvot eri tavoin).

**Avoimuus:** Tiedon avoin, perusteellinen ja ymmärrettävä esittäminen (ISO 14040).

**Biodiversiteetti:** Luonnon biologinen monimuotoisuus.

**Bra miljöval:** Ruotsin luonnonsuojeluliiton ympäristömerkintäjärjestelmä ja merkki 'hyvä ympäristövalinta', jonka piirissä 24.8.1998 oli 13 tuoteryhmää.

**Ekobrändi:** Ekologisuuten vetoava tuotemerkki.

**Ekoenergia:** Suomen luonnonsuojeluliiton käyttämä käsite sellaisista energiatoimituksista, jotka täyttävät SLL:n ekoenergiakriteeristön vaatimukset. Käsitteeseen liittyy myös tuotemerkki.

**Ekoleima:** Hyväksynnän osoittava leima tai merkintä, joka voidaan liittää ekokriteerit täyttävän kaupan asiakirjoihin.

**Ekoprofiili:** Määrällinen arvio jonkin tarkasteltavan systeemin (prosessin, laitoksen, palvelun jne.) energia- ja materiaalivirroista (ml. päästöt ja jätteet). Määritelmä vakiintumaton, ks. ympäristötuoteseloste.

**Ekosähkö:** Mm. Kainuun Sähkö Oy:n käyttämä nimi vesi- ja tuulivoiman, puuhakkeen ja –jätteen sekä biopolttoaineiden avulla tuotetulle sähkölle. Nimeen liittyy myös tuotemerkki EKOsähkö. Ekosähkö-sanaa on käytetty myös yleisnimenä 'ekologisesti tuotetulle sähkölle'.

**Ekotase:** Materiaali- ja energiatase, jolla voidaan kuvata karkeasti tuotteen, yrityksen tai toimipaikan ympäristövaikutuksia määrällisesti. Käytetään sekä synonyyminä ekoprofiilin kanssa että kuvaamaan tiettyä osaa elinkaaresta. Ei pidä sisällä välttämättä tarkasteltavan systeemin koko elinkaaren kattavia energia-, päästö-, jäte- yms. tietoja. Määritelmä vakiintumaton.

**Exergia:** Se osuus energiasta, joka voidaan muuttaa liike-energiaksi.

**Elinkaari:** Tuotejärjestelmän peräkkäiset tai vuorovaikutteiset vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tai luonnonvarojen tuottamisesta loppukäsittelyyn (ISO 14040).

**Elinkaariajattelu:** Asioiden tarkastelunäkökulma, jossa otetaan huomioon eri elinkaarivaiheiden aikaiset ympäristökuormitukset.

**Elinkaariarviointi:** Tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden ja tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten koostaminen ja arviointi (ISO 14040). Käytetty myös nimeä "Elinkaarianalyysi".

**Elinkaari-inventaario:** Elinkaariarvioinnin vaihe, jossa eritellään tuotteeseen tai toimintaan liittyvät materiaali- ja energiavirrat raaka-aineiden käyttönä ja ympäristövaikutuksina, ks. Inventaarioanalyysi (Tekniikan sanastokeskus 1998, s. 122).

**Energiatuote:** Yleisnimi asiakkaille tarjottaville erilaisille sähköenergiatuotteille sekä höyry- ja lämpöenergiavirroille.

**Epävarmuusanalyysi:** Menettely, jolla todetaan ja ilmaistaan määrällisenä tuloksiin sisältyvä tunnistettavissa oleva epävarmuus. ISO 14041:ssä epävarmuusanalyysi määritellään seuraavasti: se on järjestelmällinen menettely, jolla todetaan ja ilmaistaan määrällisenä inventaarioanalyysin tuloksiin sisältyvä epävarmuus, joka aiheutuu syötettävän tiedon epävarmuuden ja vaihtelun kumuloitumisesta (ISO 14041).

**Hiilidioksidiekvivalentti:** Hiilidioksidimäärä, jolla on sama vaikutus ilmastoon kuin tarkasteltavalla muun kaasun määrällä. Hiilidioksidiekvivalentin suuruus riippuu tarkastelun aikavälistä.



**Hyötysähkö:** Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa korkealla kokonaishyötysuhteella tuotettu sähkö. Kahdentoista kaupungin ml. Helsingin Energian ja Vantaan sähkölaitoksen markkinoinnissaan käyttämä tuotemerkki.

**Indikaattori:** Väline tai mitta (indeksi), jolla seurataan asetettujen tavoitteiden toteutumisista (esimerkiksi yhtiön ympäristösuorituskyvyn tai jonkin ympäristön laatudimension paranemista). Indikaattori voi olla kvalitatiivinen tai kvantitatiivinen.

**Inventaarioanalyysi:** Elinkaariarvioinnin vaihe, jossa annetun tuotejärjestelmän elinkaaren aikaiset syötteet ja tuotokset yhdistetään ja kuvataan määrällisinä (ISO 14040).

**Karakterisointikerroin:** Elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnissa käytettyyn malliin sisältyvä kerroin, jota käytetään muuntamaan elinkaari-inventaarion tulokset ympäristövaikutusluokan yksiköksi (ISO/DIS 14042).

**Kioton protokolla:** Kansainvälinen sopimus, jossa mm. teollisuusmaat ensimmäisen kerran sitoutuivat vähentämään kasvihuonekaasujensa päästöjä.

**Kombivoimalaitos:** Laitos, johon sisältyy sekä höyryturbiini että kaasuturbiini ja jonka hyötysuhde on tästä johtuen korkea

**Kriteeri:** Esimerkiksi indikaattorin ominaisuuksiin liittyvä vaatimustaso (tai myös las-  
kentaperuste).

**Luomusähkö:** Joidenkin toimittajien käyttämä nimi luonnonmukaisesti tuotetulle sähkölle. Käsitettä ei voitane pitää suositeltavana, koska maa- ja metsätalousministeriö/kasvintuotannon tarkastuskeskus ja Luomuliitto määrittelevät luomukriteerit elintarvikkeille, eikä niillä ole tekemistä sähkön ympäristökriteerien määrittelyn kanssa. Suomessa on kaksi erilaista rekisteröityä luomutuotemerkkiä (virallinen ja yhdistyksen antama).

**Painotus:** Elinkaariarvioinnissa vaikutusarvioinnin vaihe, jossa vaikutusindikaattorin tuloksia muunnetaan arvovalintaisten numerokertoimien avulla (ISO/DIS 14042). Ks. arvottaminen.

**Rakennusaste:** Yhteistuotantolaitoksessa tuotetun sähkön määrän suhde tuotettuun lämpömäärään.

**Sidosryhmä:** Yksilö tai ryhmä, johon organisaation ympäristönsuojelun taso vaikuttaa tai jota se koskee (ISO 14001).

**Toiminnallinen yksikkö:** Tuotejärjestelmän määrällinen suorituskky, jota käytetään referenssiyksikkönä elinkaariarviointiselvityksessä (ISO 14040, esim. 1 kWh sähköenergiaa).

**Tuoteseloste:** Merkintä, josta ilmenee tuotteen koostumus ja mahdollisesti myös se, mitä ominaisuuksia tuotteella on.

**Vaikutusarviointi:** Elinkaariarvioinnin vaihe, jonka päämääränä on selvittää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten suuruutta tai kuten ISO 14040:ssä esitetään: elinkaariarvioinnin vaihe, jonka tarkoituksena on ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä.

**Vaikutusluokka:** Luokka, joka edustaa tarkasteltavia ympäristöaiheita ja johon inventaarioanalyysin tuloksia osoitetaan (ISO/DIS 14042).

**Vaikutusluokka-indikaattori:** Vaikutusluokkaa edustava määrällinen mittari (ISO/DIS 14042).

**Vertailuväite:** Tuotteen samaan käyttötarkoitukseen tarkoitettuun kilpailevaan tuotteen kohdistuva paremmuutta tai samanlaisuutta koskeva ympäristöväite. (ISO 14040)

**Vihreä sähkö:** Yleisnimi uusiutuvia energianlähteitä hyödyntävillä teknologioilla tuotetulle sähkölle.

**Yksikköprosessi:** Tuotejärjestelmän pienin osa, josta kerätään tietoa elinkaariarviointia suoritettaessa (ISO 14040).

**Ympäristöluokittelu:** menettely, jossa luokitellaan esimerkiksi eri energian-tuotantolaitoksia tai -tekniikoita tai yritysten tuotteita tiettyjen valittujen ominaisuuksien suhteen.

**Ympäristömerkki:** Kolmannen osapuolen myöntämä merkki tuotteelle tai palvelulle, joka täyttää tietyt ympäristövaatimukset (Tekniikan sanastokeskus 1989, s. 124).

**Ympäristöraportti:** Organisaation julkaisema raportti, jossa kuvataan organisaation ympäristöpolitiikka ja ympäristöpäämääriä ja –tavoitteita sekä näiden toteutusta tietyllä ajanjaksolla (Tekniikan sanastokeskus 1998, s. 116).

**Ympäristösertifikaatti:** Todistus siitä, että organisaatio tai järjestelmä on yhdenmukainen määritettyjen ympäristövaatimusten kanssa.

**Ympäristösertifiointi:** toimi, jolla asianosaisista riippumaton elin tai henkilö todistaa, että tuote, organisaatio tai järjestelmä on yhdenmukainen määritettyjen ympäristövaatimusten kanssa. Ympäristösertifiointi osoitetaan yleensä todistuksella (sertifikaatti) tai merkillä (esim. ympäristömerkki), jolloin asiakas saa varmuuden siitä, että hyödyke täyttää ennalta määritetyt vaatimukset (Tekniikan sanastokeskus 1989, s. 123).

**Ympäristötase:** vrt. ekotase.

**Ympäristö(tuote)seloste:** kolmannen osapuolen myöntämä tai todentama merkintä, jossa eritellään tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksiin liittyviä ominaisuuksia (Tekniikan sanastokeskus 1998, s. 124).

**Ympäristövaikutus:** jonkin tekijän tai joidenkin tekijöiden aiheuttama muutos ympäristössä (Tekniikan sanastokeskus 1989, s. 49) tai mikä tahansa haitallinen tai hyödyllinen muutos ympäristössä, joka on kokonaan tai osittain organisaation toimintojen, tuotteiden tai palvelujen seurausta (ISO 14001).

# 1. Johdanto

## 1.1 Sähkötömarkkinoiden vapautuminen ja energian ympäristömerkintä

Sähkötömarkkinoiden vapautuminen pienkuluttajille syyskuussa 1998 ja sen synnyttämä kilpailutilanne ovat avanneet asiakkaille mahdollisuuden vaikuttaa kysynnän kautta sähköntuottajayhtiöiden toimintaan. Eri energiamuodot ovat jo pitkään kilpailleet keskenään. Hinnan lisäksi myös muut ominaisuudet voivat vaikuttaa siihen, miten asiakkaat valitsevat energiaa toimittavan energiayhtiön ja energiatuotteen.

Ympäristövaikutusten merkitys polttoaineiden ja teknologioiden valinnassa ja muissa energiakysymyksissä on kasvanut jatkuvasti. Eräs kysymys koskee sitä, millaisilla kriteereillä eri energiamuotojen ympäristömyötäisyyttä voitaisiin tarkastella ja verrata keskenään. Tämä aihepiiri on tärkeä sekä energian ympäristömerkintäpäästösten että niiden ympärillä käytävän keskustelun kannalta. Energiamuotojen ympäristömyötäisyyttä kuvaavia läpinäkyviä ja kattavia indikaattoreita tarvitsevat toisaalta niin energia- ja ympäristöpoliittisista ohjaukeinoista päättävät tahot kuin vapaaehtoisia valintoja tekevät yritykset ja kuluttajat sekä näiden päätöksentekoa merkintäjärjestelmillä edesauttavat järjestötkin.

Eri energiantuotantomuotojen ympäristömyötäisyyttä koskevien kriteeristöpäästösten uskottavuuden kannalta on olennaista, millaisin analyysien, tiedoin ja arvoin valittuja kriteerejä perustellaan. Sähkön- ja energiantuotannon eri tuotantoteknologioiden ympäristövaikutuksiin ja niitä koskeviin tietoihin liittyy runsaasti epävarmuuksia, mistä syystä uskottavien kriteerien luomisessa olisi suosittava moniulotteisia eri menetelmiin perustuvia tarkasteluja. Kriteerejä voidaan perustella menetelmillä, jotka systemaattisimmin antavat tarvittavia vastauksia eri energiamuotojen erilaisista ympäristöominaisuuksista laajimmalle kuviteltavissa olevalle asiakaskunnalle. Kokonaisvaltaisin ja systemaattisin perustietämystä moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin tuottava menetelmä on elinkaariarviointi. Kriteerien laadinnan tueksi tulisi elinkaarihäestymistävän mukaisesti hankkia luotettavaa tietoa tarkastelemalla energian tuotannon koko jalostusketjun ympäristövaikutuksia, alkaen polttoaineen hankinnasta ja päättyen jätteiden käsittelyyn tuotannon jälkeen.

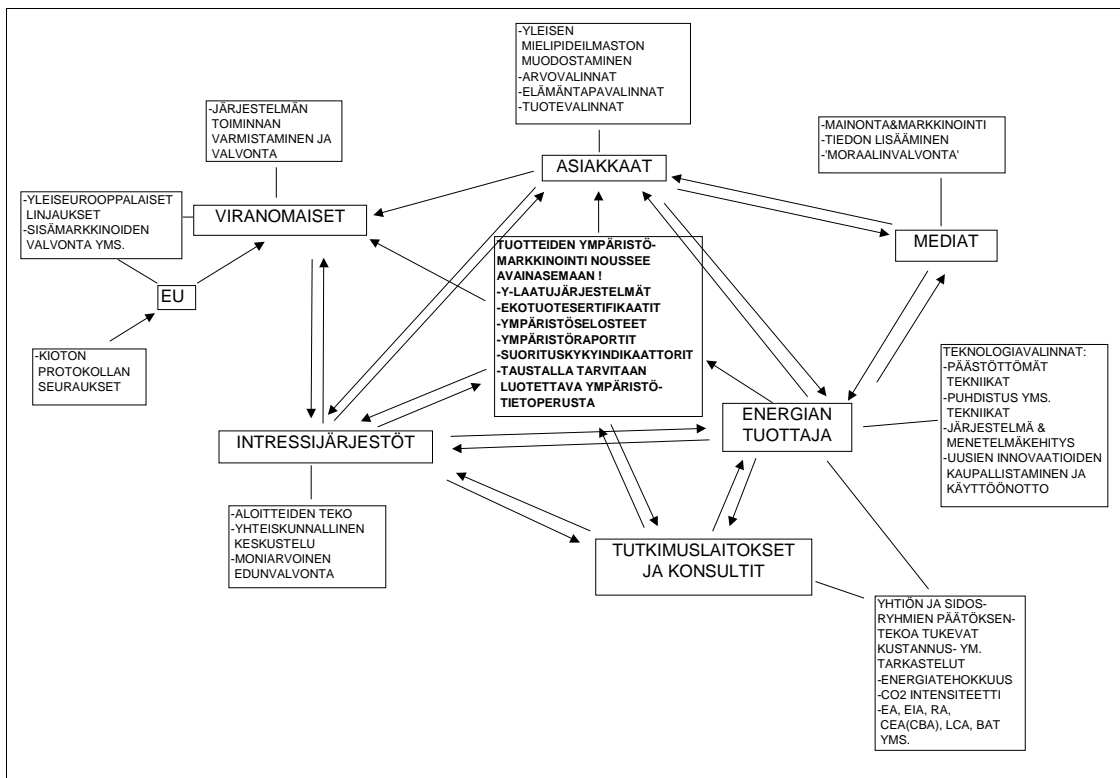
Ympäristövaikutusten lisäksi 'vihreän energian' luokittelun erääksi kynnyskysymykseksi on noussut käytettävän energiavaran uusiutuvuus. Uusiutumaton energia ei pidetä Suomen luonnonsuojeluliiton laatimassa ensimmäisessä kriteeristöessä ekoenergiana ja se ei siksi voi saada järjestön "Norppa suosittelee ekoenergiaa" -merkintää. Käytettävissä ei ole menetelmiä, joiden perusteella erilaiset ympäristövaikutukset ja toisaalta

resurssien riittävyyskysymys voitaisiin yhteismitallistaa ilman arvosidonnaisia päätelmiä. Siten erilaiset tulkinnat energiamuotojen ympäristöystävällisyydestä suhteessa uusiutuvuuteen ovat perusteltavissa ja palautuvat markkinoilla ja politiikan piirissä ratkaistaviksi mielipidekysymyksiksi.

## 1.2 Energian ympäristömerkinnän toimintaympäristöstä

Vapautuneet energiamarkkinat ovat parantaneet asiakkaiden valintamahdollisuuksia. Asiakkaat saavat päätöksentekovaltaa, mikä muuttaa toimintaympäristöä tuottajayhtiöiden näkökulmasta. Taloudellisten riskien hallitseminen tulee myös uudella tavalla otettavaksi huomioon investointipäätöksiä tehtäessä.

Kuvassa 1 on esitetty joitakin tekijöitä, jotka saattavat vaikuttaa sähkön ympäristömerkinnän kehittämiseen tulevaisuudessa. Hahmotelmassa ympäristömarkkinoinnin ja sen tukitoimien rooli vaikuttaa keskeiseltä.



Kuva 1. Ympäristömerkintään vaikuttavia voimatekijöitä, kytkeviä ja eri tahojen mahdollisia rooleja merkinnän kehityksen kannalta. Tätä kirjoitettaessa sekä viranomaiset, yritykset, tutkimuslaitokset, media, asukasyhdistykset ja kansalaisjärjestöt ovat osallistuneet aktiivisesti aiheen kehittelyyn. Uusia toimijoita saattaa ilmaantua lisää. Myös energiatuotteiden markkinointiaktiviteetit ovat voimakkaassa kasvussa.

Uusiutuvien energianlähteiden käytön edistäminen on eräs energiapolitiikan kestoaihe ja eri maissa on käytössä monentyyppisiä keinoja uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseksi. Näistä esimerkkejä ovat Tanskan Energy 21 energiastrategia ohjauskeinoineen, Yhdysvaltain Public Utilities Regulation Policy Act (PURPA) –lainsäädäntö, Iso-Britannian Non-Fossil Fuel Obligation (NFFO), Saksan uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön ostovelvoitelaki (Stromeinspeisungsgesetz), EU:n ALTENER-ohjelma ja EU:n uusiutuvan energian valkoinen kirja (EC 1997). Lisäksi on valmisteilla EU:n direktiiviehdotus, jolla on tarkoitus parantaa uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön kilpailukykyä energiamarkkinoilla. Myös Suomessa tuetaan tuulivoimalaitosten, pienten vesivoimalaitosten ja biomassaa tai turvetta hyödyntäviä voimalaitosten sähköntuotantoa veropalautuksin. Lisäksi tuulivoimaloille myönnetään investointitukea. Uusiutuvan energian käyttöä on Suomessa pyritty edistämään tutkimus- ja kehittämishankkeiden avulla. Näitä ympäristöpoliittisia ohjauskeinoja uusiutuvien energialähteiden käytön edistämiseksi on selvitetty mm. viitteessä (Vehmas ym. 1997). Energiamarkkinoiden avautuminen ja siihen liittyvä uusiutuvan energian profiloituminen erilliseksi energiatuotteeksi saattaa vaikuttaa uusiutuvan energian kysyntänäkymiin.

Tässä työssä rajoitutaan pohtimaan niitä tiedollisia tarpeita, joita energian ympäristömerkintäprosessin eri osatekijöiden oletetaan tarvitsevan. Pääpaino on kohdistettu energiayrityksen ympäristömarkkinoinnin tukitoimiin ja elinkaariarvioinnin käyttömahdollisuuksien parantamiseen siinä.

## 2. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksessa tarkastellaan vihreän energian tai ekoenergian kriteereitä, kehittämiskäytäntöjä ja perusteita energiamuotojen ympäristövaikutuksia kuvaavien indikaattoreiden suunnittelemiseksi ja valitsemiseksi tehtyjen elinkaariarviointien pohjalta. Työssä tarkastellaan myös sitä, missä määrin Suomen luonnonsuojeluliitto ry:n (SLL) ekoenergian kriteereissä on otettu huomioon elinkaariajattelua ja elinkaariarviointia.

Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa, ennen pohjoismaisten luonnonsuojeluliittojen nykyisten ekoenergian kriteereiden julkistamista, vihreän energian kriteereitä ja niiden kehittämiskäytäntöjä selvittävälle työlle määritettiin seuraavat tavoitteet:

- (1) luoda tilannekatsaus siihen, millaisia kriteereitä vihreän energian määrittämiseksi eri tahoilla on luotu tai ollaan luomassa. Katsaus kattaa vihreän energian ja sen kriteerien ulkomaisen ja kotimaisen tilannekatsauksen.

Tutkimuksen tulisi lisäksi vastata mm. kysymyksiin siitä,

- (2) mihin tarkoituksiin vihreän energian kriteereitä sovelletaan tai aiotaan soveltaa
- (3) miten teollisuus, kuluttajat ja viranomaiset suhtautuvat vihreään energiaan ja sen kriteereihin sekä niiden kehittämiseen
- (4) mistä energiamuodoista on tehty elinkaariarvioita, sekä arvioida näiden tulosten perusteella, mitkä tuotantotavat ja polttoaineet täyttävät kriteerit
- (5) millaisia tulevaisuuden kehittämistarpeita ja -näköyksiä aihepiiriin liittyy.

Tutkimus antaa perusteelliset lähtökohdat tutkia eri energiamuotojen ympäristömyötävyyttä järjestelmällisellä ympäristövaikutusten arviointimenetelmällä eli elinkaariarvioinnilla, ja tuottaa perusaineistoa energiamuotojen vertailuihin, eri tutkimusten tulosten eroavuuksien löytämiseen ja energiamuotojen ympäristövaikutuksia kuvaavien indikaattoreiden kehittämiseen.

Tutkimuksessa mainittuja lukuarvoja voidaan käyttää soveltuvin osin taustatietoina eri energiateknologioiden ympäristövaikutuksia arvioitaessa. Tietoja ei kuitenkaan tulisi suoraan soveltaa todellisten voimalaitosten tai energiatuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin mahdollisten yksityiskohtaisissa olevien teknologia-, polttoaine- ja muiden lähtötietojen vuoksi. Tarkasti määriteltyjen voimalaitosten tai energiatuotteiden kohdalla tulisi käyttää niistä julkaistuja yksityiskohtaisia tietoja polttoaineketjujen kuormittavista tekijöistä.

### 3. Energian ympäristöluokittelun ulottuvuudet

VTT Energian tekemässä kauppaja- ja teollisuusministeriön toimeksiannosta tehdyssä tutkimuksessa "Sähkön ympäristömerkintä" on esitelty sähkön ympäristömerkintään liittyviä erilaisia luokitteluperiaatteita. Luokittelu voidaan perustaa esimerkiksi tiettyihin tuotantolaitoksiin, tuotantotapaan, energianlähde- tai tuotantomuotoluetteluun, tuotannon ympäristövaikutuksiin tai yrityskohtaiseen tarkasteluun (Pirilä ja Ranne 1998). Julkaisussa todetaan, että tarkin kokonaiskuva sähköntuotannon ympäristövaikutuksista saadaan käyttäen elinkaariarvioinnin menetelmiä, jolloin huomioon otetaan niin tuotantoon välittömästi liittyvät vaikutukset, kuten päästöt ympäristöön, kuin välillisetkin vaikutukset, jotka liittyvät voimalaitosten rakentamiseen ja käytöstä poistoon, polttoainesten tuotantoon sekä rakentamisen ja käytön edellyttämiin kuljetuksiin (Pirilä ja Ranne 1998, s. 30).

Jotta vaikutustensa luonteen suhteen eroavia tuotantomuotoja voitaisiin verrata, olisi ympäristöhaittojen määrää pystyttävä kuvaamaan vertailukelpoisella indeksillä. Tähän ei ole olemassa yksikäsitteistä menetelmää, eikä sellaisia voida objektiivisesti määritelläkään. Parhaassa tapauksessa voidaan yhteismitallistamisen perusteista saavuttaa kansainvälinen konsensussopimus. Pirilän ja Ranteen julkaisussa todetaan lisäksi, että kestävän kehityksen ottaminen peruslähtökohdaksi eri ympäristötekijöiden painotusten määrittämiselle antaa ainakin jonkinlaisen pohjan ehtyvien resurssien käytön ja toisaalta ympäristöä kuormittavien päästöjen keskinäiselle vertailulle. Kestävän kehityksen "Bruntlandtilaisen" määritelmän mukaan tämä edellyttäisi kuitenkin myös yhteiskunnallis-sosiaalisten ja taloudellisten ulottuvuuksien ottamista huomioon päätöksenteossa. Luokittelumallissa, jossa luokiteltaisiin erikseen eri tuotantomuodot, voitaisiin teknisluonteisia ongelmia välttää. Tässä mallissa jätettäisiin kaikki erilaiset ympäristövaikutusten merkittävyyttä koskevat arvioinnit asiakkaiden tehtäväksi (Pirilä ja Ranne 1998, s. 30).

Edellä kuvattu ongelmanasettelu tuo esiin sen, että luonnontieteellisestä tutkimuksesta ei voida suoraan johtaa päätöksiä eikä siis myöskään hyväksyviä tai hylkääviä kriteeristöjä, ellei erilaisten ympäristövaikutusten (kuten ilmastonmuutos, happamoituminen, rehevöityminen, onnettomuusriskit, resurssien ehtyminen, eliölajien väheneminen jne.) ja muiden yhteismitattomien ominaisuuksien keskinäistä tärkeysjärjestystä tai arvoa mitata jollakin menetelmällä. Tämän tyyppisten arvojen tutkiminen on kuitenkin varsin ongelmallista. Arvot eli valintataipumukset voidaan ajatella joko subjektien tai objektien ominaisuuksiksi. Subjektivistisen arvokäsityksen soveltaminen tietyn ympäristövaikutuksen tärkeyden määrittämiseen korostaa sitä, että vaikutuksen tärkeys ei riipu ympäristövaikutuksista sinänsä, vaan subjektista, joka asiaa arvioi. Objektivistisesta lähestymistavasta on kysymys silloin, kun tutkitaan esimerkiksi sitä, mitkä ympäristövaikutusten piirteet saivat ihmiset toimimaan niiden välttämiseksi. Vaikka arvoista

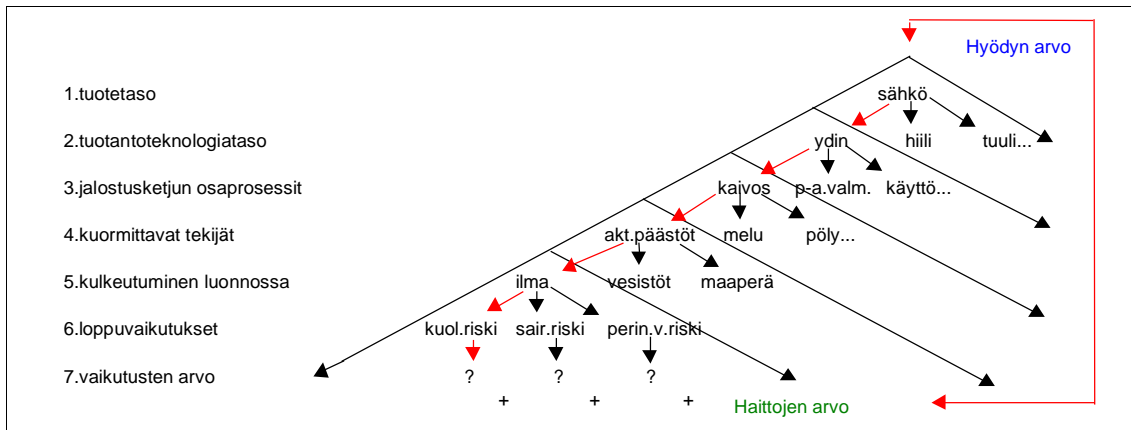


voidaankin puhua erikseen subjektien ja objektien ominaisuuksina, ne eivät välttämättä ole toisistaan riippumattomia asioita, vaan niiden välillä on suhde, josta vallitsee risti-riitaisia käsityksiä arvotutkimuksen piirissä (Suhonen 1988, s. 17).

Käytännössä tämä merkitsee sitä, että luonnontieteellisillä menetelmillä kuvattuihin ympäristövaikutuksiin on liitettävä painokertoimet tai arvot ennen kuin tietoja voidaan soveltaa valintojen ja päätösten tekemiseen. Yhtäältä mahdollisimman tieteelliseen perustaan pyrkivä ja toisaalta mahdollisimman hyvin toimijoiden näkemyksiä huomioonottava päätöksenteko edellyttäisi täten kattavan tietoperustan lisäksi eri ympäristövaikutuksiin liittyvien subjektiivisten painokertoimien selvittämistä. Tämä voisi tapahtua jollakin hyväksyttävällä ja luotettavana pidetyllä tavalla (esim. demokraattinen päätöksentekoprosessi, mielipidetutkimukset, markkinat tai niiden simulointi).

Erilaiset arvottamis- ja päätöksentekomenetelmät perustuvat erilaiseen näyttöön ihmisten valintatapumuksista. Tästä syystä on vaikea löytää yksimielisyyttä ja oikeutusta jonkin arvottamis- ja päätöksentekomenetelmän käyttämiselle (ks. mm. OTA 1994). Vertailutilanteisiin sovellettaessa erilaiset arvottamismenetelmät voivat johtaa niiden periaatteissa ja käytännöissä olevien erojen vuoksi erilaisiin lopputuloksiin. Niinpä ympäristöongelmiin liittyvä päätöksenteko on siten lopulta luonnontieteellisen viitekehjensä ohella monitahoinen yhteiskunnallinen ja poliittinen kysymys. Kvantitatiivisin periaatein objektiivisuuteen pyrkivät analyyttiset menetelmät eivät kykene yksin sisältämään moniulotteisten ympäristövaikutusten arvoa ja niitä olisikin täydennettävä yhteiskunnallisilla ja taloudellisilla päätöksentekomekanismeilla sekä neuvotteluilla ja dialogeilla osapuolten ja sidosryhmien välillä. Lisäksi tulisi käydä läpi erilaisia viitekehjiä ja luokitteluperusteita, joilla luonnontieteelliset kysymykset on mahdollista tuoda päätöksenteon piiriin riittävän ymmärrettävässä muodossa.

Ympäristöluokittelumallin perustukset voidaan rakentaa erilaisten luokittelutapojen tai näistä rakennettavien yhdistelmien varaan. Energiantuotannon ympäristövaikutuksia ja -kustannuksia koskevien analyysien tulostasot voidaan esittää esimerkiksi kuvan 2 kaavion avulla.



Kuva 2. Ympäristövaikutusten muodostumisen systemaattisessa analyysissä sovellettavat luokittelutasot (1 - 7) vaikutustie-haittafunktiomenetelmää soveltaen (Hongisto ym. 1998).

Luonnon energiavirtojen hyödyntämisen kuvaaminen edellisellä lähinnä polttoaineketjujen kuvaamisen mallilla edellyttää joissakin tapauksissa (esim. vesivoima, biomassan hankinta) kuormittavien tekijöiden ja kulkeutumisen korvaamista suoraan luonnon prosesseihin liittyvällä kytkennällä (vesistöjen säännöstely, maankäyttö).

Seuraavassa analysoidaan eri luokittelutapojen etuja ja haittoja käytännön soveltamisen näkökulmasta.

### 3.1 Energian lähde luokittelun perusteena

Primäärienergian lähteeseen perustuvassa luokittelumallissa arvioidaan hyödynnettäviä energiavirtoja, jotka perustuvat esimerkiksi uusiutuvien vesi-, puu- ja tuulienergian eli pohjimmiltaan auringonsäteilyn sisältämän energian hyödyntämiseen, tai uusiutumattomien kuten uraanin ja fossiilisten polttoaineiden hyödyntämiseen energiantuotannossa. Turve sijoittuu uusiutuvuusominaisuudella mitattuna näiden luokkien väliin.

Primäärienergianlähteeseen liittyvä luokittelu ei esimerkiksi ota huomioon eri energianlähteiden hyödyntämisessä käytettävän teknologian kehittymisen vaikutuksia ympäristöön. Kuitenkin mm. fossiilisten polttoaineiden hiukkas-, rikki- ja typpipäästöjen pienentämisessä tekniset parannukset ovat kuitenkin olleet avainasemassa. Tällainen luokittelu toteutettuna esimerkiksi kaksiportaisena (hyväksyty/hylätty) voi kannustaa vaihtamaan polttoaineita hyväksytyyn luokkaan, mutta ei kannusta esimerkiksi sellaisiin ympäristön kannalta positiivisiin parannuksiin, joita voitaisiin saavuttaa esimerkiksi huolellisten käyttö- ja kunnossapitotoimien tai polttoteknologioiden kehittämisen kautta. Polttoaineiden vaihtaminen toisiksi edellyttää käytännössä usein suuria teknisiä muutoksia. Tietyissä tilanteissa, esimerkiksi joissakin alun perin turpeelle suunnitelluis-

sa kattiloissa, voidaan polttaa puuhaketta. Kattilalaitosten polttoaineen muuttaminen maakaasulle on myös teknisesti mahdollista joskin usein kannattamatonta. Polttoaineen ympäristöllisen laadun parantamisella, esimerkiksi vähärikkisemmän kivihiilen tai öljyn käyttöönotolla, voidaan joskus saavuttaa kustannustehokkaita tuloksia. Energianlähteeseen perustuvassa luokittelussa saatetaan sekapolttokattiloissa tuotettu sähkö joutua kohdistamaan sovittavien periaatteiden mukaisesti eri polttoaineille. Näiden kohdentamisperiaatteiden merkitys korostuu, jos laitos tuottaa samanaikaisesti monia energia- tuotteita, kuten sähköä, höyryä ja kaukolämpöä.

Uusiutuvien energialähteiden, kuten vesi-, puu- ja tuulivoiman, käyttömahdollisuudet ovat mm. taloudellisten tekijöiden vuoksi huomattavasti niiden teoreettisia potentiaaleja pienempiä. Uusiutuvien energialähteiden käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat myös paikalliset luonnonolosuhteet.

Energialähteiden riittävyyskysymykset sekä niiden käytöstä aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat erityyppisiä ongelmia, joiden vertaamiseen ei ole käytettävissä arvostuksista riippumatonta mittaa. Ominaisuutena resurssien uusiutuvuus ja niiden käytön ympäristövaikutukset ovat siis yhteismitattomia. Mikäli uusiutumattomat resurssit käytetään loppuun, tästä syntyvät haitat jäävät myöhempien sukupolvien kannettavaksi. Näin voi käydä myös joidenkin uusiutumattomista polttoaineista aiheutuvien ympäristökuormitusten suhteen. Kun luonnon kuormituskapasiteetti on hyödynnetty täysimääräisesti (esim. maan puskurikyky happamoittavia päästöjä vastaan), joudutaan tulevaisuudessa rahoittamaan yhä kalliimpia ratkaisuja elinympäristön laadun, ekosysteemien ja uhanalaisten lajien ylläpitämiseksi.

Uusiutuvien ja uusiutumattomien energianlähteiden ympäristövaikutuksissa on sekä yhtäläisyyksiä että eroavuuksia. Vesivoima vaikuttaa mm. elinympäristöihin, vaelluskalakantoihin ja maisemaan sekä veden laatuun, rantojen eroosioon, rantakasvillisuuteen ja eläimistöön. Esim. puuenergian laajempi käyttöönotto voi vaikuttaa ekosysteemeihin tai haitallisten päästöjen kautta terveyteen. Fossiilisten- ja ydinpolttoaineiden käyttö ei puolestaan vähennä ravintoketjujen käytettävissä olevaa energiamäärää, mikä periaatteessa on myönteinen seikka luonnon monimuotoisuuden kannalta. Kun eri energialähteistä syntyvä kuormitus vaikuttaa ihmiseen ja luontoon eri vaikutusmekanismien kautta, ei polttoaineperusteinen luokittelu yksin kuvaa ympäristömyötäisyyttä.

Uusiutuvien energianlähteiden saatavuus vaihtelee eri maissa. Erityisesti vesivoiman suhteen maat ovat erilaisessa asemassa. Norjassa lähes kaikki ja Ruotsissakin puolet sähköstä tuotetaan vesivoimalla. Suomessa suurin osa hyödyntämiskelpoisesta vesivoimapotentialista on jo nykyisin voimatalouskäytössä, joten vesivoima ei rakentamismahdollisuutena ole vertailukelpoisessa asemassa muiden kanssa.

## 3.2 Tuotantoteknologia luokittelun perusteena

Energiantuotantoteknologioiden valinnoilla voidaan vaikuttaa hyötykäyttöön saatavan energian eli sähkön ja/tai lämmön määrään ja sitä kautta tuotantoa kohti laskettujen päästöjen määrän alentamiseen. Esimerkiksi maakaasuun perustuvassa yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa (Combined Heat and Power, CHP) voidaan saavuttaa korkea 50 %:n sähköntuotannon hyötysuhde ja 90 %:n kokonaihyötysuhde. Tällöin sähköntuotannossa syntyvä lämpö ei kuormita ympäristöä, vaan tyydyttää osan yhteiskunnan lämmöntarpeesta. Tavanomaisessa hiililauhdevoimalaitoksessa sähköntuotannon hyötysuhde jää 42 %:n tasolle ja hukkalämpö joudutaan siirtämään mereen tai muuhun vesistöön. Lämmöntarpeen tyydyttäminen taajamissa CHP-teknologialla onkin merkittävä keino energiantuotannon ekotehokkuuden kasvattamisessa. Suomi on CHP-teknologian käytössä johtava maa.

Sähkön ja lämmön tuottaminen samassa prosessissa aiheuttaa syntyvien ympäristövaikutusten kohdistamisongelman sähkön ja lämmön suhteen, mitä käsitellään erikseen tämän luvun lopussa.

Erilaisten kattilatyyppeiden, kaasutus- ja polttotekniikoiden sekä savukaasujen puhdistus- ja erotusteknologioiden merkitys rikki-, typpi- ja hiukkaspäästöjen pienentämisessä on suuri. Toisaalta näiden tekniikoiden avulla aiemmin ilmaan päässeet epäpuhtaudet joutuvat kasvaneiden kiintoainemäärien mukana läjitysalueille ja vain osa ainevirrasta saadaan hyötykäyttöön.

Samalle polttoaineelle soveltuvien teknologioiden luokittelu ei ole yksinkertaista, ja pitkäikäisiä tuotantolaitoksia ja niiden osia saatetaan muuttaa laajoissa perusparannusprojekteissa. Tästä näkökulmasta teknisten muutosten avulla saavutettavat vähennykset ympäristökuormituksissa olisivat se seikka, mihin ympäristömerkinnän kautta tulisi kannustaa – ei tiettyjen teknologioiden käyttöön sinänsä. Hyväksyttävien tiedossa olevien teknologioiden määrittäminen saattaisi hidastaa täysin uusien ja aiempia ekotehokkaampien ratkaisujen markkinoille pääsyä. Luokittelujärjestelmän tulisikin kannustaa yrityksiä myös uusien innovatiivisten tekniikoiden ja ratkaisujen kehittelyyn ja helpottaa niiden markkinoille pääsyä.

## 3.3 Ympäristökuormitukset luokittelun perusteena

Energian tuotannosta syntyviä päästöjä ja tarvittavia raaka-ainevirtoja voidaan käyttää luokittelun perustana. Tällöin eri energiantuotantomuotojen yksittäisten kuormittavien tekijöiden määriä voidaan verrata toisiinsa. Ongelmana kuormitustason luokittelussa on parametrien suuri määrä. Esimerkiksi sveitsiläinen ETH-elinkaaritietokanta sisältää

useita satoja erilaisia parametrejä. Vertailuongelmia syntyy silloin, kun eri energiantuotantomuotojen kuormittavat tekijät ovat erilaisia. Kuormitustason vertailu onnistuu parhaiten, kun verrataan samaa polttoainetta käyttäviä laitoksia toisiinsa. Tällainen vertailu on mielekästä myös useimpien polttoprosesseihin perustuvien tuotantomuotojen kesken, mutta verrattaessa jotakin perinteistä polttoprosessia esimerkiksi ydin- tai vesivoimaan syntyy ongelmia verrattavien kuormien yhteismitattomuudesta. Esimerkiksi vesivoiman ympäristövaikutusten synnyssä eräänä kuormittavana tekijänä on vesistön säännöstely, jonka voimakkuudesta vaikutusten suuruus riippuu. Monien muidenkin vaikutustyyppien, kuten maisema- ja biodiversiteettivaikutusten sekä erilaisten onnettomuusriskien ja koettujen uhkien, synnyssä vertailukelpoista kuormittavaa tekijää ei ole helppo löytää.

*Taulukko 1. Esimerkkejä ympäristöön vaikuttavista kuormittavista tekijöistä, joiden huolellinen inventaario luo perustan tuotteen valmistusprosessien ympäristövaikutusten arvioinnille. Myös resurssien käyttöä kuvaavat parametrit on luontevaa raportoida.*

<b>Inventaarioparametrejä</b>
Materiaalit (uusiutuvat/uusiutumattomat)
Uusiutuvat energialähteet
Uusiutumattomat energialähteet
Maankäyttö
Vedenkäyttö
Päästöt ilmaan
SO <sub>2</sub> (rikkidioksidi)
NO <sub>x</sub> (typen oksidit)
CO <sub>2</sub> (hiilidioksidi)
CO (hiilimonoksidi)
CH <sub>4</sub> (metaani)
N <sub>2</sub> O (typpioksiduuli)
VOC (haihtuvat orgaaniset yhdisteet)
TSP (suspensiohiukkaset)
Raskasmetallipäästöt ilmaan
Päästöt vesistöihin
Raskasmetallipäästöt veteen
BOD (biologinen hapenkulutus)
COD (kemiallinen hapenkulutus)
N (typpipäästöt vesistöihin)
P (fosforipäästöt vesistöihin)
Kiinteät jätteet
Jäteveden kokonaismäärä
Aktiivisuuspäästöt

Taulukon 1 parametrejä voidaan kerätä joko energian tuotantovaiheesta tai siihen liittyvän elinkaaren osalta, jolloin jalostusketjun osaprosessien (esimerkiksi polttoaineen valmistus, kuljetus, käyttö, jätteenkäsittely) kuormittavat tekijät voidaan laskea komponenteittain yhteen. Useimmissa tehdyissä polttoaineketjujen elinkaariarvioinneissa keskitytään kuormittavien tekijöiden inventaaritason tulosten tuottamiseen. Tietojen hyödynnettävyyden, päivitettävyyden ja vertailtavuuden kannalta olisi tärkeää, että tiedot raportoitaisiin modulaarisesti polttoaineketjun prosesseja vastaten. Kuormittavien tekijöiden inventaari voidaan tehdä tietyn tuotantolaitoksen elinkaaren sijaan myös yhtiön energiatuotteille niin, että inventaari kattaa eri tuotantolaitosten yhteenlasketut tiedot. Tästä esimerkkinä on Energia-alan Keskusliitto ry Finergyn suositus sähkön tuotestelosteeksi (ks. liite A). Näistä yhtiötason inventaareista on mahdollista jalostaa koko teollisuussektoria koskevia lukuja ja järjestelmän laajentuessa 'yrityselementtejä ketjuttaen' olisi haluttaessa mahdollista muodostaa lopputuotteiden koko elinkaarta kuvaavia elinkaari-inventaareja.

Kuormitustason luokittelun hyvänä puolena on se, että suuri osa yleisesti merkittävimmiksi koetuista parametreista voidaan mitata tarkasti ja että teknologiamuutokset ja muut päästöihin vaikuttavat parannustoimet näkyvät tuloksissa. Useimmissa polttoaineisiin perustuvissa energiantuotantoprosesseissa on samoja kuormittavia tekijöitä, jolloin vertailuja voidaan tehdä luonnontieteellisin perustein komponenttikohtaisesti. Tällaiset inventaaritason vertailut yhdistettyinä laajempiin materiaalivirta-analyysihin (Material Flow Analysis, MFA) ja talouden tuotosten resurssienkäytön intensiteettitarkasteluihin (Material Input Analysis, MIA) ovat tehokkaita työkaluja tuotannon ekotehokkuuden seurannassa ja sen parantamiseen tähtäävässä työssä (esim. Spangenberg ym. 1997). Erilaisten kuormittavien tekijöiden keskinäisessä vertailussa joudutaan kuitenkin tyytymään subjektiivisiin arvioihin. Ne ympäristövaikutuksiin luettavissa olevat vaikutustyyppit, joihin ei liity selkeätä mitattavissa olevaa kuormittavaa tekijää (biodiversiteettivaikutukset, vesistöjen säännöstelyn vaikutukset, maisemavaikutukset, onnettomuusriskit, resurssien riittävyyskysymykset), jäävät yleensä ottamatta huomioon tähän tarkastelutapaan perustuvassa analyysissä.

Energiantuotannon ympäristömyötäisyyden arvioiminen kuormittavien tekijöiden inventaarin avulla johtaa siihen, etteivät paikalliset erikoispiirteet luonnonolosuhteissa tule otetuksi huomioon. Käytännössä olosuhteet, kuten maaperän ja vesistöjen puskurikapasiteetti tai laitoksen ympäristön asukastiheydet, vaihtelevat suhteessa laitosten sijainteihin niin paljon, että niiden huomioon ottamista ympäristövaikutusten vertailuissa voidaan perustella. Esimerkiksi ilmaan päästetyn rikkitonin ympäristölle aiheuttama haitta on hyvin erilainen Euroopan eri osissa, ja vesistön säännöstelyn vaikutukset vedenlaatuun sekä kalakantoihin poikkeavat norjalaista ja suomalaista vesivoimaa verrattaessa.

### 3.4 Ympäristövaikutuksiin perustuva luokittelu

Osa tutkittavan järjestelmän ympäristövaikutuksista voidaan luokitella eri vaikutusluokkiin, jotka muodostuvat ihmisten hyvinvointiin ja luontoon kohdistuvista vaikutuksista. Näiden lisäksi voidaan tarkastella uusiutumattomien resurssien käyttöön pitkällä aikavälillä liittyvän raaka-aineiden ehtymisen vaikutuksia sekä uusiutuvien resurssien käytön luonto- ja hyvinvointivaikutuksia. On hieman epäselvää, tulisiko resurssien käytön vaikutuksia tarkastella vaikutus- vai kuormitustason luokittelussa. Asiaa monimutkistaa se, että arkikielessä ympäristövaikutuksilla saatetaan tarkoittaa hyvin erityyppisiä vaikutuksia.

Tarkemmat ympäristövaikutusluokat valitaan yleensä tutkimuskohtaisesti, vaikka osa vaikutusluokista onkin vakiintunut viime vuosina. Valittavien luokkien tulee kattaa ainakin merkittävimäksi koetut ympäristövaikutukset (merkittävyyden arviointi muodostaa oman ongelmakokonaisuutensa). Vaikutusluokkia ei saisi olla myöskään liikaa, jotta ymmärrettävyys ei kärsisi. Luokkien tulisi olla mahdollisimman riippumattomia toisistaan. Päästöjen ympäristövaikutuksien moninkertaista laskemista tulisi välttää, mutta toisaalta sama päästökomponentti voi osallistua moneen luonnonilmiöön.

Taulukossa 2 on esitetty sekä vaikutustason pääluokat että myös niihin liittyviä alaluokkia. Eri vaikutusluokkien kuvaamiseksi on kehitetty erilaisia luonnontieteisiin perustuvia laskentamenetelmiä, joiden tarkoituksena on muuntaa tiettyyn ympäristövaikutukseen osallistuvat kuormat yhteismitalliseen muotoon. Esimerkkejä mahdollisesti käytettävistä ja tähän tarkoitukseen kehitetyistä sekä elinkaariarviointitutkimuksissa yleisesti käytetyistä menetelmistä on myös esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Vaikutusluokat ja niihin mahdollisesti sovellettavia laskentamenetelmiä (Lindfors ym. 1995; EEA 1998; Hauschild & Wenzel 1998).

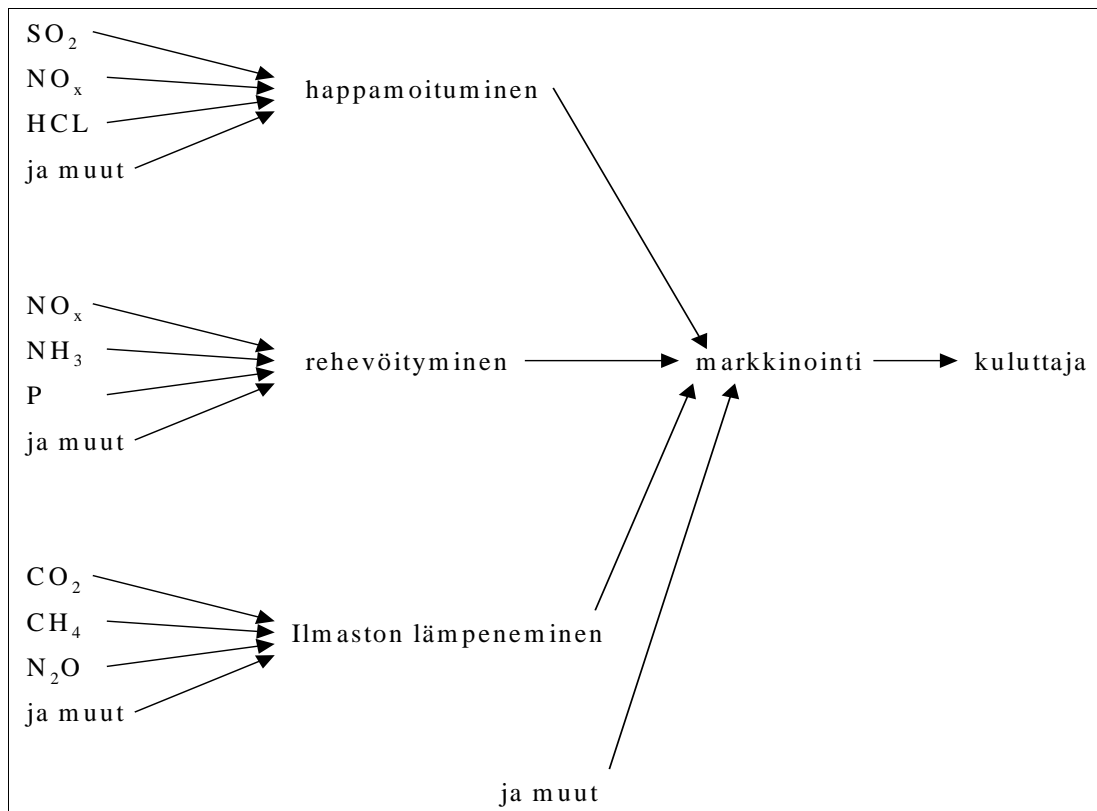
Vaikutusluokka	Vaikutuskategoria/-luokka/-tyyppi	Mahdollisia menetelmiä
Resurssien käyttö	Uusiutumattomat energialähteet	MFA, MIA (materiaalivirta-analyysit)
	Uusiutuvat energialähteet	
	Elolliset resurssit (kasvit, eläimet)	
	Elottomat resurssit (uusiutumattomat luonnonvarat)	
	Vesi	
	Maankäyttö	Maankäyttö ruuan tuotantoon, eroosio, maan rikkominen, kaivostointa, jne.
Ekologiset vaikutukset	Ilmaston lämpeneminen	GWP 20/100/500 vuotta
	Happamoituminen	
	Rehevöityminen	Fosforirajoitettu Typpirajoitettu Typpirajoitettu + typen oksidit ilmaan
	Fotokemiallisten oksidanttien muodostuminen	NO <sub>x</sub> ; CH <sub>4</sub> ; CO; VOC POCP-potentiaalit
	Stratosfäärin otsonin oheneminen	ODP (Ozone depletion potential)
	Ekotoksiset vaikutukset	
	Vaikutukset biodiversiteettiin	
Vaikutukset ihmisten terveyteen	Myrkylliset vaikutukset (pl. Työympäristö)	<i>Critical Volumes</i> (ilma, vesi) <i>Provisional method</i> (maa, ilma, vesi) <i>Critical Body Weight</i> (maa, ilma) <i>Units of Polluted Water / Air</i>
	Myrkyttömät vaikutukset (pl. Työympäristö)	
	Työympäristövaikutukset (myrkylliset, myrkyttömät, fyysiset, psyykkiset)	

Elinkaariarvioinnin ja –inventaarin pääperiaatteena on selvittää jokaisen syötteen ja tuotoksen matka luonnosta teknoosysteemiin ja takaisin luontoon. Tarkoissa laskelmissa esiintyy aina myös komponentteja, joiden tarkastelua ei voida käytännössä tai ei ole tarpeen toteuttaa yksityiskohtaisesti. Nämä syötteen ja tuotokset, joita ei ole seurattu luonnosta teknoosysteemin rajalle, ja vastaavasti tuotoksia, joita ei ole seurattu teknoosysteemin rajalta luontoon, raportoidaan erikseen. Tarkan prosessia kuvaavan materiaalitaseen avulla voidaan löytää kokonaan uusia syötteitä tai tuotoksia.

Tutkittavan järjestelmän syötteen ja tuotokset ovat perustana ympäristövaikutusten arvioimiselle (Kuva 3). Näiden yksittäisten ympäristökuormituskomponenttien osuuksien ja vaikutusten perusteella saadaan laskettua kvantitatiiviset ympäristövaikutuksia kuvaavat indikaattorit. Näitä ympäristövaikutustason tuloksia voidaan käyttää rakennettaessa tarvittavia yksityiskohtaisia indikaattoreita tai muuta tuotteiden markkinointia ja vertailua tukevaa informaatiota.



Vaikutustason indikaattoreiden etuna on se, että niihin voidaan pakata useiden kuormittavien tekijöiden vaikutukset. On kuitenkin huomattava, että myös vaikutusindikaattoreihin saattaa sisältyä näkökulmariippuvaisia valintoja (esimerkiksi tarkastelun aikajakson vaikutukset GWP-tekijöihin) ja siten myös mahdollisesti subjektiivisuutta.



Kuva 3. Ympäristökuormien luokittelu vaikutusindikaattoreiksi, joita voidaan hyödyntää tuotteiden ympäristömarkkinoinnissa, -tiedotuksessa ja -koulutuksessa sekä saavutettujen parannusten seurannassa. Kuva on mukailtu viitteessä (Puolamaa ym. 1996) esitetyn ympäristöystävällisyyden arvioimiseen kehitetyn metodologisen viitekehäyksen pohjalta.

Ympäristövaikutusten riippuvuus polttoaineketjuihin liittyvien laitosten sijainnista on ongelmallinen seikka, jonka merkitystä joudutaan pohtimaan luokittelujärjestelmän näkökulmasta ainakin silloin, jos järjestelmän maantieteellinen laajuus on suuri. Pohjoismainen ja erityisesti yhteiseurooppalainen järjestelmä edellyttäisivät luonnonolosuhteiden erojen huomioon ottamista merkintään liittyvässä päätöksenteossa. Teollisuuden pyrkimykset energiamarkkinoiden reunaehtojen harmonisoimiseksi asettavat olosuhteiden erojen huomioonottamiselle erityisen suuren haasteen. Tällöin joudutaan vastaamaan ongelmalliseen kysymykseen siitä, mille tasolle reunaehdot halutaan harmonisoida. Olosuhdemuuttujien rakentaminen ympäristöluokittelujärjestelmän sisään on käytännössä haasteellinen ja tutkimuksia edellyttävä tehtävä. Samalla luokittelujärjes-

telmän kustannukset ja monimutkaisuus kasvavat tavalla, jolla voi asiakkaan näkökulmasta olla uskottavuutta ja siten myös käytännön toimivuutta vähentävä vaikutus.

Koska useimmat ympäristövaikutukset ovat monimutkaisia luonnonilmiöitä ja niihin liittyvä tietämys on usein puutteellista, on niiden ennustaminen yleensä erittäin vaikeaa. Erilaiset laskentamallit johtavat usein erilaisiin ympäristövaikutuksia kuvaaviin tuloksiin, mikä tulee ottaa huomioon niiden tuottamaa tietoa päätöksiin sovellettaessa.

Terveys- ja luontovaikutusten kohdalla vaikutukset riippuvat monista tekijöistä yhtäaikaaisesti, joiden joukosta yksittäisen kuormittavan tekijän vaikutusta on vaikea paljastaa. Näiden sekoittavien tekijöiden hallinta on parantunut laajojen tilastoaineistojen keruumahdollisuuksien parantumisen sekä analyysimenetelmien ja -ohjelmistojen kehityksen kautta. Monille kuormittaville tekijöille on voitu muodostaa epidemiologisten ja ekologisten tutkimusstrategioiden avulla vaikutusfunktioita. Nämä funktiot kuvaavat sitä, miten haitallisten vaikutusten määrä muuttuu, kun jokin ympäristön parametri muuttuu. Niiden avulla voidaan tehdä karkeita arvioita esimerkiksi ympäristöinvestointien vaikutuksista haittoihin. Näiden vaikutusarvioiden hyödyntäminen suhteellisessa muodossa vähentää absoluuttisiin arvioihin liittyviä väärintulkinnan vaaroja.

Ympäristövaikutusanalyysiin liittyvistä vaikeuksista huolimatta on perusteltua olettaa, että luokitteluperusteen siirtäminen energianlähteistä, teknologioista ja kuormittavista tekijöistä mahdollisuuksien mukaan aina loppuvaikutusten tasolle eli mahdollisimman lähelle kuluttajien arkista elinpiiriä, parantaisi luokittelun ymmärrettävyyttä. Toisaalta myös vaikutustason tulosten epävarmuus tulisi viestiä loppukuluttajien arvioitavaksi. Tällöin ympäristövaikutukset tulisivat otetuksi huomioon energiavalinnoissa sillä painoarvolla, minkä laajat kuluttajajoukot niille antavat.

### **3.5 Energiatuotteiden ympäristövaikutusten vertailun problematiikkaa**

Periaatteessa energiatuotteen ympäristöluokittelun tulisi perustua koko polttoaineketjun ympäristövaikutusten tarkasteluun. Käytännössä liiketoimintaketjujen lähtötietojen keruu, vaikutusten mallintaminen ja tulosten yhteismitallistaminen eli arvottaminen on varsin monimutkainen ja ongelmallinen prosessi. Monet ympäristövaikutusten arviointimenetelmät ovat kehityksen kohteena ja niihin sisältyy yksinkertaistuksia ja subjektiivisuutta, minkä vuoksi ne eivät ole saavuttaneet laajaa hyväksyntää. Käytännön analyyseissä eivät paikalliset olosuhde-erot yleensä tule otetuksi huomioon.

Luonnontieteellisten kysymysten lisäksi vaikutusten arviointiin liittyy myös joukko ongelmia, jotka liittyvät tiedon käyttöön päätöksenteossa. Näitä ovat mm. kulutuksen

hyötyjen ja tuotannon haittojen sekä niihin liittyvien epävarmuuksien epäsymmetrinen jakautuminen ajan ja paikan suhteen sekä lukuisat kohdentamisongelmat liittyen tietoon syiden ja seurausten välisistä verkostoista. Näitä ovat kysymykset yhteistuotantolaitosten päästöjen kohdentamisongelmista eri energiatuotteille, havaittujen ympäristövaikutusten kohdentamisongelmista erilaisille kuormittaville tekijöille ja ihmisten päästösvaihtoehtoihin kohdistamien arvostusten kohdentamisongelmista niiden seurauksina syntyville hyödyllisille ja haitallisille vaikutuksille. Näiden syys-seurausverkostojen solmukohtiin liittyvien ongelmien ratkaiseminen tutkimuksen keinoin on osoittautunut äärimmäisen vaikeaksi tehtäväksi. Käytännössä kohdentamisperiaatteet on valittava eri osapuolten välisten neuvottelujen kautta.

Ympäristövaikutusten arvioinnin ongelmat konkretisoituvat pyrittäessä vertailemaan eri energiamuotoja toisiinsa, ja erityisesti silloin kun päämääränä on vaikuttaa havaittujen ympäristöongelmien vähentämiseen. Esimerkiksi ydin-, puu- ja vesivoiman 'kokonaisvaltaista ympäristöystävällisyyttä' ei voida kiistattomasti keinoin verrata toisiinsa niihin liittyvien erityyppisten sekä ajan ja paikan suhteen poikkeavien ympäristövaikutusten takia. Vertailuja voidaan tehdä vain energiamuodoille yhteisten ominaisuuksien suhteen.

Seuraavassa luvussa tarkastellaan yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotantoteknologian (Combined Heat and Power, CHP) päästöihin liittyvää kohdentamisproblematiikkaa, joka vaikuttaa suoraan CHP-teknologian ympäristökilpailukykyyn ja havainnollistaa samalla kohdentamisongelman vaikutuksia elinkaariarvioiden tuloksiin.

### **3.6 Sähkön ja lämmön yhteistuotannon hyötyjen ja haittojen kohdentaminen**

Energialähteen lisäksi syntyvään ympäristökuormitukseen vaikuttaa energian tuotannon tapa. Sähköä voidaan tuottaa joko höyryprosessin avulla lauhdutusvoimalaitoksessa, tai vastapainevoimalaitoksessa, jossa sähköntuotannon ohessa syntyvä lämpö pystytään käyttämään tehokkaasti hyväksi. Tällä hetkellä Suomessa perinteisillä voimalaitoksilla tuotetusta sähköstä yli 60 % on tuotettu vastapainevoimalaitoksilla. Tämän mahdollistaa laaja kaukolämpöverkosto, joka käytännössä kattaa kaikki kaupunkimme, sekä energiantensiivinen teollisuus, joka pystyy tehokkaasti hyödyntämään syntyvän ylijäämälämmön.

Vastapainevoimalaitos edellyttää joko teollisuutta, joka pystyy hyödyntämään lämmön tai höyryn tai kaukolämpöverkostoa, johon liittynyt kulutus vastaa voimalaitoksen lämmöntuotantoa. Tämä rajoittaa voimalaitoskokoa ja uusien laitosten rakentamista, sillä lämmön siirtäminen pitkiä matkoja ei ole taloudellisesti kannattavaa. Suuri osa siitä

lämmöntarpeesta, joka voidaan taloudellisesti tyydyttää kaukolämmöntuotannolla, on tällä hetkellä käytössä.

Tulevaisuudessa vastapainevoiman avulla voidaan tuottaa vielä lisää sähköä. Voimalaitosten sähkön ja lämmön tuotannon välistä suhdetta on kyetty nostamaan. Kun nykyisissä laitoksissa tuotetaan keskimäärin yhtä kilowattituntia sähköä kohden kaksi kilowattituntia lämpöä tai höyryä, uusien ratkaisujen avulla on sähköä pystytty tuottamaan lämpöä enemmän. Näistä ratkaisuista on parhaiten kaupallistunut maakaasukombivoimalaitos, jossa kaasuturbiinin lisäksi sähköä pystytään tuottamaan myös lämmöstä kehitetyn höyryn avulla. Esimerkki tällaisesta laitoksesta on Helsingin Energian Vuosaaren B-voimalaitos, jonka kokonaishyötysuhde vastapainekäytössä on 92,5 % ja lauhdeajossa 51,8 % (Helsingin Energia 1998). Kaasutustekniikka on kaupallista myös nestemäisille polttoaineille ja kehitymässä siihen suuntaan, että myös kiinteitä polttoaineita pystytään tulevaisuudessa hyödyntämään kombivoimalaitoksessa.

Tällä hetkellä maailmanlaajuisesti käytössä olevien lauhdelaitosten sähköntuotannon hyötysuhde vaihtelee 30 - 45 %:n välillä polttoaineista ja tekniikasta riippuen, kun taas yhteistuotantolaitoksissa saavutetaan yli 90 %:n kokonaishyötysuhde, mikäli lämpö hyödynnetään kaukolämpönä ja noin 85 %:n hyötysuhde, mikäli syntyvä lämpö kehitetään höyryksi.

Yhteistuotannon huomioon ottaminen elinkaariarvioinnissa aiheuttaa ongelmia, joista ei ole päästy yksimielisyyteen. Tämä johtuu siitä, että sähkön kanssa samanaikaisesti syntyvää lämpöä arvostetaan eri tavoin eri kohteissa. Ongelma korostuu, mikäli asiaa ajatellaan Euroopan mittakaavassa. Keski- ja Etelä-Euroopassa asuntojen lämmityskauden ollessa lyhyt ja epäsäännöllinen on sähköntuotannossa syntyvälle suurelle lämpökuormalle vaikea löytää käyttöä, kun taas Suomen olosuhteissa lämmön tuotanto on suuren osan vuotta elintärkeää. Sähkön ja lämmön välisen suhteen arvioimista vaikeuttaa myös niiden erilainen hintataso. Kun sähköenergia on keskimäärin kaksi kertaa kalliimpaa loppukäyttäjälle kuin lämpöenergia, tuntuu ristiriitaiselta ajatella niiden asettamista samanarvoisiksi elinkaariarvioinnissa. Yhteistuotannossa käytetyt resurssit ja syntyneet päästöt pitäisi kuitenkin jakaa eri tuotteille jollain tasapuolisella ja johdonmukaisella menetelmällä, mikäli vertailuja halutaan tehdä. Energiatuotteiden hintoihin vaikuttaa myös se, että sähköä voidaan myydä ja ostaa sähkömarkkinoilta, mutta lämpöverkosto on paikallinen.

Hyvä lähtökohta yhteistuotanto-ongelman tarkasteluun on se, että jos Suomessa sähkön ja lämmön yhteistuotantoa ei käytettäisi, pitäisi tarvittava sähkö ja lämmitykseen sekä prosesseihin käytettävä lämpöenergia tuottaa erillisillä laitoksilla. Tämä johtaisi siihen, että saman kokonaisenergiamäärän tuottamiseen tarvittaisiin enemmän polttoaineita ja energian tuotannon ympäristövaikutukset olisivat suuremmat kuin mitä ne olisivat yh-

teistuotannolla tuotettaessa. Ero johtuu pääasiassa lauhdevoimalaitosten huonommasta hyötysuhteesta. Lämmön erillistuotannossa on mahdollista saavuttaa jopa yhteistuotantoa parempi hyötysuhde. Näin ollen jakamisperiaatteen pitäisi olla sellainen, että sen avulla lasketuista tuloksista näkyisi selvästi yhteistuotannon ympäristöystävällisyys kaikilla osa-alueilla.

Elinkaariarvioinneissa on mahdollista käyttää seuraavia yhteistuotannon kuormitusten kohdentamistapoja eli allokointiperiaatteita:

- tuotteiden energiasisältöön perustuva jako
- tuotteiden exergiasisältöön perustuva jako
- tuotteista saadun hinnan perusteella tehty jako
- erilaisten muuntokertoimien avulla suoritettu kuormitusten jakaminen.
- päästöjen kohdentaminen ilman jakoa kokonaan yhdelle energiatuotteelle.

Kyseiset kohdentamisperiaatteet on esitelty seuraavassa tiivistetysti. Kunkin allokointiperiaatteen teknisestä toteuttamisesta löytyy lisätietoa mm. viitteistä (Lindfors ym. 1995, Virtanen ym. 1995, Heikkinen ja Järvinen 1994).

### **3.6.1 Energiasisältöön perustuva jako**

Energiasisältöön perustuvan jaon mukaan päästöt jaetaan tasan tuotevirtojen energiasisällön mukaan. Energiasisällön mukainen jako on käytännössä yksinkertainen toteuttaa. Energiaperusteinen jako ei ota kuitenkaan huomioon sähkön ”lämpöä korkeampaa laatua” energianlähteenä eli sen joustavaa muunnettavuutta muiksi energiamuodoiksi, vaikka näistä syistä sähkön hinta markkinoilla on lämpöä suurempi. Tämä jakoperuste asettaa yhteistuotannolla tuotetun sähkön ja kaukolämmön päästöt energiayksikköä kohden yhtäsuuriksi. Jos asiaa tarkastellaan lämmitystarpeen näkökulmasta, ovat sähkölämmityksen ja kaukolämmön päästöt yhtäsuuret. Energiasisältöön perustuvaa jakoperustetta käytettäessä yhteistuotannolla tuotetulle sähkölle kohdennettavat ominaispäästöt ovat eri jakoperusteista pienimmät, joten tämä jakotapa hyödyttää sähkönkuluttajia suhteessa lämmönkuluttajiin.

### **3.6.2 Exergiasisältöön perustuva jako**

Exergian mukainen jako tarkoittaa sitä, että päästöjen jakaminen perustuu tuotteen exergia-arvolla painotettuun energiasisältöön. Exergia käsitteenä tarkoittaa energiatuotteessa olevan liike-energiaksi muutettavissa olevan energian määrää. Exergia-arvo saadaan laskettua lämpötuotteille ympäristön lämpötilaa ja tuotteen lämpötilaa käyttäen.

Jos esimerkiksi otetaan kaukolämpöä tuottava yhteistuotantolaitos, saadaan kaukolämmön tyypillisiä lämpötila-arvoja käyttäen sen exergiakertoimeksi 0,24, kun vastaava arvo sähkölle on 1. Näin ollen tuotetun sähköenergian katsotaan olevan yli neljä kertaa lämpöä arvokkaampaa päästöjä jaettaessa, jos kohdentaminen tehdään exergiaperiaatteen mukaisesti. Exergiaperusteinen jako hyödyttää siis kaukolämmön tuotantoa allokoimalla suurimman osan päästöistä sähkölle heikentäen samalla yhteistuotannolla tuotetun sähkön ympäristökilpailukykyä verrattuna lauhdevoimalaitoksilla tuotettuun sähköön. Jos asiaa tarkastellaan sähkömarkkinoiden näkökulmasta, johtaa exergiaperiaatteen soveltaminen tilanteeseen, jossa yhteistuotannolla tuotetun sähkön ympäristökilpailukyky voi jäädä modernia lauhdelaitosta heikommaksi. Exergiaperusteinen jako on käytännön sovelluksissa melko vaikea toteuttaa, sillä energiatuotteiden ja ympäristön lämpötilat on tiedettävä jokaiselle käsiteltävälle prosessille.

### **3.6.3 Tuotteiden hintaan perustuva jako**

Hintaperusteisessa jaossa painotetaan syntyneitä energiamääriä tuotteiden hintaerojen avulla lasketuista kertoimista exergiamenetelmän tavoin. Esimerkiksi voidaan ottaa tilanne, jossa sähkö on kaksi kertaa lämpöä kalliimpaa. Painotuskertoimeksi sähkölle saadaan 1 ja lämmölle vastaavasti 0,50. Tämä jakoperuste ottaa hyvin huomioon tuotteiden taloudellisen arvon ja kohdistaa syntyvät päästöt sen perusteella. Toisaalta lämmön markkinaolosuhteet eivät ole verrattavissa sähkömarkkinoihin siirtomahdollisuuksissa olevien erojen vuoksi. Ongelmaksi muodostuu käytännössä eri tuotteiden hintojen läpinäkyvä määrittäminen, sillä esimerkiksi sähkön hinnassa on suuria eroja riippuen siitä, myydäänkö sähkö suuryritykselle vai kotitaloudelle.

### **3.6.4 Muuntokertoimiin perustuva jako**

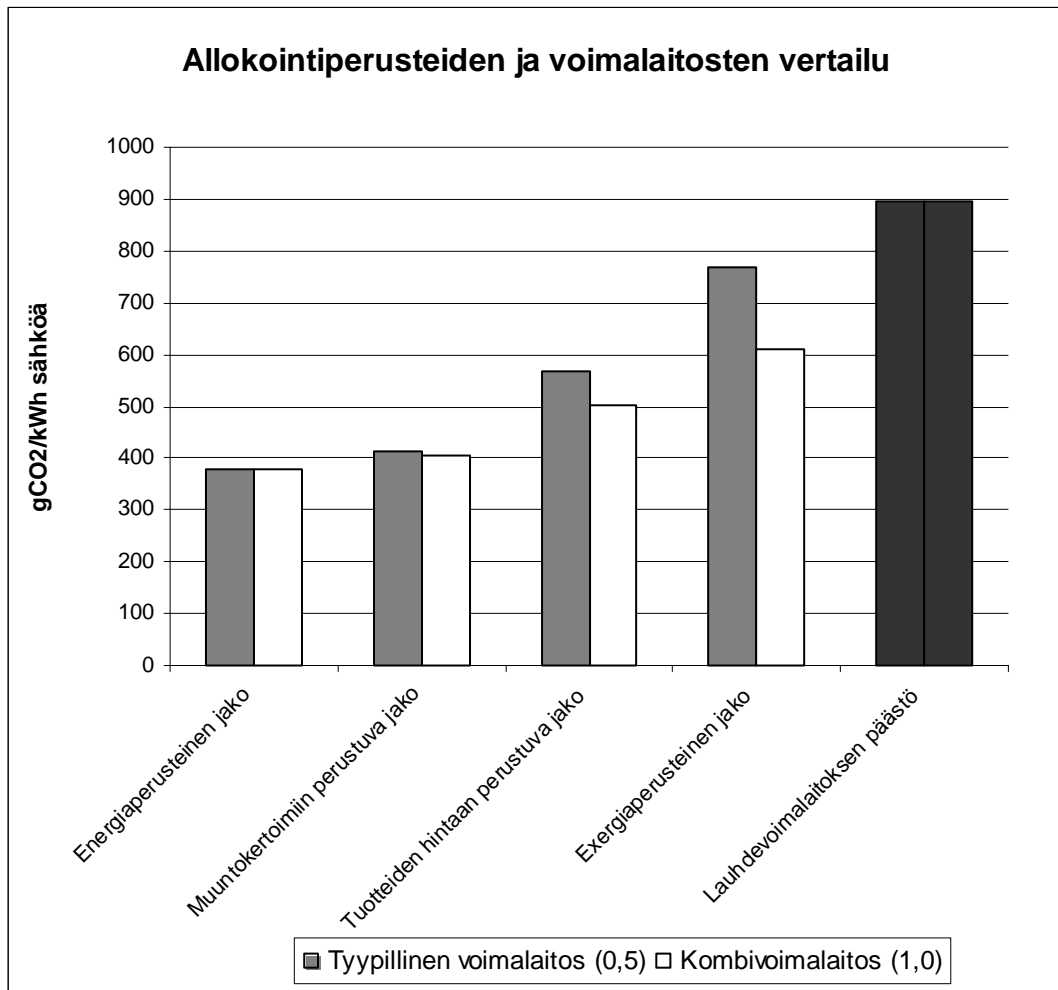
Muuntokertoimiin perustuvassa jaottelussa on jokaiselle eri tuotantotavalle (erillistuotanto, yhteistuotanto, ym.) määritelty sen keskimääräistä suomalaista tuotantoa kuvaava kiinteä muuntokerroin, jonka perusteella päästöt jaetaan. Tämän jakoperiaatteen mukaan lasketut tulokset ovat melko lähellä energiaperiaatteella toteutettua jakoa. Tämä jakoperuste on tällä hetkellä käytössä Tilastokeskuksen julkaisemassa Energiatilastoissa ja näin ollen melko laajasti käytetty. Menetelmä on käytännössä yksinkertainen, mutta se kuvaa heikosti keskiarvosta poikkeavia laitoksia, kuten sähkön- ja lämmön yhteistuotantoon suunniteltuja kombivoimalaitoksia.

### 3.6.5 Päästöjen kohdistus ilman jakoa

Päästöt voidaan kohdentaa kokonaan yhdelle päätuotteelle, jolloin muut tuotteet oletetaan tuotettavaksi ilman ympäristökuormituksia. Tätä jakoperustetta voidaan käyttää, jos tuotettua lämpöä ei käytetä hyödyllisellä tavalla ja se syntyy täysin prosessin sivutuotteena (lauhdevoimalaitos). Tällainen menetelmä olisi varteenotettava esimerkiksi silloin, kun syntynyt lämpö pystytään käyttämään hyväksi, mutta siitä saatava hyöty ei olisi niin suuri, että tarvittava lämpö kannattaisi tuottaa muussa tapauksessa erillisellä lämpölaitoksella. Tässä tapauksessa sähköntuotannon päästöt vastaisivat lauhdevoimalaitoksen päästöjä.

### 3.6.6 Kohdentamisperiaatteiden vertailua

Yhteistuotantolaitoksen sähkön- ja lämmöntuotannon keskinäisen suhteen (rakennusasteen) sekä päästöjen erilaisten kohdentamisperiaatteiden vaikutus sähköntuotannolle jyvitetäviin haittoihin on esitetty kuvassa 4. Kuvassa on vertailtu kivihiiltä polttavan yhteistuotantolaitoksen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjä eri jakoperusteita käyttäen lauhdevoimalaitoksen hiilidioksidipäästöön kahta eri rakennusastetta käyttäen. Tässä tapauksessa yhteistuotantolaitoksen kokonaishyötysuhteena on käytetty 90 % ja sähkön ja lämmöntuotannon välisinä suhteina on käytetty rakennusasteita 0,5 ja 1,0. Näistä 0,5 vastaa tyyppillisen kaupunkivoimalaitoksen sähkön ja lämmön tuotannon suhdetta ja 1,0 kuvaa maakaasun poltossa yleisellä kombivoimalaitostekniikalla saavutettavaa arvoa. Tällä hetkellä kiinteiden polttoaineiden kaasutustekniikka (kivihieillä) on vielä ”demonstraatioasteella”, joten kuvan esittämiä eroavaisuuksia ei pitäisi tarkastella absoluuttisina, vaan ainoastaan kuvaamaan eri allokontimenetelmien ja voimalaitostekniikan vaikutusta sähkölle kohdistuviin päästöihin. Vertailussa käytetyn lauhdevoimalaitoksen hyötysuhde on 38 %.



*Kuva 4. Päästöjen kohdentamisperiaatteiden vaikutukset sähköntuotannon päästöihin yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa rakennusasteilla 0,5 ja 1. Kuvan laskelmat on tehty esimerkinomaisesti kivihiihelle, mutta tolppaparien suhteelliset erot kuvaavat tilannetta muidenkin polttoaineiden kohdalla ko. rakennusasteilla.*

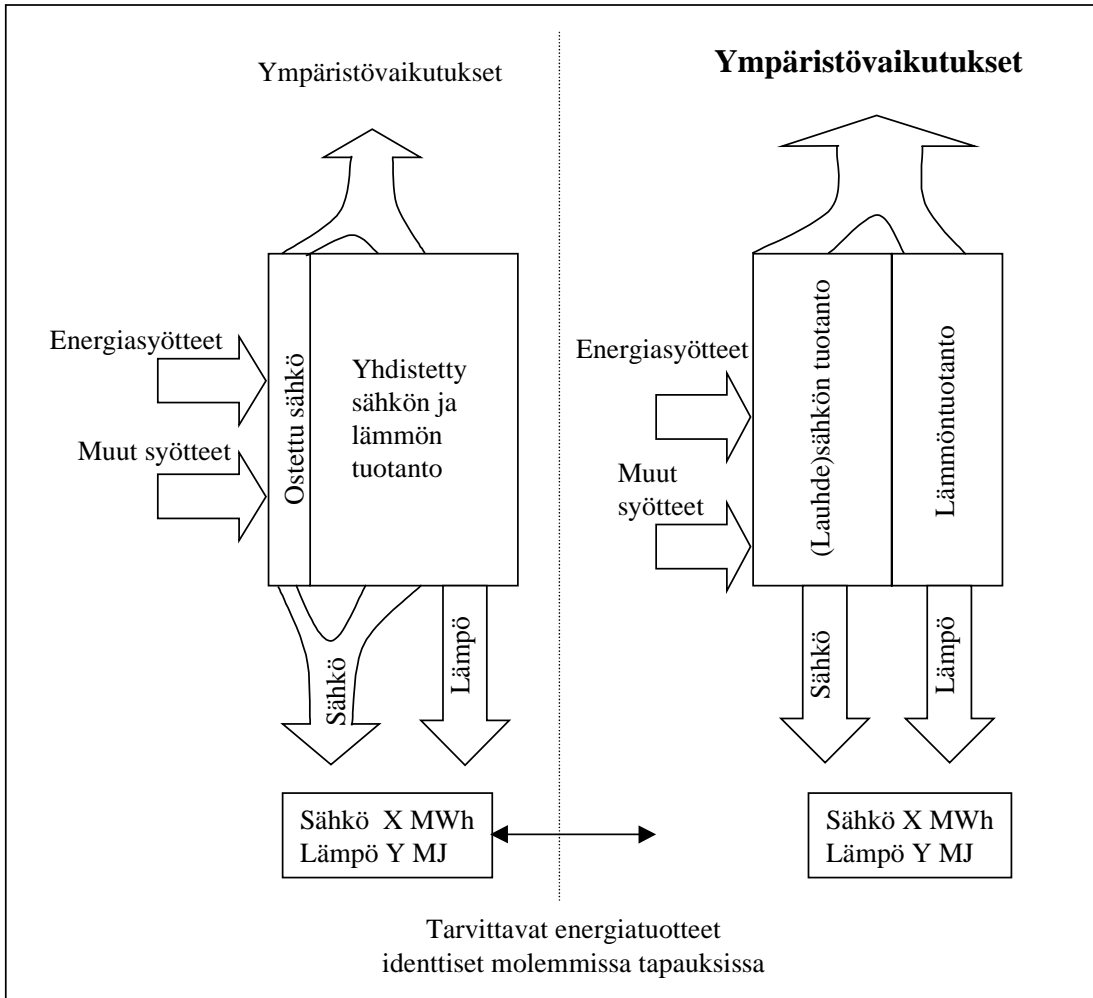
Kuva havainnollistaa sitä, miten vaihtoehtoiset kohdentamisperiaatteet vaikuttavat erityyppisten tuotantoteknologioiden ja niitä käyttävien yritysten energiatuotteiden ympäristökilpailukykyyn. Yhdistetyn tuotannon suuri osuus Suomen energiantuotantojärjestelmässä korostaa ympäristövertailuissa käytettävän allokointiperiaatteen valinnan merkitystä. Periaatteen valinta on pohjimmiltaan eri käyttäjäryhmien etuihin liittyvä neuvottelukysymys, johon ei voida antaa yksikäsitteistä suositusta luonnontieteellisin perustein.



### 3.6.7 Hyödykekorajattelu

Eräs vaihtoehtoinen tapa allokointiongelman käsittelyyn tai kiertämiseen elinkaariarvioinneissa on erilaisten tuotteiden käsittely kokonaisuuksina ns. hyödykekorajattelumallin mukaan, jota on soveltanut mm. Fraunhofer-instituutti tutkimuksissaan pakkausjätteen hyötykäyttö- ja polttovaihtoehtojen vertailemiseksi (APME 1996). Tämän ajattelumallin mukaan LCA:n systeemirajausten sisäpuolelle tulisi sisällyttää erilaisia tuotejärjestelmiä siten, että kaikista tarkasteluvaihtoehdoista saadaan tulokseksi identtiset tuotekorit. Energiantuotannossa tämän ajattelumallin mukainen tarkastelu lähtisi niistä tarpeista, joita yhteiskunnalla on energian suhteen. Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotantoa ei tulisikaan tämän mukaan verrata tuotteiden osalta sähkön ja lämmön erillistuotantoon, vaan lähteä kokonaisuudesta ja verrata sähkön ja lämmön yhteistuotantoa siihen vaihtoehtoon, että vastaava sähkö- ja lämpömäärä tuotettaisiin erillistuotantolaitoksissa. Tämä ajattelumalli sopii hyvin Suomen olosuhteisiin, joissa on olemassa selkeä kysyntä molemmille energiatuotteille. Periaatetta on havainnollistettu kuvassa 5. Yhdyskunnan sähkön- ja lämmöntarve voidaan toteuttaa joko kuvan vasemman puolen mukaisesti yhdistetyllä tuotannolla, jolloin lisäksi sähköä joudutaan joko ostamaan tai tuottamaan itse muilla tuotantotavoilla. Vaihtoehtoinen tapa on tuottaa tarvittava lämpö erillisellä lämmöntuotantoprosessilla ja sähkö joko omalla sähköntuotantoprosessilla tai ostaa ulkopuolelta. Saman sähkö- ja lämpömäärän saamiseksi tarvitaan jälkimmäisessä tapauksessa enemmän raaka-aineita ja aiheutetaan myös suuremmat ympäristövaikutukset kuin yhteistuotannon tapauksessa.

Ajattelumallilla tuotantojärjestelmän sisäiset riippuvuudet ja synergiaedut saadaan näkyviin ja hyödynnetyksi. Asiakasperspektiivistä tämä toisaalta merkitsee sitä, etteivät tarjolla olevat erilaiset energiatuotteet ole käytännössä täysin toisistaan riippumattomia, vaan sähkön- ja lämmöntarpeen ympäristövaikutuksia tulisi tarkastella niistä muodostetun tuotekorin tai ”energiapalvelun” kokonaisvaikutuksina.



Kuva 5. Kuvaus hyödykekorjaajattelumallista sovellettuna esimerkiksi kaupungissa tarvittavaan sähköstä ja lämmöstä muodostuvaan 'energiatuotekoriin'.

## 4. Uusiutuvien energianlähteiden käyttö ja potentiaalit Suomessa

Vihreän energian markkinoiden tulevaisuutta arvioitaessa on tarpeen tarkastella uusiutuvien energianlähteiden käyttöä nykytilanteessa ja arvioida niiden käyttömahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Suomi on Euroopan johtavia maita uusiutuvien energianlähteiden käytössä. Euroopassa ainoastaan Ruotsissa, Norjassa ja Itävallassa käytetään uusiutuvia energianlähteitä enemmän kuin Suomessa. Tämä johtuu näiden maiden suuresta vesivoiman osuudesta energiantuotannossa. Biomassan energiakäytössä Suomi on Euroopan johtava maa.

Tällä hetkellä Suomessa uusiutuville energianlähteillä tuotettu energia tuotetaan pääasiassa vesivoimalla ja puupolttoaineella. Suomessa ei vielä tuoteta energiaa peltobiomassan, kuten oljen ja erilaisten energiakasvien avulla, mutta tätäkin tutkitaan. Taulukossa 3 on esitetty uusiutuvien energiamuotojen primäärienergianlähteiden kulutus sekä uusiutuville energiamuodoilla tuotetun sähkön määrä vuonna 1997.

*Taulukko 3. Uusiutuvien energiamuotojen käyttö ja niillä tuotettu sähkö Suomessa 1997 (Energiatilastot 1997).*

Primääri-energianlähde	Käytetty primäärienergia (1997)	Osuus Suomen energiankulutuksesta	Tuotettu sähkö (1997)	Osuus Suomen sähkön-tuotannosta
Yksikkö	TJ	%	GWh	%
Vesivoima	43 181	3,4	11 995	18,1
Tuulivoima	60	0,005	17	0,03
Aurinkoenergia	8	0,0006	0	0
Lämpöpumput	1 842	0,14	0	0
Biokaasu	494	0,04	11	0,02
Puubiomassa, sis. hake ja puutähteet	108 708	8,5	7 800	11,8
Puunjalostusteollisuuden jäteliemet	128 549	10,0		
Kierrätyspolttoaineet	1 154	0,09		
<b>Yhteensä</b>	<b>283 996</b>	<b>22,1</b>	<b>19 812</b>	<b>29,95</b>

Taulukossa 3 primäärienergiaksi on käsitetty kaikki Suomessa käytettävä energia; siihen sisältyy lämmön ja sähkön tuotanto ja kuljetusten ja teollisuuden käyttämät energiat. Energianlähteen osuutta Suomen kokonaissähköntuotannosta kuvaavat luvut eivät ota huomioon tuontisähköä. Primäärienergian kokonaiskulutus Suomessa vuonna 1997 oli 1 282 453 TJ ja kokonaissähköntuotanto oli 66 100 GWh. Poisluettu tuontisähkön määrä vuonna 1997 oli 7 700 GWh. Primäärienergia-arvot on annettu TJ-muodossa ja sähköntuotannon arvot GWh-muodossa, koska nämä yksiköt ovat vakiintuneessa käytössä lukuarvojen tilastoinnissa.

Millaisia näkymiä uusiutuvien energianlähteiden tuotantopotentiaaliin liittyy? Tämän hetken tilanteessa suurin kasvupotentiaali tulevaisuudessa on arveltu olevan puu- ja tuulivoimalla (ks. taulukko 4). Näiden lisäksi suuria mahdollisuuksia liittyy myös auringon säteilyn suoraan konversioon perustuviin tekniikoihin eli aurinkolämpöön ja aurinkosähköön (photovoltaics, PV), joskin näiden tekniikoiden käyttö Suomessa on vasta alussa (Jokinen 1998). Myös peltobiomassan osalta on laskettu erilaisia kasvuennusteita. Vesivoiman osuuden mahdollinen kasvu tapahtuisi lähinnä entisten laitosten tehoja nostamalla, sillä uusia laitoksia ajatellen vesivoiman tuottoon soveltuvat vesistöt on tehokkaasti valjastettu käyttöön.

Taulukossa 4 on esitetty eri lähteistä saatuja arvioita uusiutuvien energianlähteiden käytön kasvamisesta ja kokonaispotentiaaleista Suomessa. Varsinkin tuulivoimapotentiaaleja tarkasteltaessa on muistettava, että eri lähteistä saaduissa lukuarvoissa on eroavuuksia.

Taulukossa 4 biopolttoaineiden kasvuennusteet on annettu primäärienergiana, mutta tuulivoiman ja suoran aurinkoenergian kasvuennusteet tuotettuna sähkönä tai lämpönä, koska tuulivoimaa ja aurinkoenergiaa ei ole mielekästä mitata primäärienergiana. Toisaalta eri polttoaineista voidaan tuottaa sähköä ja muita energiahyödykkeitä eri tavoilla, jolloin tuotantoennuste on riippuvainen tuotantotavasta. Näin ollen lukuja on vaikea suoraan yhteismitallistaa. Käsityksen energianlähteen tulevaisuuden potentiaalista saakin vertaamalla arvoa Suomen kokonaisenergiankulutukseen.

*Taulukko 4. Arvioita uusiutuvien energianlähteiden käytön kasvamisesta Suomessa. Tuulivoiman realistisessa potentiaalissa on otettu huomioon maankäytön, sähköverkon ja talouden asettamia rajoituksia.*

<b>Tuotantomuoto</b>	<b>Tuotantopotentiaali</b>	<b>Ennusteen toteutumivuosi</b>	<b>Lähde</b>	<b>Huomautukset</b>
Tuulivoima GWh/a	6 800 - 7 800		VTT Energia 1997	Realistinen potentiaali
Tuulivoima GWh/a	50 000		VTT Energia 1997	Kokonaispotentiaali
Tuulivoima GWh/a	30 000 - 32 000		Kemijoki Oy 1998	Kokonaispotentiaali
Tuulivoima GWh/a	500	2010	Jokinen 1998	Kasvuennuste
Aurinkosähkö GWh/a	5,6	2010	Jokinen 1998	Kasvuennuste
Aurinkolämpö GWh lämpöä/a	200	2010	Jokinen 1998	Kasvuennuste
<b>Primäärienergianlähde</b>	<b>Kasvuennuste</b>	<b>Ennusteen toteutumivuosi</b>	<b>Lähde</b>	<b>Huomautukset</b>
Peltobiomassa TJ/a	11 000 - 54 800		Helynen ym. 1996	
Puubiomassa TJ/a	198 000 - 214 000	2010	Helynen ym. 1996	Puunjalostusteollisuuden sivutuotteet
Puubiomassa TJ/a	227 400 - 406 100		Helynen ym. 1996	Kokonaispotentiaali
Biojätteet TJ/a	20 300 - 40 600		Helynen ym. 1996	

Tarvittaessa potentiaalien keskinäistä suhdetta voidaan hahmottaa kertomalla polttoainneiden energiasisältö 0,35:llä, joka on Tilastokeskuksen käyttämä muuntokerroin primäärienergian ja sähkön välillä (Energiatilastot 1997). TJ-arvosta saadaan GWh-arvo jakamalla se 3,6:lla. Näin saadaan hyvin karkea arvio tuotantomääristä, jotka eivät kuitenkaan ota huomioon esimerkiksi mahdollisia yhteistuotannon hyötyjä.

## 5. Vihreän energian kriteerien tilannekatsaus

### 5.1 Suomi

Suomen luonnonsuojeluliitto ry (SLL) julkaisi ekoenergian kriteeristön brändeineen 1.6.1998. Tätä edelsi valmisteluvaihe, jossa kriteeristöä keskusteltiin erilaisissa avoimissa työryhmissä, ja joiden kokouksiin aiheesta kiinnostuneet saivat osallistua. Suomen luonnonsuojeluliiton kriteeristössä "Norppa suosittelee ekoenergiaa" -merkintä voidaan antaa vain uusiutuvaa energiaa hyödyntäville vaihtoehdoille, joita SLL pitää tulevaisuudessa elinvoimaisimpina energiamuotoina (SLL 1998a). Uusiutuvuutta pidetään kriteeristössä kynnysehtona. Tässä suhteessa eroaviakin mielipiteitä on esitetty. Energia-alan Keskusliitto Finergyn mielestä eri energialähteiden pitäisi antaa kilpailla omissa sarjoissaan. Finergyn esittämässä toimintamallissa vihreän sähkön sijaan tulisi luokitella erikseen tuulivoimaa, biokaasuvoimaa jne. Luokittelu voisi koskea paitsi tuotantomuotoa kokonaisuutena, niin myös sen toteutustasoa. Finergyn mukaan luokittelu voidaan toteuttaa erikseen kullekin nykyiselle ja uudelle tuotantomuodolle. Paras luokitus annettaisiin parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa soveltaville laitoksille. Lisäksi todetaan, että tällaiset eri tuotantomuotojen luokittelut eivät ole suoraan verrattavissa toisiinsa, mutta samalla kuitenkin vältetään suuri osa yleisemmän luokittelun ongelmista (Finergy 1998a).

Sähkölaitoksista Kainuun Sähkö Oy on näkyvimmin markkinoinut itse määrittelemäänsä ympäristömerkittyä "ekosähköä". Vaasan Sähköllä ja Kemin Energialla on myös jonkin verran toimintaa ympäristömerkityn sähkön markkinoilla ja ne käyttävät tuotteesta nimeä vihreä sähkö tai suoraan tuulisähkö. Myös Ahvenanmaalla on ollut kiinnostusta vihreän sähkön markkinointiin. Vantaan Energia on myynyt Seutulan kaatopaikkakaasun sähköntuotannon kokonaisuudessaan yhdelle ostajalle. Yhtiö ottanee käyttöön Finergyn suositteleman sähkön tuoteselosteen (Helenius 1998). Hyötysähköä ovat markkinoineet 12 kaupungin energiayhtiöt. Hyötysähköllä tarkoitetaan yhteistuotannossa korkealla hyötysuhteella tuotettua sähköä (Pirilä ja Ranne 1998). Näiden lisäksi ainakin Jyväskylän Energia ja Espoon Sähkö ovat lisänneet 'vihreän sähkön' tuotevalikoimaansa.

#### 5.1.1 Suomen luonnonsuojeluliitto

Suomen luonnonsuojeluliitto ry on määritellyt "ekoenergian" kriteerit uusiutuvista energialähteistä tuotetulle sähkölle ja lämmölle (SLL 1998c, e, sekä liitteet B ja C) ja pyrkii määrittelemään tulevaisuudessa kriteeristön myös tuotteistetulle energian säätölle (SLL 1998b). Vuoden 1999 loppuun asti voimassa olevan kriteeristön pohjana ovat

Ruotsin luonnonsuojeluliiton vuoden 1996 alussa julkaisemat Bra Miljöval -kriteerit, jotka on muodostettu energialähdeperusteisen luokittelun avulla (SNF 1995). Pohjoismaiset luonnonsuojeluliitot (SLL, Sveriges Naturskyddsföreningen, Norges Naturvernforbund) ovat sopineet yhteistyöstä energiantuotannon ympäristökriteereiden laadinnassa ja myöntämisperiaatteissa. Tanskassa vastaavaa järjestelmää ei ole toistaiseksi käytössä.

SLL:n ekoenergiakriteeristön ehdot täyttävät sähköntuottajat, – jakelijat ja loppukäyttäjäyritykset sekä lämmön tuottajat ja lämpöpalveluyritykset voivat hakea markkinointiaan varten käyttöönsä *Norppa suosittelee ekoenergiaa* –tunnuksen (SLL 1998f). Merkintää hakevien yhtiöiden toivotaan kääntyvän sen maan luonnonsuojeluliiton puoleen, jossa markkinointi tapahtuu. Kriteerit eivät ole Ruotsissa ja Suomessa aivan yhdenmukaiset, vaan niissä on maakohtaisista erikoispiirteistä johtuvia eroja. Suomalainen kriteeristö kattaa myös uusiutuvilla polttoaineilla tuotetun yhdistetyn sähkön- ja lämmön tuotannon ja eroja on myös biopolttoaineista syntyvän tuhkan palauttamisperiaatteissa. Suomalaisessa kriteeristössä ei toistaiseksi aseteta erityisiä ehtoja tuhkan palauttamiselle.

SLL:n kriteeristön tavoitteeksi mainitaan tuotantorakenteen muutos, joka saavutettaisiin ohjaamalla investointeja uusiutuviin energianlähteisiin, ei kuitenkaan enää uuteen vesivoimaan. Mukana on myös kehittymisnäkökulma: yhtiöiltä toivotaan voimakasta panostusta oman alansa edistämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi. Myös energian tehokasta käyttöä kulutuspuolella pyritään edistämään. SLL:n muistiossa arvioidaan, että paikallisten resurssien ”korvamerkitseminen” saattaisi parhaimmillaan ohjata tuotantoa hyödyntämään paikallisia resursseja ja tukemaan näin työllisyys- ja aluepolitiikkaa. Alueellisten energianlähteiden, esimerkiksi puun, käytön kasvattamisella pyritään korvaamaan ensisijaisesti turvetta ja kivihiihtä (SLL 1998b).

Luonnonsuojeluliitto luokittelee ekoenergiaksi tuulivoimalla, biopolttoaineilla, auringon avulla ja jo rakennetulla vesivoimalla tuotetun energian (sähkön tai lämmön). Ekoenergiaksi kelpuutetaan myös jätevedenpuhdistamojen, mädätyslaitosten ja kaatopaikkojen kaasuista tuotettu energia. Kriteeristön taustamuistiossa (SLL1998b) esitellään keskustelun käynnistämiseksi tarkoitettua tausta-aineistoa myös uusille vuoden 2000 kriteereille energian säästön osalta. Luonnonsuojeluliiton kriteeristössä ennen vuotta 1996 valmiiksi rakennetulle vesivoimalle voidaan anoa Norppa-tunnusta. Lisäksi ajankohdan jälkeenkin toteutettujen vanhojen vesivoimaloiden tehostamistoimenpiteille voidaan anoa merkkiä edellyttäen, ettei tehostamistoimista seuraa uusia ympäristövahinkoja. Kantaa perustellaan sillä, että vesivoima on uusiutuvaa ja päästötöntä energiaa. Haittoista todetaan, että rakennetun vesivoiman haitat on jo aiheutettu ja osittain peruuttamattomasti. Auringolla tuotetulle verkkosähkölle, aurinkolämmölle ja pienimuotoiselle

aurinkosähkölle on mahdollista hakea SLL:n ekoleimaa sekä talokohtaisiin järjestelmiin perustuvana palveluna että osana kaukolämmön tuotantoa (ks. liitteet B ja C).

Ekoleimaa ei myönnetä yhdyskuntajätteestä polttamalla tuotetulle energialle eikä turpeelle, koska se ei ole uusiutuva polttoaine. Lisäksi mainitaan, että fossiili- ja ydinvoima eivät ole ekoenergiaa. Monipolttoainekattiloiden osalta todetaan, että ekomerkki-mahdollisuus koskee vain käytetyn biomassan osuutta, joka tulee osoittaa vuositasolla.

SLL:n kriteeristö jakautuu Ruotsin mallin pohjalta muodostettuihin nk. ”nykykriteereihin”, jotka ovat voimassa vuoteen 2000 saakka (liitteet B ja C) sekä suomalaisen työryhmätyöskentelyn tuloksena muodostettuihin ”keskustelu- ja suositusosiin”, jotka selviävät viitteistä (SLL 1998b ja SLL 1998d). SLL ilmoittaa, että 1.1.2000 alkaen tullaan vanhojen kriteerien ohella soveltamaan uusia ja tarkennettuja ehtoja, joita on alustavasti kirjattu muistioon otsakkeilla ”keskustelua tulevista ehdoista ja suosituksista”. Kriteeristön hyväksyy luonnonsuojeluliiton linjaorganisaation johtoporras ja ensimmäinen kriteeristö on valmisteltu SLL:n vastuullisen kulutuksen projektin puitteissa SLL:n energianeuvoston avustuksella (S. Tepponen, puhelinkeskustelu 1998). Kriteerien laadinnassa mukana olleen energia-asiantuntijoiden ydinryhmän ovat muodostaneet SLL:n energianeuvoston jäsenet, jotka myös hyväksyvät lisenssihakemukset. Kriteereiden valmistelussa on konsultoitu muitakin asiantuntijoita tarpeen mukaan ja prosessin aikana käytyjä keskusteluita on dokumentoitu viitteeseen (SLL 1998d).

Kriteeristön taustamuistio (SLL 1998b) rakentuu energialähdekohtaisesta luokittelukriteeristöstä, jota on täydennetty yleisen tason periaatteilla. Yleisluontoisina ehtoina kriteeristössä mainitaan, että energian tuottaja- ja myyjäyhtiöillä on oltava julkisesti arvioitavissa olevat ympäristöohjelmat ja vuosittainen ympäristöauditointi. Yrityksen on annettava tietoja toiminnastaan aiheutuvista päästöistä maaperään, veteen ja ilmaan sekä niiden vaikutuksista ympäristöön tai muista luontoa kuormittavista tai muuttavista tekijöistä. Ympäristövaikutukset on arvioitava uusissa hankkeissa ja kaikki osalliset on otettava huomioon, vaikka hanke ei kokonsa puolesta vaatisi virallista yva-selvitystä. Yhtiöiltä edellytetään, että ne rahastoivat osan ekoleimatun energian myyntituotosta ja käyttävät varoja uusiutuvan energian ja säästöinvestointien kehittelyyn ja käytön edistämiseen. Lisäksi vaaditaan, että energiayhtiöt liittyvät vapaaehtoiseen valtiovallan ja alan väliseen energiansäästösopimukseen ja kehittävät toimintansa laatua. Kriteeristössä todetaan, että mikään energia ei ole haitatonta, siksi kuluttajalla olisi tulevaisuudessa oltava myös energiansäästön vaihtoehto valittavanaan: ekoleima voidaan tulevaisuudessa myöntää myös energiapalvelulle, jonka tuloksena syntyy selvää säästöä kulutuspuolella. Energiansäästölle ”negawateille” pyritään kehittämään jatkossa omat kriteerit. Uusiutuvaa energiaa tarjoavien yritysten on noudatettava sovittuja päästörajoja ja parhaita mahdollisia tekniikoita ja käytäntöjä. Tuotannon kaikista vaiheista on raportoitava julkisesti.



Merkin käyttöä mainonnassa valvovat luonnonsuojeluliiton lisäksi kuluttajaviranomaiset. Yhtiöiden kirjanpitojen tulisi olla sellaiset, että Suomen tai Ruotsin luonnonsuojeluliiton hyväksymä tarkastaja voi tarkastaa ympäristömerkinnän saaneiden sopimusten velvoitteiden täsmällisen ja oikean täyttymisen. Toimitussopimuksissa tulee taata, että vuotuinen energiatase täyttää vaatimukset. Reaaliaikaista vastaavuutta ei kuitenkaan vaadita, vaan vuositase riittää. Tämä kysymys muodostaa valvontatehtävän, jotta voidaan varmistua siitä, että ”ekoenergiaa” myydään vain sen verran kuin sitä tuotetaan. Tarjontaa rajaavat tuotantoresurssit.

SLL:n voimassa olevan kriteeristön lopussa mainitaan, että ”uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämiseksi kehitettyjen järjestelmien elinkaarianalyysit viittaavat siihen, että niiden aiheuttama ympäristökuormitus on suhteellisen vähäinen hiileen, öljyyn ja ydinenergiaan verrattuna. Uusiutuvien energialähteiden käyttämiseksi luotujen teknisten järjestelmien väliset erot saattavat kuitenkin muodostua huomattaviksi, kun järjestelmiä laajennetaan ja rakennetaan suuressa mittakaavassa.” Epäselväksi jää, mihin elinkaarivaihtoihin tai niistä tehtyihin yhteenvetoihin myös alkuperäisestä ruotsalaisesta kriteeristöstä (SNF 1995) löytyvä viittaus perustuu. Toisaalta keskusteludokumentissa (SLL 1998d, s. 34 - 35) todetaan, että hankinta-alueen laajuus on olennaista bioenergian oman ekotaseen kannalta, joten biopolttoaineiden kuljetuksissa käytettävän fossiilisen apuenergian osuutta biopolttoainetehosta kuljetukset mukaan luettuna tulee tarkastella.

SLL:n kriteerit ovat aluksi suhteellisen väljiä, mikä johtuu siitä, että asia on vielä uusi eikä yhtiöiltä voi vaatia kovin paljon. Kriteereitä on kuitenkin tarkoitus kiristää myöhemmin yhdessä Ruotsin ja Norjan luonnonsuojelujärjestöjen kanssa (Tepponen 1998).

Vuoden 1998 kesään mennessä 16 energia-alan yhtiötä oli ilmoittanut halukkuutensa hakea Norppa-merkkiä (SLL 1998g). Järjestelmän käynnistyttyä monet sähköyhtiöt liittyivät siihen. Taulukossa 5 on esitetty vallitseva tilanne 7.12.1998.

Taulukko 5. Kymmenen eniten SLL:n ekoenergiakriteerit täyttävää sähköä tuottavaa yhtiötä 7.12.1998 ( SLL 1999).

Yhtiö	GWh	Osuus sähkön myynnistä	Vesi-voimaa	Puu-voimaa	Tuuli-voimaa
Kainuun sähkö Oyj	334,5	42,8 %	85 %	15 %	
UPM-Kymmene Oyj	256	2 %	100 %		
Vattenfall Oy	234	7,6 %	87 %		13 %
Pohjois-Karjalan sähkö Oy	163	18 %	100 %		
Keski-Suomen Valo Oy	93,2	10 %	100 %		
Etelä-Savon Energia Oy	85	33 %		100 %	
Länsivoima Oy	75	2 %	100 %		
IVO Partnerit	42,8	0,25 %	79 %	21 %	
Vaasan Sähkö Oy	26,4	4,4 %	95,5 %		4,5 %
Kouvola Seudun Sähkö Oy	25	4 %	100 %		

Näiden lisäksi VVO-Sähkö Oy, Kuhmon Lämpö Oy, Kotkan energia Oy, Heinolan Energia Oy, Naantalin Energia Oy, Keuruun Sähkö Oy, Tuusulanjärven Energia Oy sekä Paneliankosken Voima Oy tuottavat SLL:n kriteerit täyttäviä energiapalveluita.

Taulukosta 5 voidaan todeta, että suurin osa markkinoilla olevasta ekoenergiasta on toistaiseksi vesivoimaa ja että järjestelmään on liittynyt useita merkittäviä sähköyhtiöitä. Norppa-leimatun sähköenergian osuus on kasvanut yli 1,3 TWh:n suuruiseksi. Näin ollen järjestelmää tulisi kehittää jatkuvasti ja sen vaikutuksia ympäristönsuojelun tasoon tulisi jatkossa seurata systemaattisesti.

### 5.1.2 Kainuun Sähkö Oyj

Kainuun Sähkö Oyj määrittelee esitteessään ja Internet-sivuillaan (Kainuun Sähkö 1998a) tuotemerkkinsä EKOsähkön energialähteen mukaan. Ekosähköä on vesi, puuhake, puujäte, tuuli ja biopolttoaine. Ekosähköä ei ole ydinsähkö, kivihili (fossiiliset polttoaineet) ja turve. Yhtiön myymästä sähköstä lähes 60 % tuotetaan kotimaisesti vedellä, turpeella ja puulla. Yhtiön tiedotteen mukaan yhtiön vihreän sähkön hankintakapasiteetti on noin 355 miljoonaa kWh vuodessa, mikä on noin 40 % yhtiön kokonaishankinnasta (Kainuun Sähkö 1998b). Ekosähkön hinta selviää viitteestä (Kainuun Sähkö 1998d). Yhtiöllä on käynnissä tuulivoimaloiden rakentamishanke, mutta sen tuotantoon on yhtiöllä toistaiseksi vain mitättömän pieni osakkuusosuus. Yhtiö on solminut yhteistyösopimuksen osakasomisteisen Lumituuli Oy:n kanssa, jonka ensimmäinen

660 kW:n tuulivoimala rakennetaan alkuvuonna 1999 Lumijoen kuntaan Routunkarille maaliskuussa 1999 (Lumituuli 1999).

Kainuun sähkö Oyj:n tiedotteessa todetaan, että sähkömarkkinoiden vapautuessa eri osapuolten, niin poliittisten päättäjien, asiakkaiden, viranomaisten kuin sähkönmyyjienkin, vapaista markkinoista käymä keskustelu on suuntautunut lähes yksinomaan sähkön hintaan ja sähkön muut ulottuvuudet, kuten sähköntuotannon ympäristövaikutukset, ovat jääneet vähemmälle. Tiedotteessa todetaan, että Suomeen on syntymässä vihreän sähkön markkinat, vaikka niiden olemassaolon mahdollisuuksista vallitseekin odotetusti varsin ristiriitaisiakin mielipiteitä. Yhtiön mukaan kysymyksessä ei ole mikään draamaattinen vaikutus- tai päätösvallan siirtyminen, vaan päänavaus kehitykselle, joka antaa sijaa myös yksittäisten kansalaisten arvovalinnoille. Yhtiö on tuonut markkinoille ”EKOsähkö-tuotteensa”, joka tarjoaa sähkönkäyttäjille vaikutuskanavan ohjata sähköntuotantoa omalta osaltaan ympäristöä vähemmän rasittavien energialähteiden ja tuotantomuotojen käyttöön. Lisäksi korostetaan, että ekosähkö on puhtaasti kotimainen tuote, joten se tukee kansallisia tavoitteita energiantuotannon omavaraisuuden lisäämiseksi (Kainuun Sähkö 1998c). Yhtiö on hankkinut omistukseensa Ekosähkö Oy:n, ja harkitsee kaiken vihreän sähkön myynnin eriyttämistä Ekosähkö Oy:hyn, jolloin toiminimilain mukaan muut yhtiöt eivät saisi käyttää mainonnassaan kaupparekisteriin merkityn yhtiön nimeä (T&T 1999).

### 5.1.3 Imatran Voima Oy

Imatran Voima Oy:n (IVO) mukaan ekosähkö on sähköä, jonka tuottaminen perustuu uusiutuviin energialähteisiin tai ekosähköä voi hyvin olla myös esim. hiilellä tuotettu sähkö, jos se vain on ympäristövastuullisesti valmistettu (IVO on nykyään osa energiakonserni Fortum Oyj:tä). IVO jakaa kaikille yhtiön asiakkaille ympäristöselosteen, josta selviää miten suuria päästöjä ostetusta sähköstä syntyy ympäristöön (HS 5.5.1998, Jaana Rosendahl, IVO Partnerit -ketju). Ensimmäistä kertaa myös pienasiakkaille kerrotaan energiantuotannon päästöistä ympäristöön. Artikkelin mukaan IVO-partnerit -ketju aikoo laajentaa toimenkuvaansa energiapalvelutaloiksi. Tavoitteena on tarjota asiakkaille esimerkiksi kodinkoneiden korjauspalveluita.

IVO:n asiakkailleen jakamassa sähkön ympäristöselosteessa tarkastellaan vuosien 1995 - 97 keskiarvotietoja, sähkön tuottamiseen käytettyjä energialähteitä prosenttiosuuksina, IVO:n tuottaman sähkön osuutta Suomen kokonaispäästöistä prosentteina, IVO:n päästöjä ilmakehään ominaispäästöinä sekä sähköntuotannon sivutuotteiden hyötykäyttöprosentteja. Lisäksi kerrotaan yleisesti, miten päästöt vaikuttavat ympäristöön. IVO:n tavoitteena on muodostaa ympäristöselosteesta standardi, joka helpottaa asiakasta sähköyhtiöiden vertailutilanteessa (IVO Partnerit 1999).

IVO:n tavoitteena on saada 25 000 tuulisähkön tilaajaa. Lappiin on suunniteltu yli sadan tuulivoimalan rakentamista (HS 5.5.1998).

#### **5.1.4 Helsingin Energia**

Helsingin Energia on tuonut markkinoille oman ympäristöselosteensa, jossa kerrotaan yrityksen ympäristöohjelman tavoitteista, jatkuvasta päästöjen vähentämisestä ja kestävä kehityksen edistämisestä (Helsingin Energia 1999). Ympäristöselosteessa on tuotu esille myös elinkaariajattelua ja sitä, että ympäristönäkökulma tulee ottaa huomioon toimintaketjun kaikissa vaiheissa.

Ympäristöselosteessa kerrotaan sähkönhankinnan kuluvan vuoden päästöarviot sekä määrällisesti että suhteutettuna koko Suomen vastaaviin ilmapäästöihin. Eri sähköntuotantomuotoina on tarkasteltu vesivoimaa, ydinvoimaa, maakaasua erillistuotannossa, maakaasua yhteistuotannossa, hiiltä yhteistuotannossa ja hiiltä erillistuotannossa. Päästökomponentteina on tarkasteltu rikkidioksidia, hiilidioksidia, typenoksideja ja hiukkasia tuotettua sähköyksikköä (kWh) kohden. Selosteessa on myös tehty vertailu eri sähköntuotantomuotojen hyötysuhteesta ja kerrottu päästöjen ympäristövaikutuksista. Helsingin Energialla on myös vesi- ja tuulivoimaa, mutta niitä ei myydy erikseen.

Helsingin Energian yhteistuotantovoimalaitoksilla tuotetun sähkön osuus kokonaishankinnasta on noin 68 %. Sähkön- ja lämmön yhteistuotannosta tulevaa sähköä markkinoidaan Hyötysähköä (rekisteröity tuotemerkki). Hyötysähkö on korkealla hyötysuhteella tuotettua yhteistuotantosähköä, jolloin polttoaineen sisältämästä energiasta saadaan talteen jopa 90 % sähköä, höyryä ja kaukolämpöä. Polttoainetta tehokkaasti hyödyntävä sähkön ja lämmön yhteistuotanto ja siihen kiinteästi liittyvä kaukolämmitys ovat Helsingin Energian kestävä kehityksen mukaisen toiminnan kulmakivet. Helsingin Energia sai vuonna 1990 YK:n ympäristöpalkinnon kaupunki-ilman parantamisesta yhteistuotannon avulla.

Helsingin Energia on kehittämässä yhteistyössä Finergyn kanssa vapaaehtoista ympäristötariffijärjestelmää, jonka tuotto käytetään uusien energiamuotojen kehittämiseen ja ympäristöä parantaviin hankkeisiin. Helsingin Energia sijoittaa hankkeisiin myös omaa ja mahdollisesti muualta saatua rahoitusta.

#### **5.1.5 Ympäristöministeriö (YM)**

Ympäristöministeriö on mukana kaupp- ja teollisuusministeriön (KTM) asettamassa Ympäristömerkityn sähkön markkinointisäännöt -työryhmässä, jonka työ valmistui

helmikuussa 1999 (KTM, 1999). Ympäristöministeriön näkökulmasta sähkön ympäristömerkintä on yksi ympäristöohjausta täydentävä keino. Vihreä sähkö nähdään uutena työkaluna ilmastonmuutoksen torjunnassa (Ympäristöministeriö 1998). Ministeriö on tukenut vihreiden energiamarkkinoiden kehitystyötä. Erilaiset ympäristömarkkinoinnin keinot, kuten sähkön ympäristöseloste ja -merkki, nähdään toisiansa tukevinä tekijöinä. Molempien päämääränä on olla uskottavia asiakkaiden näkökulmasta ja kannustaa yhtiöitä ympäristövaikutusten pienentämiseen. Erityyppiset asiakkaat tarvitsevat määrältään ja laadultaan erilaista tietoa, jonka laadintaan ei toistaiseksi näytä olevan tarpeen vaikuttaa viranomaistoimenpitein (M. Cederlöf, YM, puhelinkeskustelu 1998).

### **5.1.6 Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM)**

KTM:n Ympäristömerkityn sähkön markkinointisäännöt -työryhmässä selvitettiin sähkön ympäristömerkintään liittyviä kysymyksiä. Työryhmä katsoi, että tässä vaiheessa viranomaisen ei tulisi määritellä sähkön ympäristömerkinnän kriteerejä. Erilaisia merkintöjä syntyy markkinoilla erilaisten intressitahojen edistämisenä (M. Valtonen, KTM, puhelinkeskustelu 1998). Asialla on kuitenkin yhtymäkohtia esimerkiksi EU:n uusiutuvien energiamuotojen käytön edistämiseen tähtäävään direktiiviehdotukseen, jossa määritellään uusiutuvat energianlähteet.

### **5.1.7 Suomen Standardisoimisliitto SFS ry**

Suomen Standardisoimisliitto ei ole tällä hetkellä suunnittelemassa sähkön ympäristömerkintää (SFS 1998a).

Pohjoismainen ympäristömerkintäjärjestelmä toimii Pohjoismaisen ministerineuvoston alaisena. Vapaaehtoisia ympäristömerkkejä tuotteille ovat joutsenmerkki ja ekotuotemerkki. Suomessa pohjoismaisen ympäristömerkin myöntämistä, valvontaa ja tiedotusta hoitaa SFS-Ympäristömerkintä. Ekotuotemerkki on Euroopan Unionin oma ympäristömerkintä. Kummassakaan merkintäjärjestelmässä ei ole määritelmiä ympäristöystävällisesti tuotetulle energialle. Sähkön pohjoismaisen ympäristömerkinnän erääksi ongelmaksi nähdään pohjoismaisten tuotantokoneistojen ja luonnonolosuhteiden erot, mistä johtuen päätöksenteko kriteereistä ei ole helppoa.

Sähkön ympäristömerkintää koskeva keskustelu on osa ympäristömerkinnöistä yleisemminkin käytävää keskustelua, johon liittyen EU on tehnyt merkittäviä linjapäätöksiä kesällä 1998. SFS:n tiedotteessa mainitaan, että EU:n ministerineuvoston ympäristöasioita käsittelevässä kokouksessa 16. ja 17. kesäkuuta 1998 käsiteltiin komission laatimaa EU:n ympäristömerkinnän asetusehdotusta. Keskusteluissa jäsenmaat neuvoivat komis-

siota tarkistamaan ehdotusta, sillä useimpien maiden kokousedustajat kannattivat EU:n ympäristömerkin ja kansallisten ympäristömerkkien rinnakkaiselo. Kokouksen jälkeisessä tiedotustilaisuudessa EU:n ympäristöasioista vastaava komissaari Ritt Bjerregaard vastasi komission ottavan toiveet huomioon: "On selvää, että komissio etsii jäsenmaiden ja Euroopan parlamentin toiveiden mukaisen ratkaisun kansallisten ja EU:n ympäristömerkkien rinnakkaiselolle." Ministerineuvoston kanta ja komission lupaus poistavat lopullisesti uhan kansallisten ympäristömerkkien päältä. Komissio tarkistanee ehdotustaan myös eräiltä muilta kohdin: ehdotetusta asteittaisesta ympäristömerkistä sekä erillisestä eurooppalaisesta ympäristömerkintäelimestä luovuttaneen. Tarkistettua asetusehdotusta yritetään saada lävitse Saksan puheenjohtajakaudella jo vuoden 1999 alkupuoliskolla (SFS 1998b).

### **5.1.8 Energia-alan Keskusliitto ry Finergy**

Finergyn laatima sähkön tuoteseloste on ollut syksyllä 1998 testattavana muutamalla sähköyhtiöllä kokemusten keräämistä varten (A. Nikula, Finergy ry, puhelinkeskustelu). Sähkön tuoteselosteessa kuvataan yhtiön sähkön tuotanto ja muu sähkönhankinta, polttoaineiden käyttö, päästöt ilmaan, veden käyttö ja päästöt veteen, jätteet ja sivutuotteet sekä radioaktiiviset jätteet.

Finergy julkisti suosituksen sähkön tuoteselosteeksi marraskuussa 1998 (Finergy 1998d). Suosituksen tarkoitus on yhdenmukaistaa sähkön tuoteselosteessa kerrottavia tietoja sähkön ympäristöominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista. Finergyn suositus sähkön tuoteselosteeksi ja järjestön ympäristölinjaukset ovat tämän julkaisun liitteenä A. Finergy suosii mieluummin perinteistä yhtiötason ympäristöraportointia sekä sähkön tuoteselostetta kuin erillistä ympäristömerkintää. Suositellussa tuoteselosteessa laskeaan päästöt kolmen vuoden keskiarvona, jotta satunnaiset vuosivaihtelut eivät korostu liikaa.

Finergy julkaisi 1998 ensimmäisen energia-alan oman ympäristöraportin "Energia ja ympäristö", jossa tarkastellaan aihepiireittäin Suomen energian tuotannon ympäristövaikutuksia. Raportti esittää perustiedot sähkön ja lämmöntuotannosta sekä uusiutuvien energialähteiden käytöstä (Finergy 1998b).

Alkuvuonna 1999 Energia-alan Keskusliitto ry Finergy julkaisi suosituksen myös sähkön ympäristötariffista. Suosituksellaan Finergy pyrkii edistämään sähkön hinnassa ympäristöperustein kerättyjen varojen suuntaamista uuteen ympäristöystävälliseen sähkön ja lämmön tuotantoon. Suositukseen liittyvä tavaramerkkihakemus "Ympäristötariffi. Tulevaisuuden penni" on tarkoitus rekisteröidä Patentti- ja rekisterihallituksessa. Finergy suosittaa, että jäsenyritykset toteuttavat ympäristötariffin sähköyhtiöiden omis-

sa nimissä tai markkinointiketjujensa puitteissa. Finergyn ympäristötariffissa energia-yhtiö tarjoaa asiakkailleen mahdollisuuden ilmoittautua ympäristötariffin maksajaksi. Finergyn suositus lähtee siitä, että sähkön hinnassa ympäristöperustein kerätyt varat tulisi suunnata uuteen ympäristöystävälliseen sähkön tuotantoon ja siihen liittyviin hankkeisiin. Antaessaan suostumuksensa ympäristötariffin perimiseen asiakas saa tiedon "tulevaisuuden pennien" käyttötarkoituksesta. Suosituksen mukaan varat tulisi käyttää CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämistä edistäviin hankkeisiin. Energiayhtiö sitoutuu ohjaamaan asiakkaalta tulevan rahoituksen 100-prosenttisesti mainittuihin käyttötarkoituksiin. Energiayhtiö sijoittaa hankkeisiin myös omaa ja mahdollisesti muualta saatua rahoitusta. Järjestelmä mahdollistaa asiakkaiden osallistumisen omalla panoksellaan uusin ympäristöystävällisten energiahankkeiden kehittämiseen ja rahoittamiseen (Finergy 1999).

Monet tahot ovat kehittämässä sähkön markkinoinnissa käytettävää omaa ympäristömerkintää. Tässä tilanteessa sähkön tuoteseloste voidaan nähdä ympäristömerkintöjä täydentävänä tai vaihtoehtoisena tapana viestittää asiakkaille tuotannon ympäristöä kuormittavista tekijöistä. Seloste kytkee yhtiöiden koko tuotantokapasiteetin ympäristökuormitukset asiakkaiden ostopäätösten taustatiedoiksi ja parantaa siten niiden rationaalisuutta. Sähkön tuoteselosteen käyttöönotolla saattaa siten olla tärkeä merkitys koko tuotantokapasiteetin ympäristöllisen suorituskyvyn parantamisessa. Finergyn suosittelussa järjestelmässä ympäristökuormitukseen liittyviä tietoja esitetään yhtiön oman toiminnan osalta – ei ainakaan toistaiseksi polttoaineketjun elinkaaren laajuisesti.

## **5.2 Kansainvälinen tilanne**

### **5.2.1 Ruotsi**

Ruotsin luonnonsuojeluliiton kriteerit sähkön ympäristömerkille olivat valmiina, kun sähkömarkkinat vapautuivat vuonna 1996. Ekosähköksi kelpuutettiin kaikki uusiutuva energia, mutta vesivoiman uudistuotanto jätettiin ulkopuolelle (SNF 1995).

Ruotsin luonnonsuojeluliitto (Naturskyddsföreningen, SNF) kehitti ensimmäiset pohjoismaiset uusiutuviin luonnonvaroihin perustuvat sähköntuotannon kriteerit. Tämä Bra Miljöval –merkintään liitetty järjestelmä sai nopeasti kannatusta, ja maaliskuussa 1997 oli 14 % Ruotsin sähkövoimantuotannosta merkinnän piirissä (SNF 1999a). Vesivoima muodosti pääosan ympäristömerkitystä sähköstä (98 %) ja biopolttoaineella tuotettu sähkö suunnilleen loppuosan (1,2 %). Ruotsin kuudenneksi suurin energia- ja metsäalan yhtiö Graninge on esimerkiksi saanut Bra Miljöval -merkin käyttöoikeuden koko sähköntuotannolleen. Merkintään kuuluvat vuosittaiset EMAS tai ISO 14 001/14 010 -jär-

jestelmän mukaiset tarkistukset. Myös SNF:n valtuuttama, riippumaton tilintarkastaja voi suorittaa vaadittavat tarkistukset (Pirilä ja Ranne 1998). Liitteessä E on esitetty Bra Miljöval -sähkön päivitetty tilannekatsaus.

Ruotsin SNF:n Bra Miljöval -merkinnän voi saada uusiutuviin luonnonvaroihin perustuva sähköntuotanto, mutta fossiiliset polttoaineet ja ydinsähkö eivät. Turpeen ei katsota olevan uusiutuva polttoaine, eikä sille näin ollen ole myönnetty oikeutta ekomerkkiin. Metsäbiomassalla tuotettu sähkö saa ympäristömerkinnän, kun tuhka palautetaan metsään ravinnetasapainon säilyttämiseksi. Yhdyskuntajätteiden tulee sisältää yli 90 % biomassaa, jos sillä tuotettu sähkö halutaan ympäristömerkinnän piiriin. Ennen vuotta 1996 rakennettu vesivoima saa merkinnän, mutta uudet vesivoimaa koskevat kriteerit ovat valmisteilla. Tuulivoimalla tuotettu sähkö saa aina merkinnän, mutta laitoksen sijainnille tullaan asettamaan kriteerit. Ruotsin luonnonsuojeluliitto on päättänyt jatkaa ensimmäisen sukupolven Bra Miljöval -sähkön merkintäkriteerien voimassaoloaikaa kahdella vuodella. 1996 käyttöönotetut kriteerit ovat siis voimassa 31.12.2001 asti. Uudet kriteerit on tarkoitus kuitenkin esitellä alkuvuodesta 1999 ja ne ovat voimassa yhtä aikaa vanhojen kanssa 31.12.2001 asti, jonka jälkeen vain uudet ovat enää voimassa (SNF 1999b).

Ruotsalainen energiayhtiö Vattenfall AB on perustanut vuonna 1996 vapaaehtoisen ja riippumattoman ympäristörahaston Elviran (Miljöstiftelsen Elvira 1999), jonka tarkoituksena on suojella ympäristöä tulevia sukupolvia varten. Rahasto tukee ympäristöä parantavia energiaan liittyviä hankkeita, ja sen tarkoituksena on lisätä energia-asioiden tuntemusta varsinkin nuorten ihmisten kohdalla. Vattenfall osallistuu rahoitukseen ”krona-för-krona”-periaatteella.

### **5.2.2 Norja**

Norjan luonnonsuojeluliitto on päättänyt noudattaa ruotsalaista vihreän sähkön merkintätapaa. Järjestelmä on sopeutettu norjalaisiin oloihin ja vain vanhaa vesivoimaa voidaan luokitella vihreäksi. Järjestelmää on kritisoitu, sillä suurin osa Norjassa käytetystä sähköstä tulee joka tapauksessa vesivoimasta. Norja joutuu kuitenkin ostamaan kuivina kausina tanskalaista kivihiihivoimaa tai ruotsalaista ydinsähköä huomattavia määriä, jolloin merkki on tarpeellinen (EREN 1999).

Toukokuusta 1998 alkaen on Norjassa ollut mahdollista markkinoida ja myydä ympäristömerkittyä sähköä. Oslon Energia on toteuttanut suuren mainoskampanjan lehdistössä vihreän sähkön tarjoamisesta (Arbeiderbladet 1998).



### 5.2.3 Alankomaat

Alankomaissa vihreä sähkö on tuulivoimaa, aurinkoenergiaa, biomassasta tuotettua sähköä ja lähitulevaisuudessa myös puupolttoaineilla tuotettua sähköä. Vihreä sähkö on tullut markkinoille PNEM-jakeluyhtiön toimesta vuonna 1995 ja sitä kaupataan asiakkaille nimeltä ”Groene stroom”. Toinen hollantilainen vihreän sähkön jakeluyhtiö on EDON, jonka vihreä sähkö on ”Nature stroom”. Asiakkaat maksavat vihreästä energiasta enemmän kuin normaalista sähköstä, PNEMin vihreän sähkön hinnat ovat noin 20 % korkeammat kuin tavanomaisen sähkön. Hintaero vihreän sähkön ja perinteisillä menetelmillä tuotetun sähkön välillä on kuitenkin kapenemassa johtuen polttoaineiden hinnan noususta ja energiantuotannon ympäristöverotuksesta. Vihreälle energialle on myös suunnitteilla arvonlisäveroalennuksia, jolloin hintaero pienenesi entisestään. Vihreän sähkön takaajana toimii Maailman Luonnon Säätiö (WWF). Energiataseet tarkastetaan vuoden aikajaksolla (Pirilä & Ranne 1998, EREN 1999).

### 5.2.4 Yhdysvallat

Vihreän sähkön markkinointi käynnistyi Yhdysvalloissa vuonna 1993 aurinkokennora-kennusprojektin yhteydessä. Kolmetoista energiayhtiötä tarjosi tammikuussa 1997 asiakkaille mahdollisuuden tukea uusiutuvia sähköntuotantomuotoja ”Green Pricing”-ohjelman avulla. Pääosa ohjelman sähköstä on aurinkoenergiaa, mutta tuulivoimaa ja vesi- ja biomassaaenergiaa on myös mukana. Vihreätä sähköä tarjosi vuonna 1997 yhteensä 37 energiayhtiötä ja lisäksi 15 erillistä sähkövälittäjää (Pirilä ja Ranne 1998).

Esimerkkinä mainittakoon, että Kaliforniassa Green-e Renewable Electricity Branding-ohjelman perustanut organisaatio on ”a non-profit organisation dedicated to building human capacity and institutions for energy, economics and environmental sustainability”. Ohjelmaan osallistuu kuusi sähkön myyjää, ja ohjelman tavoitteena on yhdenmukaistaa vihreän sähkön myyntiä ja markkinointia. Ohjelmalla halutaan edistää uusiutuvaa sähköntuotantoa ja tiedottaa uusiutuvan energian hyödyistä. Ohjelmassa määriteltyjen kriteerien perusteella myönnetty Green-e-logo annetaan sähkötuotteille, mutta ei voimalaitoksille (Pirilä ja Ranne 1998).

Green-e–logo on tarkoitettu pääasiassa uusiutuvista energialähteistä tuotetulle sähkölle. Uusiutuvaksi energiaksi luetaan tuulivoima, aurinkoenergia, biomassan poltto (myös jätteet) ja lisäksi pienmittakaavainen vesivoima, geoterminen tai vuorovedestä tuotettu energia. Vihreän sähkön merkki voidaan myös myöntää hyväksytyjen sähkömyyjien asiakkaille kertomaan niiden myönteisestä suhtautumisesta uusiutuviin energiamuotoihin ja ympäristöasioihin. Merkin myöntämiselle on määrätty kriteerit. Ohjelman toimivuudesta ja kehittämisestä vastaa 12-jäseninen Green Power Board, johon kuuluu kaksi

neuvoa antavaa komiteaa. Toinen antaa Boardille lähinnä suosituksia ohjelman tehokkuuden parantamiseksi ja toinen, jonka jäsenet ovat viranomaisia, varmistaa, että ohjelman vaatimustaso pysyy riittävän korkeana ja sen sisältö vastaa julkista politiikkaa (Pirilä ja Ranne 1998).

Yhdysvaltain energiaministeriö on perustanut energiatehokkuutta ja uusiutuvia energiamuotoja koskevan informaatioverkoston, jonka Internet-sivuilla vaihdetaan tietoa vihreän sähkön markkinoihin, sähköyhtiöiden toimintaan ja tuotekonsepteihin, kuluttajakysymyksiin sekä yhteiskunnan toiminta-ohjelmiin liittyvistä aiheista (EREN 1999).

### **5.2.5 Kanada**

Natural Resources Canada (NRCan) aloitti vihreän sähkön ohjelman vuonna 1996. Se määrittelee vihreän sähkön uusiutuvista energialähteistä tuotetuksi sähköksi, joka ei lisää kasvihuonekaasuja. Vihreä sähkö voi sisältää myös pientä vesivoimaa (alle 20 MW), bioenergiaa, kaatopaikkakaasua, tuulivoimaa ja aurinkosähköä. NRCan valitsi vuonna 1997 Calgaryn energialaitoksen pilot-hankkeeseen tuottamaan vihreää sähköä Albertassa sijaitseviin liittovaltion rakennuksiin kymmenen vuoden ajan.

Vision Quest Windelectric Inc. -yhtiö markkinoi EcoLogoa ja sen käyttömahdollisuutta sähkötuotteissa. Merkin voi saada ostamalla vihreätä sähköä tai panostamalla vihreän kapasiteetin rakentamiseen (Pirilä ja Ranne 1998).

### **5.2.6 Australia**

Australian Sustainable Energy Development Authority (SEDA) aloitti vihreän energian akkreditointiohjelman (Green Power Accreditation Program) huhtikuussa 1997. Ohjelman tarkoituksena on edistää uuden uusiutuvan energian projekteja kasvattamalla kuluttajien tietoisuutta vihreän energian hankkeista. Tarkoituksena oli myös tukea vihreän energian tuottajien markkinoillepääsyä ja vähentää tämän tuloksena kasvihuonekaasujen päästöjä. Ne energiatoimittajat, jotka täyttävät ohjelman kriteerit, saavat oikeuden käyttää SEDAn vihreän energian tunnusta. Vihreäksi energiaksi katsotaan uusiutuvilla energialähteillä tuotettu energia (tuuli, aurinko, vesi, biomassa). Asiakas voi valita joko osan kulutuksestaan tai koko sähkönkulutuksensa uusiutuvilla energialähteillä tuotettuna (SEDA 1997).

## 5.2.7 Tanska

Tanska on jo useamman vuoden ajan harjoittanut määrätietoista energiapolitiikkaa, joka monelta osin soveltuu vapautuneeseen kilpailutilanteeseen. Tanskan energiapolitiikka perustuu voimakkaaseen taloudelliseen ja hallinnolliseen ohjaukseen, energiaverotukseen, uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun energian ostopakkoon ja panostukseen tutkimus- ja kehitystyössä (Vehmas ym. 1997). Tanskassa energiamarkkinoiden vapautuminen on tapahtunut muita Pohjoismaita hitaammin ja tällä hetkellä lainsäädäntö antaa ainoastaan sähkönjakeluyhtiöille ja suuryrityksille mahdollisuuden valita sähköntuottajansa (ELSAM 1999). Täydellistä markkinoiden vapautumista Tanskassa vaikeuttaa myös yhdyskaapelin puuttuminen Seelannin ja Jyllannin välillä. Seelanti on kytketty pohjoismaiseen sähköverkkoon ja Jyllanti eurooppalaiseen sähköverkkoon ja näissä verkoissa on erilainen vaihe-ero. Yhdyskaapelin rakentaminen olisi teknisesti mahdollista, mutta käytännössä taloudellisesti kannattamatonta.

Tanskan suurista sähköntuottajayhtiöistä ELSAM tarjoaa asiakkailleen tuotteistettua sähköä erilaisin nimikkein, joista 'grøn el', vihreä sähkö on tuotettu ilman CO<sub>2</sub>-päästöjä biomassan, aurinkoenergia, tuulivoiman tai vesivoiman avulla. Grøn el on jonkin verran muita yhtiön tarjoamia sähkötuotteita kalliimpaa (ELSAM 1999).

## 5.3 Arvioita vihreän energian kriteerien kehitysnäkymistä?

### 5.3.1 Tutkimuksia kansalaismielipiteistä

Kansalaisten mielipiteitä sähkömarkkinoiden vapautumisesta ja uudesta kilpailuttamisen mahdollistavasta markkinatilanteesta on kysely kahdessakin tutkimuksessa Suomessa. SLL suoritti ryhmähaastatteluja sähkön ympäristömerkinnän suunnitteluvaiheessa, jossa kyseltiin myös ns. tavallisten kuluttajien mielipiteitä. Laajemman ja kattavamman kyselyn "Sähkön ympäristöluokittelu - Tutkimus kansalaismielipiteistä 1998" teetti Finergy kesällä 1998 Yhdyskuntatutkimus Oy:llä.

#### Energia-alan Keskusliitto ry Finergy

Finergyn tutkimuksen kohderyhmä olivat 2 500 satunnaisesti poimittua 18 - 70 -vuotiasta suomalaista henkilöä. Vastausprosentiksi muodostui 34,4 %. Tutkimuksessa kyseltiin ihmisten asenteita erilaisten ympäristöongelmien vakavuudesta, eri energiantuotantomuotojen ympäristöystävällisyydestä ja ympäristölle haitallisuudesta, eri tuotantomuodoilla tuotetun sähkön hinnasta, erilaisten tietolähteiden luotettavuudesta säh-

köntuotantoa ja sen ympäristövaikutuksia koskevissa asioissa, yleisiä mielipiteitä energia- ja yhteiskuntapolitiikasta (sähkön tarpeen muutos tulevaisuudessa, energian hinnan vaikutus hyvinvointiin, valmius tinkiä omasta elintasosta ympäristöhaittojen vähentämiseksi) sekä energiansäästöstä. Lisäksi kysyttiin mielipidettä sähkön ympäristöluokittelusta ja sen tarpeellisuudesta, ympäristömerkinnän myöntävästä tahosta ja kiinnostuksesta ekomerkityn sähkön ostamiseen (Kiljunen 1998). Tutkimuksen tulokset on julkaistu myös Internetissä (Finergy 1998c).

Finergyn teettämän tutkimuksen mukaan ylivoimaisesti ympäristöystävällisimmiksi sähköntuotantotavoiksi koettiin aurinkovoima ja tuulivoima. Seuraavaksi puhtaimmaksi energiantuotantomuodoksi koettiin vesivoima. Maakaasu, puu ja muu bioenergia sekä sähkön ja lämmön yhteistuotanto sijoittuvat vertailussa seuraavaksi. Ydinvoiman ja turpeen osalta mielipiteet ja kannat polarisoituivat voimakkaasti. Vähiten ympäristöystävällisinä pidettiin selkeästi kivihiihtä ja öljyä.

Enemmistö vastaajista piti ympäristöystävällistä sähköä kiinnostavana, joskin periaatteellisesta myönteisestä kannasta on vielä pitkä matka henkilökohtaiseen hankintapäätökseen. Yhtenäinen sähkön ympäristöystävällisyyden merkintäjärjestelmä sähkön luokittelumiseksi erilaisiin luokkiin ja tietyt ympäristövaatimukset täyttävän sähkön 'korvamerkintä' muusta sähköstä erottuvaksi sai sangen laajan kannatuksen. Kysymys siitä kuka tai mikä taho ympäristösertifikaatin sähkölle antaa ja päättää sen kriteereistä, jakaa kansalaisia enemmän. Selvästi mieluummin ratkaisu- ja määrittelyvalta haluttaisiin antaa jollekin riippumattomalle standardoimisorganisaatiolle. Tällaisen tahon valtuuttaisi tehtävään runsas kolmannes (37 %). Seuraavaksi suurimman kannatuksen sai eri intresstihajon yhdessätoimiminen (21 %). Ympäristöviranomaisten ratkaisuvallaa kannattaa noin joka kymmenes (11 %). Muille ehdokkaille jäi vain marginaalinen kannatus. Energia-alan viranomaisia kannatti 7 %, ympäristö- ja luonnonsuojelujärjestöjä 5 % ja pohjimmaisiksi putosivat sähköyhtiöt ja sähköntuottajat (2 %) (Kiljunen 1998, s. 54).

Toinen merkintäjärjestelmään liittyvä keskeinen kysymys on se, millainen merkintätapa olisi mielekäs. Useampiportainen asteikko (esim. 1 - 5) olisi paras ratkaisu 40 %:n mielestä. Vastaajista 30 % oli tuoteselosteen kannalla ja pelkistetyimpään kyllä/ei kaksiportaiseen luokitteluun tyytyi vain harva (5 %). Vastaavasti monisanaisimman vaihtoehdon, yksityiskohtaisen ympäristöraportin, kannatus jäi suhteellisen vähäiseksi (15 %). Hyvin selkeän kannatuksen (82 %) sai yhdessä muiden Pohjoismaiden kanssa toteutettava merkintävaihtoehto.

## Suomen luonnonsuojeluliitto ry

Myös Suomen luonnonsuojeluliitto kyseli kuluttajien mielipiteitä ekomerkitystä sähköstä osana ekoenergian merkintään tähtäävää projektiaan kuluttajahaastattelussa kevättalvella 1998. Kuluttajista koottiin ryhmiä neljällä paikkakunnalla. Ryhmiä muodostettiin sekä energiayhtiöiden asiakkaista ("Tavalliset kuluttajat") että ympäristöjärjestöjen vaikuttajista ("Avainkuluttajat"). Lisäksi kullakin tutkimuspaikkakunnalla koottiin energiayhtiöiden työntekijöiden ryhmät ("Energia-alan ammattilaiset"). Kuluttajien mielipiteitä ekoenergiaan liittyvistä mielikuvista ja käsityksistä sekä omista vaikutusmahdollisuuksista selvitettiin. Lisäksi selvitettiin valmiutta omaksua ekoenergian käsite. Kysely tehtiin ryhmähaastatteluissa.

Luonnonsuojeluliiton tutkimuksella etsittiin enemmän ajattelumalleja (focus group -menetelmä tähtää tähän) kuin edustavaa kuvaa siitä miten yleisesti ajatellaan. Raportissa todetaan, että otos tutkimuksessa oli valikoitunut, sillä tällaisen aiheen arveltiin kiinnostavan vain jo ennestään ympäristöorientoituneita kuluttajia. Toisaalta tutkimuksen avulla tavoitettiin myös yhtiöiden ja tavallisten asiakkaiden edustajia. Osalla tutkimukseen osallistuvista oli ennestään positiivinen asenne ympäristötiedon levittämiseen ja omaan vaikuttamiseen. Raportin mukaan näiden henkilöiden arveltiin toimivan tiedonlevittäjinä jatkossakin (SLL 1998d, s. 60).

Tutkimuksessa saatiin tukea ekoenergiamerkkiajatukselle. Ajatus siitä, että sähkön tuotantoon voi vaikuttaa, oli jo jossain määrin omaksuttu. Oli kuitenkin paljon niitä, joiden mielestä vaikuttamisen keinot liittyisivät mm. veropolitiikkaan ja normiohjaukseen. Kuluttajatutkimuksella saatiin tukea myös kriteerityöhön, ja ekoenergiamerkin tietosivallön kehittäminen tulosten perusteella koettiin mahdolliseksi.

Tutkimuksen mukaan markkinoiden vapautumiseen siten, että kuluttaja voi vapaasti kilpailuttaa sähköntoimittajansa, liittyy kuluttajan kannalta tietotarpeita. Myös tuottaja- ja jakelijapuolella arveltiin olevan tiedontarvetta liittyen kulutuskäyttäytymisen ennustamiseen. Näistä lähtökohdista Luonnonsuojeluliitto suunnittelee asiakkaille materiaalia, joka olisi myös yhtiöiden käytettävissä (SLL 1998d).

### **5.3.2 Vihreän energian kriteereiden käyttötarkoituksia**

Vihreän energian kriteerejä käytetään toistaiseksi lähinnä energiatuotteiden markkinoinnissa ja yrityskuvaan vaikuttavana tekijänä. Suomen luonnonsuojeluliiton ekoenergian kriteeristöllä mainitaan olevan kaksi päätavoitetta (SLL 1998d, s. 60):

1. tuotannon ohjaaminen ja
2. kulutuskäyttäytymisen ohjaaminen.

Merkintää voidaan pitää myös ympäristöön liittyvän laatuinformaation kantajana tuottajalta asiakkaille sekä yleisen ympäristötietoisuuden kasvattamista tukevana keinona, joten se on luontevinta lukea ympäristönsuojelun tiedollisen ohjauksen välineeksi. Päämääränä on myös auttaa ympäristötietoisia asiakkaita tekemään vähemmän haitallisia ostopäätöksiä. Järjestelmän uskotaan vaikuttavan kriteeristöissä hyväksytyin tuotteen arvoa lisäävästi, jolloin kysynnän kasvun arvellaan kannustavan uusiin uusiutuvia energiamuotoja suosiviin investointeihin ja sitä kautta myös toivottuihin tuotantorakenteen muutoksiin. Vastaavasti järjestelmän uskotaan kannustavan yhtiöitä olemassa olevien haittojen vähentämishankkeisiin. Toisaalta kriteereiden avulla pyrittäneen osoittamaan kokonaistuotannosta se 'elinvoimaisimmaksi' koettu osuus, jota voidaan pitää myös kestäväenä energiankulutuksen tavoitetasona erittäin pitkällä aikavälillä.

Saattaa olla, että myös mahdollisiin uusiutuviin energiamuotoihin kohdistuvien yhteiskunnallisten ohjaustoimien kannalta joudutaan tekemään määritelmiä, jotka muistuttavat vihreän energian kriteereiden laadintaa (vrt. uusiutuvien energianlähteiden valkoinen paperi, EC 1997). Konkreettinen esimerkki virallisten ja intressitahojen muodostamien määritelmien keskinäisestä suhteesta markkinavaikutusten ja edistämistoimien suhteen löytyy maatalouden luomutuotantoon liittyvästä järjestelmästä.

### **5.3.3 Kysynnän ja tarjonnan tasapaino**

Sähköenergian luokittelussa erääksi ongelmaksi julkisessa keskustelussa on muodostunut se, että eri tavoin tuotettua sähköenergiaa ei voida erottaa fyysisesti toisistaan, koska tuotannon ja kulutuksen välissä on sähkön siirto- ja jakelujohdoista muodostuva verkko. Tämä verkko toimii periaatteessa kuin vesiämpäri, johon eri letkuja pitkin tulee vettä (energiantuottajilta sähköä) ja jonka rei'istä vesi valuu pois (sähköenergia asiakkaiden käyttöön). Tästä johtuen asiakkaat saavat aina sähkön sekoitusta. Fysikaalinen sähkön tuotantojärjestelmä on kuitenkin taloudellisen järjestelmän kontrolloima, joka määrittää siten myös sähköntuotantojärjestelmän toiminnan reunaehdot. Vaikka sähköverkkoon tuotettua ja sen siirtämää sähköä ei voida ohjata asiakkaille fyysisesti heidän valitsemansa tuotantotavan perusteella, voivat vain ne yhtiöt, joiden tuottamalle sähkölle löytyy ostajia ja joiden toiminta on taloudellisesti kannattavaa, jatkaa sähköntuotantoaan verkkoon. Näin ollen asiakkaiden energiavalinnat vaikuttavat tuottajien toimintaan. Tähän 90-luvun loppupuolella yleistyneeseen energiamarkkina-ajatteluun ja siihen liittyvään energiatuoteajatteluun tottuminen tapahtuu vähitellen.

Toimivien energiemarkkinoiden oloissa energiatuotteiden hinnat kelluvat kysynnän ja tarjonnan tasapainottamana. Jonkin tuotteen kysynnän kasvaessa tuotantoa suuremmaksi nousee sen hinta sille tasolle, että riittävä määrä kulutusta ”putoaa pois”. Näin ollen on mahdollista, että tavanomaista kalliimpien tuotantoteknologioiden avulla tuotetuille luokitelluille energiatuotteille syntyy kannattavia markkinoita.

Sähköverkkoon tuotetun ja siihen kytketyn sähköenergian kulutuksen mukaan luettuna häviöt on oltava yhtäsuuret. Eri sähköenergiatuotteisiin kohdistuvan kysynnän ja eri-hintaisen tuotantokapasiteetin ml. säätövoima ajallisten vaihteluiden vaikutukset hintoihin muodostavat monimutkaisen ja vaikeasti hallittavan kokonaisuuden. Hetkellisillä poikkeamilla luokitellun sähköenergian tuotannossa ja kulutuksessa ei ole suurta merkitystä, mutta esimerkiksi kalenterivuoden aikana tulisi tarkastaa, että kysyntä ja tarjonta täsmäävät. Tämä toteutustapa sopiikin tuulivoimalle, joka on tyypillistä ”vihreätä sähköä” ja jonka tuotantokyky vaihtelee voimakkaasti (Pirilä ym. 1997). Vakiintumassa on käytäntö, jossa ostettujen ja myytyjen määrien taseet tarkastetaan vuositasolla. Tämä on kuitenkin seikka, jota tulee tarkastella uudelleen, mikäli ongelmia ilmenee.

#### **5.4 Ympäristömerkinnän mahdollisuuksista ja kehittämisestä**

Toistaiseksi suurin osa ekoenergiajärjestelmään lisensioidusta tuotannosta, jota joulukuussa 1998 oli Suomessa yhteensä yli 1,3 TWh, on vanhaa vesivoimaa. Kriteerien ollessa samat Suomessa, Norjassa ja Ruotsissa jäävät luonnonolosuhteiden ja tuotantojärjestelmien erot esimerkiksi vesivoiman määrässä ottamatta huomioon, mikä saatetaan kokea energiayhtiöiden näkökulmasta kilpailua vääristävänä seikkana. USA:ssa suurten vesivoimalaitosten tuotantoa ei lueta vihreäksi energiaksi. Suomen, Ruotsin ja Norjan luonnonsuojeluliitot ovat ilmoittaneet tarkentavansa ekoenergian kriteeristöään vuoden 2000 alusta alkaen, jolloin tiukennuksia odotetaan tulevan vesivoiman ja biopolttoaineiden kriteeristöihin. Ruotsin luonnonsuojeluliitto on päättänyt kuitenkin jatkaa ensimmäisen sukupolven Bra Miljöval -sähkön merkintäkriteerien voimassaoloaikaa kahdella vuodella 31.12.2001 asti. Uudet kriteerit on tarkoitus kuitenkin esitellä alkuvuodesta 1999 ja ne ovat voimassa yhtä aikaa vanhojen kanssa 31.12.2001 asti, jonka jälkeen vain uudet ovat enää voimassa (SNF 1999b). Vesivoiman kohdalla tarkennuksia on odotettavissa ympäristöhaittojen estämiselle ja korjaamiselle. Biopolttoaineiden kohdalla polttoaineen hankinnan elinkaarenaikaisille vaikutuksille esitettäneen kriteerejä.

Ympäristömerkinnän päämääriä Suomen energiantuotannon ja kulutuksen tasoon ja rakenteeseen suhteutettaessa vaikuttaa siltä, ettei uusiutuvilla energianlähteillä kyetä tyydyttämään Suomen kokonaisenergiatarvetta tulevaisuudessakaan, ellei energiantarve vähene merkittävästi nykytasolta. Siksi olisi kyettävä huolehtimaan siitä, että sekä uusiutumattomien että uusiutuvien energiamuotojen lisääntyvän käytön ympäristövai-

kutuksia voitaisiin vähentää. Mikäli energiantuotannosta syntyvien ympäristöhaittojen arvo koetaan suureksi, olisi kehitettävä järjestelmiä, jotka kannustavat energiayhtiöitä etsimään käyttökelpoisia ratkaisuja kaikkien energiamuotojen ympäristösuorituskyvyn parantamiseksi. Tätä kehitystä voidaan edesauttaa hallinnollisten ohjauskeinojen lisäksi markkinavetoisin keinoin, esimerkiksi ympäristömerkinnöillä, ympäristötuoteselosteilla ja ympäristösuorituskyvyn indikaattoreilla sekä muilla keinoilla, jotka tyydyttävät asiakkaiden tiedontarpeita ja kannustavat energiayhtiöitä parantamaan ekotehokkuuttaan jatkuvin ponnisteluin.

Tärkeä esiin nouseva mahdollisuus on täydentää energian ympäristömerkintään liittyviä toimia yksityiskohtaisella elinkaariarviointiin perustuvalla liiketoimintaketjun ympäristövaikutusten analyysillä. Tämän ajattelutavan etuja ovat sen systemaattisuus, läpinäkyvyys ja laaja-alaisuus, jotka tukevat laajan kaikille osapuolille kohdistuvan ympäristövastuun toteutumista käytännössä. Elinkaariajattelun sisäistäminen kannustaisi parannusten tekemiseen kaikissa polttoaineketjujen tuotantoprosessien vaiheissa ja myös ympäristöluokittelulla määritettyjen ryhmien sisällä. Elinkaarinäkökulman rakentaminen tuotteiden ympäristöselosteisiin parantaisi loppuasiakkaiden mahdollisuuksia vaihtaa jalostusketjun alkupään osiin.

Lähellä kuluttajia toimivien tuottajien herkkyys asiakasmielipiteille näyttää olevan jalostusketjun aikaisempia vaiheita suurempaa. Asiakkaiden valintataipumukset eivät voi kanavoitua tehokkaasti jalostusketjujen sisään, jos tuotantojärjestelmän osia jää näkyväksi asiakasperspektiivistä. Elinkaaripohjaisen tiedon avulla jalostusketju muuttuu läpinäkyvämmäksi ja ympäristövastuu voisi kanavoitua läpäisevästi liiketoimintaketjuihin. Ympäristövastuun kohdentuminen kaikille valintoja tekeville toimijoille saattaisi tehostaa tuotannon ekotehokkuuden paranemista markkinavetoisesti.

Eri energiamuotoja koskevan elinkaari pohjaisen tietoperustan luominen on kuitenkin vaativa tehtävä. Tällaisen tietoperustan luomisessa aiempia energiapolttoaineiden elinkaaritutkimuksia voidaan käyttää hyväksi ja yleistää vain rajallisesti, koska ne on toteutettu eri tavoin, eri tietopohjalta ja erilaisia käyttötarkoituksia varten. Aiempien tutkimusten tarkastelu ja vertailu on kuitenkin hyödyllistä, koska se antaa saatuihin tutkimustuloksiin perustuvan kuvan tärkeimpien kuormittavien tekijöiden suuruusluokista ja niiden eroista eri polttoaineketjuissa sekä tuo esiin tutkimusten toteuttamisen yhteydessä tehdyt oletukset ja valinnat ja antaa mahdollisuuden arvioida niiden vaikutusta tuloksiin ja niiden vertailukelpoisuuteen. Lisäksi ne luovat tietoperustaa ja taustaa yhtiöiden omasta tuotannostaan julkaisemille yksityiskohtaisille tiedoille.

Kumuloituva tietämys ja tietotekninen kehitys mahdollistavat tulevaisuudessa sen, että eri energiamuotoja ja -yhtiöitä koskevan mahdollisimman yhdenmukaisen ja vertailukelpoisen elinkaari pohjaisen tietoperustan luominen ja tuominen ymmärrettävässä muo-



dossa asiakkaiden valintojen tueksi olisi paloittain toteutettavissa. Tällainen, osittain aiempia tehtyjä tutkimuksia hyödyntävä ja niiden puutteita täydentävä hanke tulisi kuitenkin toteuttaa erikseen. Tämän työn seuraavissa osissa pyritään luomaan perustietämystä tällaiselle laajalle käytännön sovellukselle.

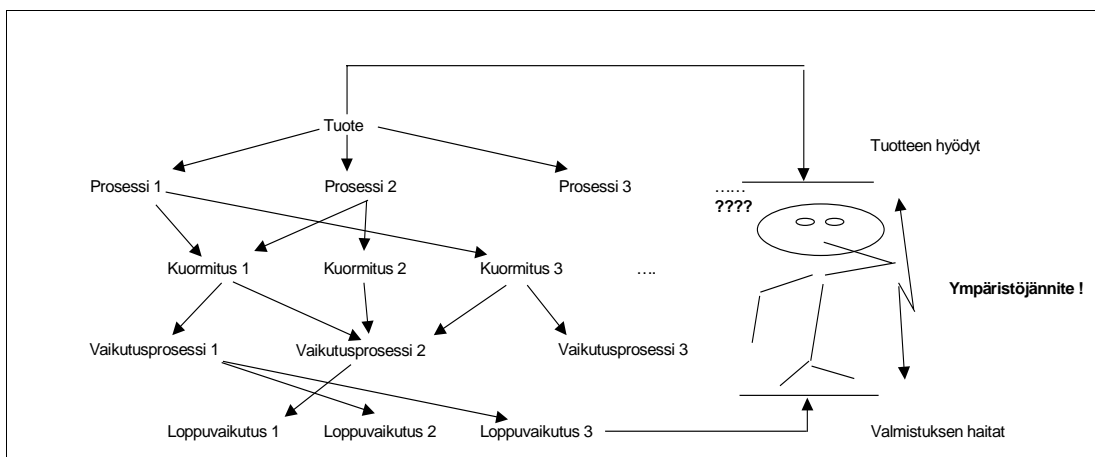
# 6. Energiamuotojen ympäristökuormitusten vertailua tehtyjen elinkaariarviointien pohjalta

## 6.1 Lähtökohta

Eri tuotantomuotojen ympäristökuormituksia on vertailtu toisiinsa useissa tutkimuksissa ja julkaistua aineistoa on runsaasti. Tutkimusten tavoitteet, yleisö ja käyttötarpeet määrittelevät myös tutkimuksen sisältöä, tarkkuutta ja laajuutta. Nämä seikat rajaavat tulosten hyödyntämismahdollisuuksia alkuperäisestä poikkeavissa konteksteissa.

Vertailujen perustaksi voidaan valita jokin tuotantoon liittyvä ominaisuus, esimerkiksi hiilidioksidipäästö tai ihmiseen kohdistuva kuolemanriski. Energiantuotantomuotojen vertaileminen suhteessa erilaisiin kriteereihin johtaa yleensä erilaisiin paremmuusjärjestyksiin, ja erilaisten kriteerien keskinäisen tärkeyden painottaminen on niiden yhteismitattomuuden vuoksi subjektiivista. Tuloksiin vaikuttaa lisäksi se, mitä tarkasteluihin otetaan mukaan. Yksi energiantuotantomuoto on hyvä tietyn ominaisuuden tai kriteerin suhteen ja toinen jonkin toisen ominaisuuden suhteen. Erilaisten ympäristöhaittojen merkitys riippuu siitä, keneltä asiaa kysytään tai mistä näkökulmasta ongelmaa arvioidaan.

Kuva 6 havainnollistaa sitä, millaisessa tilanteessa kuluttaja joutuu tekemään energiapäätöksiä. Kuvaus sisältää haasteita tulevaisuuden energiatutkimukselle, ympäristömarkkinoinnille ja ohjauskeinoista päättävälle taholle.



Kuva 6. Vertailutilanne kuluttajan näkökulmasta teknologisten järjestelmien tuottamiin monimutkaisiin ja -ulotteisiin vaikutuksiin, jotka koetaan yksilön näkökulmasta sekä hyötyinä että haittoina.

Fysikaalisten ympäristöä kuormittavien tekijöiden arvottaminen on tunnetusti vaikea tehtävä. Luonnontieteeseen perustuvan tutkimuksen tehtävänä tulisi olla ympäristöinformaation jalostaminen ymmärrettävien loppuvaikutusten tasolle, jolloin vaikutukset tulisivat otetuksi huomioon asiakkaiden päätöksissä. Kulutuskäyttäytymisen tutkimuksessa psykologeilla, taloustieteilijöillä ja sosiologeilla on tärkeä tehtävänsä.

Tässä työssä käytetään vertailutasoina ympäristöä kuormittavia tekijöitä. Vertailuja suoritetaan eri polttoaineille (maakaasu, puu, hiili) sekä tutkimuskokonaisuuksien sisäisesti että myös näiden välillä. Polttoainevaihtoehtoja vertaillaan toisaalta pelkän energiantuotantovaiheen eli polttoprosessin osalta ja toisaalta koko elinkaaren aikaisen tuotantoketjun osalta. Erityistä huomiota kiinnitetään metodologisten tekijöiden vertailuun, jotta saadaan käsitys, missä määrin tehdyt tutkimukset sisältävät samoja ja missä määrin erilaisia metodologisia valintoja. Näin voidaan parantaa ymmärrystä siitä, miten periaatteita olisi yhdenmukaistettava ja kuvattava tuotetason selvityksissä, jotta vertailut olisivat riittävän luotettavia käytettäväksi ympäristökilpailukyvyn argumentteina ja asiakkaiden valintojen tukena. Ympäristöön kohdistuvien kuormien vertailun jälkeen pohditaan vaikutustason indikaattoreiden muodostamisen haasteita ja mahdollisuuksia.

## 6.2 Energiamuotojen tutkimuskohtaisia vertailuja

Eri energiantuotantovaihtoehtojen ympäristökuormitukseen liittyviä julkisia ja yritysten omaan käyttöön tehtyjä tutkimuksia on tehty varsin runsaasti eri maissa. Näitä tutkimuksia on listattu liitteeseen D. Työt on ryhmitelty luokkiin öljy, kivihiili, maakaasu, ydinenergia, turve, vesivoima, tuulivoima, biopolttoaineet ja aurinkoenergia. Lisäksi on listattu energiatutkimuksia, jotka koskevat ulkoisten ympäristökustannusten arvioimista, energiamuotojen ympäristövaikutusten vertailua ja elinkaariarviointimetodologiaa. Luetteloon on otettu mukaan tunnetuimpia ja koko elinkaariketjun huomioonottavia tutkimuksia. Perusteellisempaan vertailuun on valittu osa näistä tutkimuksista. Vertailutuloksia on esitetty myöhemmin tässä luvussa sekä liitteessä F.

Vesivoimaan sovellettuja LCA-tutkimuksia on tehty suhteellisen vähän. Niiden mukaan vesivoimaan liittyvien ympäristövaikutusten analysointi elinkaariarvioinnilla on erittäin vaikeaa ja edellyttäisi myös menetelmällistä kehittelyä. Vesivoiman ympäristövaikutusten inventointi on kuitenkin tärkeää ja mahdollista toteuttaa, vaikka kvantitatiivisten estimaattien muodostaminen suhteessa tuotettuun energiaan ei ole helppoa (Brännström-Norberg ym. 1996). Analyysit ovat hyvin paikkasidonnaisia. Vesivoimalaitoksen rakentamisesta ja käytöstä aiheutuvat päästöt jäävät tarkastellun Vattenfallin tutkimuksen tapaustarkasteluiden mukaan selvästi muiden tuotantomuotojen päästöjä pienemmiksi. Sama pätee myös tuulivoiman päästöinventaarituloksiin (esim. Turkulainen 1998).

Kaiken kaikkiaan SLL:n ekoenergiakriteeristössä hyväksytyjen uusiutuvien energiantuotantomuotojen, kuten vanhan vesivoiman, puu-, tuuli- ja aurinkovoiman hiilidioksi- di- ja rikkipäästöt ovat vähäisiä suhteutettuna tuotettua energiayksikköä kohden. Aurinkovoiman kohdalla kuitenkin elinkaarenaikainen ympäristökuormitus kohdistuu energiantuotantovaiheen sijaan ketjun alkupäähän mm. puolijohdemateriaalin valmistukseen, jossa toistaiseksi joudutaan käyttämään suhteellisen suuria määriä energiaa ja materiaaleja, joista osa on harvinaisia tai toksisia (Nieuwlaar & Alsema 1997). Mikäli valmistuksessa tarvittava energia on tuotettu fossiilisilla polttoaineilla, saattaa ympäristökuormitus nousta oleellisesti (esim. Ott & Koch 1996, ref. Hongisto ym. 1998). Puuvoiman typenoksidi-, hiukkas- ja typpioksiduulipäästöt saattavat olla hiilivoimaa suurempiakin (ks. esim. Pingoud ym. 1999) ja ainakin hiukkaspäästöt edellyttäisivät lisätutkimuksia.

Seuraavassa on tutkittu viittä eri tutkimuskokonaisuutta (Energia-Ekono, ETH, IVO, Vattenfall ja ExternE) sekä koti- että ulkomaisista lähteistä. Vertailun kohteeksi on valittu julkisia elinkaari- ja polttoaineketjututkimuksia energiantuotannosta, joista on tehty selkeät raportit. Elinkaaritutkimuksiin tulisi (ainakin periaatteessa) kuulua tuotteen koko valmistus-, käyttö- ja käytöstäpoistoketju. Tuotantovaihe on otettu vertailuun erikseen, sillä polttoprosesseissa sen osuus ilmapäästöistä on merkittävin. Tarkastelun kohteiksi on otettu neljä tärkeintä ilmapäästökomponenttia: typen ja rikin oksidit, hiilidioksidi sekä pöly- tai partikkelipäästöt.

### **6.2.1 Energia-Ekono Oy**

Energia-Ekono Oy teki tutkimuksen "Polttoaineketjujen paikalliset ympäristövaikutukset" osana Tekesin SIHTI 2 energia- ja ympäristöteknologian tutkimuohjelmaa. Työn tarkoituksena oli kartoittaa Suomessa käytettävien energiantuotantopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöketjujen paikalliset ympäristövaikutukset. Tarkasteltavat polttoaineet olivat kivihiihi, raskas polttoöljy, maakaasu ja turve (Energia-Ekono Oy 1997).

Raportissa on annettu yhteenvetotiedot ainoastaan tärkeimmistä ilmapäästöjen komponenteista. Tekstiosassa on annettu myös muiden päästöjen arvoja, mutta seuraavassa tarkastelussa on käytetty ainoastaan raportin yhteenveto-osassa esiintyviä lukuarvoja, vaikka muidenkin komponenttien laskeminen olisi ollut mahdollista tekstiosan perusteella.

Raportissa olevat päästötiedot on annettu polttoaineen lämpöarvoa kohti. Energiantuotantovaiheen kuvauksessa on kullekin polttoaineelle valittu sille ominainen energiantuotantotapa. Tämä vaikeuttaa lukujen vertailua ja näin ollen raportissa on annettu päästöarvot polttoaineen energiasisältöä kohti. Energia-Ekonon tutkimuksen lukuarvot energiantuotantovaiheesta on esitetty taulukossa 6 ja kokonaisketjusta taulukossa 8.

Jotta tutkimuksen lukuarvot olisivat verrattavissa muihin tutkimuksiin, on tämän lisäksi laskettu päästöt tuotettua energiayksikköä kohti. Nämä on esitetty taulukoissa 7 ja 9. Näitä lukuja ei voi suoraan verrata keskenään, koska energiantuotantovaiheen tietoja on kerätty sekä erillis- että yhteistuotantolaitoksista, ja öljyketjussa tuotteena on kaukolämpö.

*Taulukko 6. Energia-Ekonon tutkimuksen mukaiset energiantuotantovaiheen päästöt ilmoitettuna polttoaineen lämpösisältöä kohti (Energia-Ekono Oy 1997).*

	YKSIKKÖ	KIVIHIILI	MAAKAASU	ÖLJY	TURVE
CO <sub>2</sub>	g/MJ <sub>pa</sub>	93	55	77	
SO <sub>2</sub>	g/MJ <sub>pa</sub>	0,07		max 0,5	0,14
NO <sub>x</sub>	g/MJ <sub>pa</sub>	0,05	0,06	0,1 - 0,2	0,05
TSP	g/MJ <sub>pa</sub>	0,01		0,012	0,012
THC	g/MJ <sub>pa</sub>	0,005	0,005		

Arvot on annettu muodossa g/MJ<sub>pa</sub> ja ne on muunnettu kg/MWh<sub>sähköä</sub> arvoihin laitospöytäyksittöillä hyötösuhteilla. Päästöarvot tuotettua energiayksikköä kohti on annettu taulukossa 7. Maakaasun osalta tiedot on annettu sekä lauhdetuotannosta että yhteistuotannosta energiaperiaatteen mukaan allokoituna. Tämä havainnollistaa yhteistuotannon ympäristöystävällisyyttä. Myös turpeella tapahtuva yhteistuotanto on allokoitu energiaperiaatetta käyttäen. Turpeen tiedot ovat puutteellisemmat esimerkiksi hiilidioksidin osalta.

*Taulukko 7. Energia-Ekonon tutkimuksen mukaiset päästöarvot energiantuotantovaiheesta muunnettuina tuotettua sähkömegawattituntia kohti (Energia-Ekono Oy 1997).*

	KIVIHIILI	MAAKAASU, YHTEIS-TUOTANTO	MAAKAASU, LAUHDE-TUOTANTO	ÖLJY	TURVE
Yksikkö	kg/MWh <sub>sähköä</sub>	kg/MWh <sub>sähköä</sub>	kg/MWh <sub>sähköä</sub>	kg/MWh <sub>lämpöä</sub>	kg/MWh <sub>sähköä</sub>
CO <sub>2</sub>	797,1	212,9	380,8	326,1	
SO <sub>2</sub>	0,60			max 2,12	0,59
NO <sub>x</sub>	0,43	0,23	0,42	0,42 - 0,85	0,21
TSP	0,09			0,05	0,05
THC	0,04	0,02	0,03		

Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin Energia-Ekonon tekemän raportin sisältöä sekä energiantuotantolaitosten ja polttoaineketjujen laskennan perusteita.

Kivihiilen osalta käytetyt päästötiedot vastaavat IVOn Meri-Porin kivihiililauhdelaituksen päästötietoja. Näistä rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöt on laskettu lakisääteisillä maksimiarvoilla suurille laitoksille. Laitoksen hyötysuhde on 42 %.

Öljyn polton päästötiedot on saatu pääosin Energia-Ekonon kattilatiekannasta kaukolämpöä tuottavista laitoksista. Tiedot ovat vuodelta 1995. Rikkidioksidipäästö on suurin sallittu polttoaineelle, joka sisältää rikkiä 1 %. Typenoksidi päästöt on ilmoitettu tietokannassa esitetyllä vaihteluvälillä. Laskennassa on laitokselle käytetty hyötysuhdetta 85 %.

Maakaasulle esitetyt päästötiedot on laskettu runkoputken läheisyydessä sijaitsevalle kombivoimalaitokselle. Laitos vastaa vuonna 1997 käyttöön otettua Helsingin Energian Vuosaaren B voimalaitosta, jota voidaan tarpeen mukaan käyttää joko lauhde- tai yhteistuotantolaitoksena. Yhteistuotannossa laitoksen kokonaishyötysuhde on 93 % ja rakennusaste 1,15. Lauhdetuotannossa hyötysuhde on noin 52 % (Helsingin Energia 1998). Typenoksidipäästö on laskettu suurimman sallitun mukaan ja laskelmissa on oletettu, ettei laitoksen toiminnasta aiheudu hiukkas- tai rikkidioksidipäästöjä.

Turpeen päästötiedot on laskettu polttoaineteholtaan 350 MW:n väliottolauhdelaitolaitokselle. Laitoksen tuotantotehot yhteistuotannossa ovat 110 MW sähköä ja 180 MW kaukolämpöä. Laitosta on myös mahdollista käyttää lauhdeajossa, jolloin sähköntuotantoteho on 140 MW. Hyötysuhde on yhteistuotannossa 83 % ja lauhdeajossa 40 %. Polttotekniikkana on käytetty turpeelle tavallista leijukerrostekniikkaa. Päästöarvot on laskettu esimerkkilaitoksen vuosipäästöistä (Energia-Ekono Oy 1997).

*Taulukko 8. Energia-Ekonon tutkimuksen mukaiset koko elinkaari- ja polttoainepäästöt ilmoitettuna polttoaineen lämpösisältöä kohti (Energia-Ekono Oy 1997).*

	YKSIKKÖ	KIVIHIILI	MAAKAASU	ÖLJY	TURVE
CO <sub>2</sub>	g/MJ <sub>pa</sub>	96,2	59	77,3	
SO <sub>2</sub>	g/MJ <sub>pa</sub>	0,092	0,002	0,509	0,14
NO <sub>x</sub>	g/MJ <sub>pa</sub>	0,066	0,072	0,136 - 0,236	0,064
TSP	g/MJ <sub>pa</sub>	0,027		0,0134	0,032
THC	g/MJ <sub>pa</sub>	0,335 - 0,355	0,091 - 0,317		

Arvot on annettu taulukossa 8 muodossa g/MJ<sub>pa</sub> ja ne on muunnettu kg/MWh<sub>sähköä</sub> arvoihin taulukossa 9. Taulukoissa 8 ja 9 olevissa kivihiiliketjun arvoissa ei hiukkas- ja rikkidioksidipäästöihin ole laskettu mukaan karkeata pölyä. (Kokonaispöly taulukossa 8 olisi 0,229 g/MJ<sub>pa</sub> ja taulukossa 9 vastaavasti 1,96 kg/MWh<sub>sähköä</sub>).

Taulukko 9. Energia-Ekonon tutkimuksen mukaiset koko elinkaariketjun päästöarvot muunnettuina tuotettua sähkömegawattituntia kohti (Energia-Ekono Oy 1997).

	KIVIHIILI	MAAKAASU, YHTEIS- TUOTANTO	MAAKAASU, LAUHDE- TUOTANTO	ÖLJY	TURVE
Yksikkö	kg/MWh <sub>sähköä</sub>	kg/MWh <sub>sähköä</sub>	kg/MWh <sub>sähköä</sub>	kg/MWh <sub>jämpöä</sub>	kg/MWh <sub>sähköä</sub>
CO <sub>2</sub>	824,6	228,4	408,5	327,4	
SO <sub>2</sub>	0,79	0,008	0,014	2,16	0,59
NO <sub>x</sub>	0,57	0,28	0,50	0,58 - 1,15	0,27
TSP	0,23			0,06	0,14
THC	2,87 - 3,04	0,35 - 1,23	0,63 - 2,19		

Kivihiilen koko polttoaineketjuun vaikuttavia päästötietoja on taulukoitu seuraavista vaiheista: tuotanto ja rikastus, kuljetus, varastointi ja energiantuotanto. Hiilen alkupe-  
rämaiksi on oletettu Puola ja Venäjä. Tuotanto- ja rikastusvaiheen tiedot ovat peräisin Puolasta. NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ja hiukkaspäästöt aiheutuvat prosesseissa käytetyn energian tuotan-  
nosta ja CO<sub>2</sub>- ja CH<sub>4</sub>-päästöt itse louhinnassa tapahtuneista päästöistä.

Keskimääräisiksi kivihiilen kuljetusmatkoiksi Suomeen on arvioitu 1 362 km junalla ja 800 km laivalla. Kuljetus- ja varastointivaiheesta pääsee ympäristöön karkeaa pölyä, jonka vaikutukset ovat rajoittuneet pienelle etäisyydelle lähteestä (tausta-arvo saavute-  
taan 0,5 km:n päästä lähteestä). Varastointia koskevat päästötiedot on saatu Hanasaares-  
sa tehtyjen kokeiden perusteella.

Raskaan polttoöljyn päästötietoja on taulukoitu seuraavista vaiheista: etsintä, tuotanto, ulkomaan tankkerikuljetus, kotimaan tankkerikuljetus, jalostus ja energiantuotanto. Öl-  
jyn etsintä- ja tuotantotiedot sekä ulkomaan kuljetuksista johtuvat tiedot ovat peräisin norjalaisesta Pohjanmeren öljyn elinkaaritutkimuksesta (Kaiserås Bakkene 1994). Ja-  
lostusvaiheen päästöt ovat puolestaan peräisin Neste Oy:n selvityksistä. Polttoaineket-  
jun ympäristövaikutukset olisivat huomattavasti suuremmat, jos raportin lukuarvoissa olisi otettu huomioon Venäjältä tuotavan öljyn vaikutukset.

Maakaasun päästötietoja on taulukoitu seuraavista vaiheista: tuotanto, jalostus ja kulje-  
tus Venäjällä, kuljetus Suomessa ja energiantuotanto. Ketjun alkupään tiedot on saatu Venäjältä, pääasiassa Gazpromilta. Lukuarvoja ei ole jaettu tarkemmin eri vaiheiden (tuotanto, jalostus ja kuljetus) kesken. Annetut lukuarvot SO<sub>2</sub>:lle, NO<sub>x</sub>:lle ja me-  
taanipäästön alarajalle on laskettu Gazpromin ympäristöraportissa annettujen kokonais-  
päästömäärien avulla (Gazprom 1995). Metaanipäästön ylärajan määrittäystä ei ole ra-  
portoitu. CO<sub>2</sub>-päästö on laskettu tiedosta, jonka mukaan kaasun kuljetukseen käytetään 8 - 9,5 % sen sisältämästä energiasta (lukuarvo vaihtelee tietolähteen mukaan).

Turpeen päästötietoja on taulukoitu seuraavista vaiheista: tuotanto, kuljetus ja poltto. Tuotantovaiheesta on annettu päästötietoja SO<sub>2</sub>:lle ja NO<sub>x</sub>:lle, ja nämä ovat peräisin tuotantokoneista. Turpeen keskimääräisenä kuljetusmatkana on käytetty 130 km ja päästötietoja on annettu SO<sub>2</sub>:lle, NO<sub>x</sub>:lle ja hiukkasille. Hiukkaspäästöt sisältävät sekä pakokaasupäästöt että turpeen kuljetuksen aikana pölyämisestä aiheutuvat päästöt. Tuotantovaiheen hiukkaspäästöjä ei ole otettu huomioon. Turpeen osalta ei ole annettu päästötietoja hiilidioksidille (Energia-Ekono Oy 1997).

## 6.2.2 ETH

Eidgenössische Technische Hochschule (ETH, Swiss Federal Institute of Technology) on julkaissut laajan energiantuotannon elinkaaritietokannan *Ökoinventare für Energiesystemen* versioon (Frischknecht ym. 1994). Tietokanta on maksullinen, ja tässä tarkastelussa esitetyt polttoainekohtaiset päästöarvot perustuvat vuonna 1996 päivitettyyn tietokannan versioon (Frischknecht 1996).

Yleiset kommentit ETH:n tutkimuksesta perustuvat paljolti SEEP-tutkimuksen yhteydessä tehtyyn tietokannan laatuarviointiin (Lemettinen ym. 1995). Eri energiantuottotavoille on tietokannassa laskettu keskimääräiset arvot UCPTe-alueella (Keski-Euroopan sähköntuottajien unioni), mutta myös maakohtaista tietoa on mahdollista käyttää (Frischknecht ym. 1994). Vertailussa on käytetty mahdollisuuksien mukaan Saksaa koskevia tietoja, koska Saksan teknologiataso vastaa mukaan otetuista maista parhaiten Suomen tilannetta.

Taulukossa 10 on esitetty ETH-tietokannan mukaiset päästöarvot energiantuotantovaiheelle. Käytetyt polttoprosessitiedot on kerätty tietokannan yksikköprosessitiedoista.

*Taulukko 10. ETH-tietokannan mukaiset energiantuotantovaiheen päästöarvot (Frischknecht 1996).*

	YKSIKKÖ	KIVIHIILI	MAAKAASU	ÖLJY
CO <sub>2</sub>	kg/MWh <sub>el</sub>	960	622,8	658,8
SO <sub>2</sub>	kg/MWh <sub>el</sub>	1,2	0,004	7,31
NO <sub>x</sub>	kg/MWh <sub>el</sub>	0,7	0,8	1,21
TSP	kg/MWh <sub>el</sub>	0,12	0,009	0,25
THC	kg/MWh <sub>el</sub>	0,01	0,03	0,05

Kivihiilivoimalaitoksen päästötiedot on laskettu saksalaisten voimalaitosten keskiarvotiedoista. Keskimääräisen voimalaitoksen hyötysuhteena on käytetty arvoa 34,7 %. Maakaasuvoimalaitoksen päästötiedot on laskettu Hollannin voimalaitosten keskiarvo-



tiedoista. Keskimääräisen voimalaitoksen hyötysuhteena on käytetty arvoa 42,7 %. Öljyllä tuotetun sähkön päästötiedot on laskettu entisen Länsi-Saksan alueen öljylauhdelaitosten keskiarvotiedoista. Keskimääräisen voimalaitoksen hyötysuhteena on käytetty arvoa 37,8 %.

ETH-tietokannan mukaiset energiantuotannon koko elinkaaren aikaiset päästöt on esitetty taulukossa 11. Kokonaisketjua kuvaavat lukuarvot on laskettu tietokannan kokonaistuloksista. Päästöjen jakautumista polttoaineketjun varrella ei ole tässä tutkimuksessa tarkemmin selvitetty. Ketjujen tulokset sisältävät myös infrastruktuureista aiheutuneet päästöt sekä mahdollisten lisäpolttoaineiden ketjut. ETH:n ketjut ovat hyvin kattavia ja niihin on luettu mukaan kaikki merkittävät päästölähteet.

*Taulukko 11 . ETH-tietokannan mukaiset koko elinkaariketjun päästöarvot (Frischknecht 1996).*

	YKSIKKÖ	KIVIHIILI	MAAKAASU	ÖLJY
CO <sub>2</sub>	kg/MWh <sub>el</sub>	997,8	643	784,3
SO <sub>2</sub>	kg/MWh <sub>el</sub>	1,47	0,03	8,05
NO <sub>x</sub>	kg/MWh <sub>el</sub>	0,9	0,88	1,73
TSP	kg/MWh <sub>el</sub>	0,75	0,023	0,33
THC	kg/MWh <sub>el</sub>	4,44	0,51	3,04

Kivihiilen koko polttoaineketjun tulokset kuvaavat keskimääräisen saksalaisen lauhdevoimalaitoksen tietoja. Polttoaineena näissä voimalaitoksissa käytetään kivihiiltä, joka on peräisin saksalaisista kaivoksista. Maakaasun polttoaineketjun tulokset kuvaavat keskimääräisen hollantilaisen lauhdevoimalaitoksen tietoja, jotka käyttävät Pohjanmeressä sijaitsevilta hollantilaisilta kaasukentiltä peräisin olevaa polttoainetta. Öljyn polttoaineketjun tulokset kuvaavat keskimääräisen entisen Länsi-Saksan alueen lauhdevoimalaitoksen tietoja (Frischknecht 1994).

### 6.2.3 Imatran Voima Oy

Imatran Voima Oy:n vertailussa käytetyt tiedot perustuvat tutkimusraporttiin Elinkaarivointi ja sähköntuotanto (Heikkinen ja Järvinen 1994). Kunkin polttoaineen keskimääräiset päästökertoimet perustuvat vuoden 1992 tilanteeseen. Raportissa luvut on annettu polttoaineen lämpöarvoa kohti ja ne on muutettu tuotettua sähköyksikköä kohti käyttäen Tilastokeskuksen Energiatilastot 1996:ssa esitettyjä lauhdetuotannon keskiarvohyötysuhteita, jotka on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Erillistuotannon keskiarvohyötysuhteet eri polttoaineille (Energiatilastot 1996).

	$\eta$ , %
Kivihiili	38
Maakaasu	38,8
Öljy	35,1
Turve	36,7
Puu	33,3

Taulukkoon 13 on koottu Imatran Voima Oy:n tutkimuksen mukaiset päästöarvot kuu- delle eri polttoaineelle: kevyt ja raskas polttoöljy, kivihiili, maakaasu, turve ja puu. Täs- sä ovat mukana ainoastaan polton aikaiset päästöt. Rikin ominaispäästöt on laskettu polttoaineiden keskimääräisen rikkipitoisuuden mukaan. Typen oksidien päästöön vai- kuttaa polttoaineen lisäksi myös kattilan koko ja polttotekniikka. Hiilidioksidipäästöt perustuvat KTM:n selvitykseen kasvihuonekaasujen päästöistä (Boström ym. 1990).

Taulukko 13 . Energiantuotantovaiheen aikaiset päästöt (Heikkinen ja Järvinen 1994).

	CO <sub>2</sub> kg/MWh <sub>e</sub> (net)	SO <sub>2</sub> kg/MWh <sub>e</sub> (net)	NO <sub>x</sub> kg/MWh <sub>e</sub> (net)
POR	790	6,97	2,15
POK	759	0,31	3,69
Hiili	881	3,51	3,51
Maakaasu	510	0,00	1,95
Turve	1 079	1,67	2,55
Puu			0,81

Taulukossa 14 on esitetty polttoaineketjujen päästöt ottaen huomioon myös polttoainei- den hankinnan ketjut. Päästöt on laskettu välivaiheiden välittömän energiankulutuksen perusteella, eikä koneisiin ja rakenteisiin sitoutuneen energian määrää ole arvioitu. Polttoaineketjujen välivaiheiden energiankäytössä on yleensä käytetty kutakin tarkas- teltavaa polttoainetta, esim. hiiliketjussa tarvittava sähkö on oletettu tuotetuksi kivihiil- lillä. Alkuperäisessä työssä on arvioitu seuraavassa taulukossa esitettyjen polttoaineiden lisäksi myös ydinpolttoaineketjun alkupään energiankulutuksen rikki-, typpi- ja hiilidi- oksidipäästöjä suurimpien uraanintuottajamaiden energiantuotantokauden ja väke- vöintikapasiteetin pohjalta.

Taulukko 14. Koko elinkaaren aikaiset päästöt eri polttoaineille (Heikkinen ja Järvinen 1994).

	CO <sub>2</sub> <sup>1</sup> kg/MWh <sub>e</sub> (net)	SO <sub>2</sub> <sup>2</sup> kg/MWh <sub>e</sub> (net)	NO <sub>x</sub> <sup>3</sup> kg/MWh <sub>e</sub> (net)
POR	867	7,49	2,59
POK	836	0,82	4,13
Hiili	922	3,69	3,85
Maakaasu	541	0,00	2,10
Turve	1 097	1,68	2,83
Puu	25	0,01	1,19

<sup>1</sup> Taulukko 9, s. 35, Puun osalta ei sisällä puun polton hiilidioksidia

<sup>2</sup> Taulukko 7, s. 33

<sup>3</sup> Taulukko 9, s. 35

#### 6.2.4 Vattenfall Ab

Vattenfall Ab on tehnyt kattavat elinkaariarvioinnit kaikista energiantuotantomuodoistaan (vesivoima, ydinvoima, öljylauhde, kaasuturbiini, maakaasukombi, tuuli ja bioenergia) (Brännström-Norberg ym. 1996). Vattenfallilla on tekeillä myös kivihiilen ja turpeen elinkaariarvioinnit. Työ on tehty elinkaariarviointeja suorittavien tahojen tietolähteeksi, auttamaan tulevaisuuden energiantuotantomuotojen valintaa resurssien käytön ja ympäristövaikutusten minimoimiseksi, eri energiantuotantomuotojen vertailun taustaineistoksi sekä vahvistamaan ja strukturoimaan yhtiön ympäristönsuojelutyötä.

Elinkaariarvioinnit on suoritettu inventaaritasolle. Lisäksi vaikutusarvioinnista on suoritettu luokitus eri ympäristövaikutusluokkiin. Inventaaritiedon mallintamista vaikutusluokkiin (luonnehdintaa) tai painotusta ei ole suoritettu. Julkaisussa on esitetty ainoastaan inventaaritulokset. Vertailuja eri energiantuotantomuotojen välillä on tehty lähinnä päästötasolla.

Seuraavissa taulukossa on esitetty LCA-tutkimusten tuloksia muutamille tärkeimmille ilmapäästöille. Taulukko 15 esittää energian tuotantovaiheen päästötiedot ja taulukko 16 koko elinkaaren päästöt. Energian tuotantovaiheessa on tässä tutkimuksessa voimalaitosten käytön lisäksi mukana mahdollinen polttoaineen kuljetus sekä tarvittavien lisäainesten valmistus ja kuljetus. Koko elinkaaren tiedoissa on otettu huomioon polttoaineen hankinta ja jalostus, voimalaitoksen rakentaminen, sen käyttö, käytöstäpoisto ja jätteen loppusijoitus.

Taulukko 15 . Vattenfallin tutkimuksen päästöt energian tuotantovaiheelle (Brännström-Norberg ym. 1996).

Vattenfall AB	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset
	kg/MWh <sub>e</sub> (net)			
Vesivoima	0,068	0,00011	0,00026	0,000030
Ydinvoima	0,072	0,00021	0,00022	0,000026
Öljylauhde	682	0,46	0,46	0,10
Kaasuturbiini/lauhde <sup>1</sup>	986	0,67	3,08	0,047
Kaasukombi/lauhde	389	0,0041	0,075	0,00065
Tuuli	0,061	0,00015	0,00014	0,000033
Bio (GCC-CHP) <sup>2</sup>	424	0,17	0,21	0,021
Bio (CFB-CHP) <sup>3</sup>	330	0,03	0,18	0,016

<sup>1</sup> Polttoaine kevyt polttoöljy.

<sup>2</sup> Paineistettu biopolttoaineen kaasutus, kombivoimala. Biopolttoaineen CO<sub>2</sub>-päästöissä on otettu huomioon polton päästö.

<sup>3</sup> Kiertoleijupetikattila. Biopolttoaineen CO<sub>2</sub>-päästöissä on otettu huomioon polton päästö.

Vesi-, ydin- ja tuulivoiman tapauksissa tarkastellut päästökäsitteet ovat erittäin pieniä suhteessa muihin polttoon perustuviin tekniikoihin. Näiden energiantuotantomuotojen suurimmat ympäristövaikutukset tulevatkin muista kuin ilmapäästöistä. Biopolttoaineille ilmoitetut hiilidioksidipäästöt sisältävät tässä myös puun polton hiilidioksidin, joka usein jätetään ottamatta huomioon LCA-laskelmissa, sillä sama hiilidioksidimäärä voidaan katsoa sitoutuvan puuhun sen kasvaessa. Mikäli tätä ns. biogeenistä hiilidioksidia ei oteta huomioon, saadaan energiantuotantovaiheen CO<sub>2</sub>-päästöiksi 0,352 kg/MWh<sub>e</sub> GCC-laitokselle ja 0,0951 kg/MWh<sub>e</sub> CFB-laitokselle. Nämä tulevat mm. polttoaineen kuljetuksesta sekä energiantuotannossa tarvittavien muiden syötteiden valmistus- ja kuljetusprosesseista.

Taulukko 16. Vattenfallin energiantuotannon päästöt koko elinkaaren ajalta (Brännström-Norberg ym. 1996).

Vattenfall AB	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset
	kg/MWh <sub>e</sub> (net)			
Vesivoima	0,71	0,0015	0,006	0,00071
Ydinvoima	2,8	0,014	0,017	0,0079
Öljylauhde	716	0,54	0,65	0,11
Kaasuturbiini/lauhde	1 050	0,88	3,5	0,064
Kaasukombi/lauhde	410	0,010	0,16	0,001
Tuuli	3,2	0,0085	0,0089	0,0015
Bio (GCC-CHP) <sup>1</sup>	437	0,18	0,41	0,038
Bio (CFB-CHP) <sup>2</sup>	340	0,043	0,33	0,029

<sup>1</sup> Paineistettu biopolttoaineen kaasutus, kombivoimala. Biopolttoaineen CO<sub>2</sub>-päästöissä on otettu huomioon polton päästö (424 kg/MWh<sub>e</sub>). Mikäli tämä jätetään ottamatta huomioon, on käyttövaiheen CO<sub>2</sub>-päästö 0,352 kg/MWh<sub>e</sub> ja koko elinkaaren päästö 15,4 kg/MWh<sub>e</sub>.

<sup>2</sup> Kiertoleijupetikattila. Biopolttoaineen CO<sub>2</sub>-päästöissä on otettu huomioon polton päästö (330 kg/MWh<sub>e</sub>). Mikäli tämä jätetään ottamatta huomioon, on käyttövaiheen CO<sub>2</sub>-päästö 0,0951 kg/MWh<sub>e</sub> ja koko elinkaaren päästöt 10,3 kg/MWh<sub>e</sub>.

## 6.2.5 Euroopan komission ExternE-projekti

Euroopan komissio (EC) ja Yhdysvaltain energiaministeriö (US-DOE) havaitsivat 90-luvun alkupuolella tarpeen integroida energiankäytön ympäristövaikutukset taloudellisiin laskelmiin ja sitä kautta päätöksentekoon. Tuolloin ulkoisten kustannusten käsite oli jo vakiintunut taloustieteiden piirissä, mutta energia-alalla oli toteutettu vain muutamia varsin yleisellä tasolla tehtyjä tutkimuksia. Tehdyt tutkimukset voitiin jakaa sen perusteella, olivatko ne keskittyneet erityisesti kustannuspuolen selvittämiseen vai ympäristövaikutusten arviointiin. Tämän seurauksena käynnistettiin laaja eurooppalais-amerikkalainen yhteistutkimushanke energiankäytön ympäristöön kohdistuvien haittakustannusten arvioimiseksi, joissa sekä vaikutus- että talousdimensiot olisivat mukana.

Hankkeen keskeisenä päämääränä oli kehittää yleistettävissä oleva, riittävän kattava menetelmä ympäristöön kohdistuvien ulkoiskustannusten arvioimiseksi luonnontieteellisen ja taloudellisen tiedon pohjalta. Nämä työt perustuivat tutkimusresurssien säästämiseksi yksinkertaistettuihin polttoaineketjujen ympäristötaseisiin, jotka sisälsivät tärkeimmiksi arvioitujen kuormittavien tekijöiden inventaarit. Hankkeiden päämääränä oli tuottaa hyödyllistä tietoa kaupallisten energiateknologioiden ympäristökuormituksesta tapaustarkasteluiden avulla (ks. EC 1999). Toteutettujen polttoaineketjujen tapaustar-

kasteluiden painopiste oli varsinaisiin LCA-tutkimuksiin verrattuna enemmänkin vaikutusten ja erityisesti niistä aiheutuvien haittakustannusten arvioinnissa.

*Taulukko 17. ExternE-hankkeen sydänprojektin (ExternE-Core, EC 1995a, b) ja kansallisen implementaatiohankkeen (kolme viimeistä ketjua: Pingoud ym. 1999, ks. myös EC 1999) ilmapäästöjen inventaaritason tuloksia sähkön tuotantovaiheesta. POK-laitoksen öljyn rikkipitoisuus on 0,2 % ja POR-laitoksen 1 %.*

ExternE-metodologia	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TSP	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
	kg/MWh sähköä					
POK-kaasuturbiinihuippuvoimalaitos	858,0	1,09	0,82	0,02	0,035	0,023
POR-perusvoimakombi	608,0	0,80	0,80	0,01	0,023	0,015
Hiili, Lauffen, D, PF+FGD+SCR	900,0	0,80	0,80	0,20		
Kaasu, UK, CCGT, lauhde	393,0		0,71			0,013
Hiili, Meri-Pori, PF+FGD+SCR	770,0	0,67	0,53	0,15	0,040	0,017
Turve, Rauhalampi, BFB/CHP	900,0	1,90	1,09	0,12		
Puu, Forssa, BFB/CHP	1,25	0,41	1,56	0,21	0,410	0,210

ExternEn kansallisen implementaatiohankkeen (Pingoud ym. 1999) CHP-laitosten (Rauhalampi, Forssa) päästöjen kohdentamisperiaatteena oli exergiaperiaate, minkä vuoksi sähkölle kohdistuu suhteellisen suuri osa sähkön- ja lämmön yhteistuotantolaitoksen päästöistä. Lisäksi päästöarviot perustuvat ohjearvoihin tai niitä lähellä oleviin vaihteluväliden ylärajan arvioihin tarkempien tietojen puuttuessa. Puuvoimalan hiilidioksidipäästö on osa hiilen biologista kiertoa, joten vain fossiilista alkuperää oleva päästöosuus on raportoitu. Puuvoima on vahvoilla hiilidioksidin ja rikin suhteen (taulukon Forssan CHP-laitoksen rikkipäästöarvio perustuu ohjearvoon). Puu sisältää rikkiä varsinkin vähän (rikkipitoisuus 0,05 % kuiva-ainepitoisuudesta ja lisäksi osa siitä sitoutuu tuhkaan), mutta rikkipäästöjä liittyy voimalaitoksessa käytettäviin tukipolttoaineisiin. Typenoksidien, hiukkasten, metaanin ja typpioksiduulin päästöt voivat olla muita suurempia. Toisaalta, jos Forssan puuvoimalalle arvioituja polttoaineelle kohdistettuja ominaispäästöjä verrataan Kuhmon CHP-puuvoimalan ominaispäästömittauksiin (Flyktman ym. 1995 ja Kuhmon Lämpö Oy, ref. Hongisto ym. 1998), voidaan havaita, että Kuhmon laitoksen rikkipäästöt olisivat 13 - 43 %, typpipäästöt 37 - 64 %, hiukkaspäästöt 10 - 35 % ja N<sub>2</sub>O-päästöt 15 % Forssan laitokselle arvioiduista lukemista. Meri-Porin hiilivoimalaitoksen TSP-päästöt ovat normien salliman tason alapuolella, joten käytännössä toteutuvat TSP-päästöt saattavat alittaa taulukon luvut selvästi (jopa ¼ osa taulukon lukemasta). Turvelaitoksen TSP-päästöt puolestaan olivat kaksinkertaiset vuonna 1997 taulukon lukuun verrattuna (Järvinen 1999).

Taulukko 18. ExternE-hankkeen sydänprojektin (EC 1995a - c) ja kansallisen implementaatiohankkeen (Pingoud et al. 1999\*) ilmapäästöjen inventaaritason tulokset koko tarkastellun polttoaineketjun osalta. POK-laitoksen öljyn rikkipitoisuus on 0,2 % ja POR-laitoksen 1 %. Lyhenteiden merkitykset selviävät lyhenneluettelosta.

ExternE-metodologia	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TSP	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
	kg/MWh sähköä					
POK- kaasuturbiinihuippuvoimalaitos	875,0	1,39	0,94	0,03	0,06	0,023
POR-perusvoimakombi	619,0	0,85	0,87	0,02	0,04	0,015
Hiili, UK,PF+FGD	880,0	1,10	2,20	0,16	2,90	0,060
Hiili, UK,PF+FGD+SCR	880,0	1,10	0,70	0,16	2,90	0,100
Hiili, UK, AFBC	860,0	1,10	1,00	0,16	2,80	0,500
Hiili, UK, AFBC + T	760,0	1,00	0,70	0,14	2,50	0,500
Hiili, UK, PFBC	800,0	1,00	0,50	0,03	2,60	0,500
Hiili, UK, PFBC + T	760,0	1,00	0,60	0,03	2,50	0,500
Hiili, UK, IGCC	770,0	0,20	0,70	0,03	2,50	0,003
Hiili, UK, CHP	410,0	0,50	0,50	0,08	1,30	0,200
Hiili, D, FDG,	932,6	0,83	0,93	0,35		
Hiili, Meri-Pori, PF+FGD+SCR*	795,0	0,83	0,63	0,17	2,84	0,017
Turve, Rauhalahti, BFB/CHP*	940,0	1,93	1,18	0,14	-0,80	0,040
Puu, Forssa CHP, BFB/CHP*	8,5	0,43	1,68	0,22	0,41	0,210
Kaasu, UK, CCGT, lauhde	401,0		0,71		>0,28	0,014
Tuuli, UK	9,1	0,09	0,04			

Taulukosta 17 ja 18 voidaan havaita, miten suuri vaikutus erilaisilla hiilivoimalaitos- ja erotusteknologioilla on syntyviin päästöihin. Taulukoita vertailemalla voidaan havaita mm. että puuvoiman hiilidioksidipäästöstä noin 15 % syntyy sähköntuotantovaiheessa. Fossiilisten polttoaineiden ketjuissa sähköntuotantovaihe dominoi ja ketjun alkupään osuus hiilidioksidipäästöstä on 2 - 4 %. Meri-Porin ja kevyttä polttoöljyä käyttävän huippukuormalaitoksen analyysissä polttoaineketjun alkupään osuus rikkidioksidin päästöstä on 20 %:n suuruusluokkaa ja muissa selvästi pienempi. Typen oksidien alkupään osuudet ovat alle 16 %. Hiukkasten osalta hajonta on suurta vaihdellen puuvoiman 4 %:n osuudesta saksalaisen hiilivoimalan 43 %:iin asti. Metaanipäästöissä alkupään suhteellinen osuus on varsin suuri muilla paitsi puuvoimalla, jossa metaanipäästö keskittyy voimantuotantovaiheeseen. Myös typpioksiduulipäästöt keskittyvät ExternE-tutkimuksen mukaan kaikkien polttoaineiden osalta polttoprosessiin. Taulukon 17 lukuun liittyvät varaukset, erityisesti puun SO<sub>2</sub> ja N<sub>2</sub>O-päästöön sekä turpeen ja hiilen TSP-päästöihin (mm. lukuarvojen osittainen perustuminen ohjearvoihin), tulee ottaa huomioon tuloksia muihin tarkoituksiin hyödynnettäessä.

Elinkaaren alkupään tuloksia arvioitaessa on lisäksi otettava huomioon ExternE-metodologian mukainen keskittyminen vain elinkaaren prosessien suoriin ympäristöä kuormittaviin tekijöihin. Polttoaineiden yhdistelmien lisäksi erilaiset voimalaitosteknologiat ja savukaasujen puhdistus- ja erotustekniikat vaikuttavat voimakkaasti laitosten ilmapäästöihin ja sitä kautta myös syntyviin ympäristövaikutuksiin, joten yleistyksiin tulee suhtautua varauksellisesti. Toisaalta osa haitallisista materiavirroista muuttuu erotustekniikoiden avulla ilmapäästöistä jätevirroiksi.

Ulkoiskustannustutkimusten markkamääräisiä tulosarvioita ei tässä yhteydessä käsitellä, mutta lisää tietoa aihepiiristä löytyy mm. viitteistä (Pingoud ym. 1999, Hongisto ym. 1998, Otterström ym. 1998, EC 1999).

### **6.3 Tutkimusten keskinäisiä tulosvertailuja**

Tutkimusten keskinäiseen tulosvertailuun valittiin maakaasun, kivihiilen ja puun elinkaaritutkimuksia. Näistä vain puu täyttää uusiutuvana polttoaineena SLL:n ”ekoenergian kriteerit”. Tutkimusten lukuarvoihin perustuvat vertailut antavat tuntumaa päästöjen määriin, niissä esiintyviin vaihteluihin ja eri tarkastelujen keskinäiseen suuruusjärjestykseen mitattuna eri kriteereillä. Tuloksia tulkittaessa ja johtopäätöksiä tehtäessä tulee kuitenkin pelkkien numerovertailuiden lisäksi tuntea eri tutkimusten taustaa, rajauksia sekä tutkimuksissa tehtyjä lähtötietoihin ja menetelmiin liittyviä valintoja. Käytännön elinkaariarviointitutkimuksissa joudutaan tekemään suuri määrä valintoja, jotka vaikuttavat suoraan lopputuloksiin. Siksi tuloksia tulisikin arvioida yhdessä niiden tuottamisessa käytettyjen menetelmien kanssa harhaanjohtavien tulkintojen välttämiseksi. Tutkimusten välisiä eroavuuksia on selvitetty yksityiskohtaisemmin luvussa 7.

Seuraavissa luvuissa esitetään eri tutkimusten ilmapäästökomponenttien tulosten vertailuja polttoaineittain ryhmiteltyinä. Kaaviot perustuvat edellä esitettyihin eri tutkimuskokonaisuuksien tuloksiin. Liitteessä F on esitetty lukuarvot polttoaineittain sekä pelkän energiantuotantovaiheen että koko elinkaaren päästöistä.

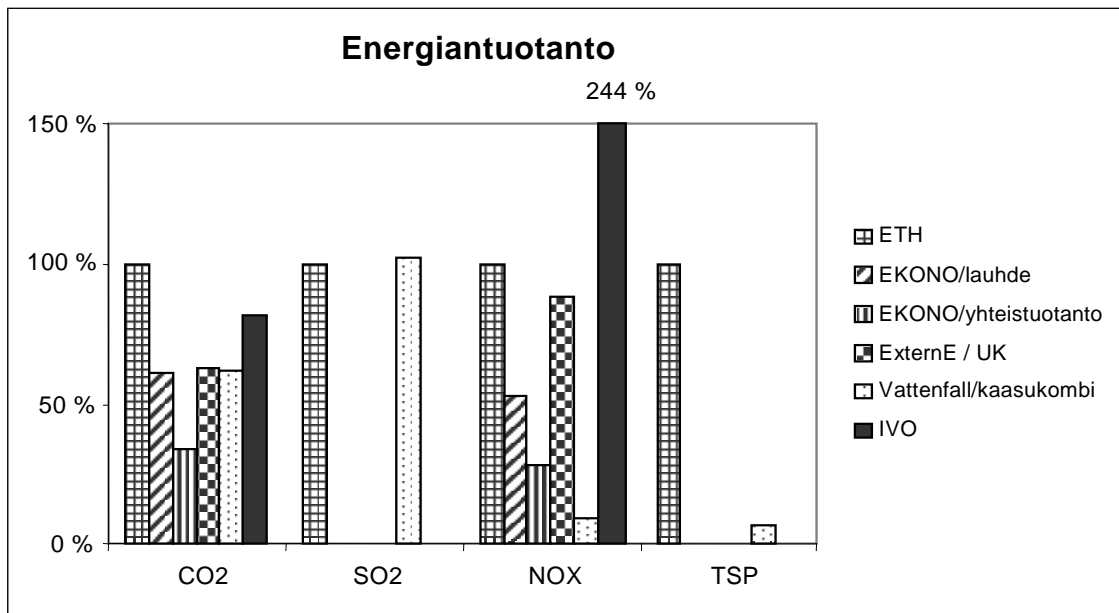
#### **6.3.1 Maakaasu**

Maakaasuvertailussa ovat mukana ETH:n, Energia-Ekono Oy:n, Euroopan komission ExternE-hankkeen, Vattenfall Ab:n ja IVO:n tutkimukset. Vertailupäästökomponenteiksi otettiin tavallisimmin esimerkiksi ympäristöraporteissa ilmoitettavat päästöt, kuten CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ja TSP. Nämä komponentit löytyivät useimmista tutkimuksista.

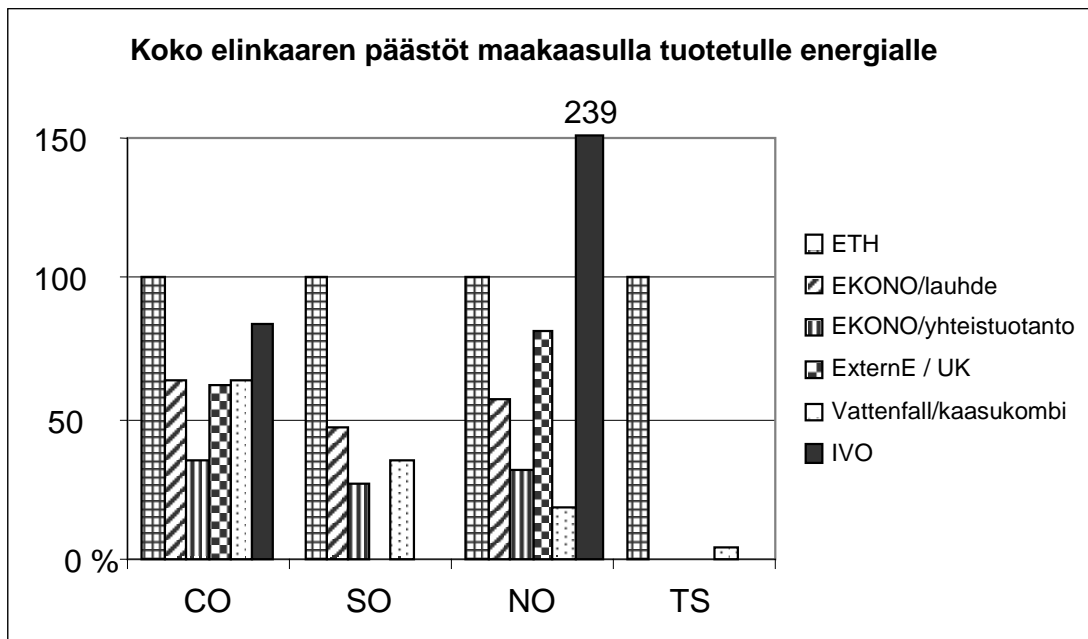


Maakaasututkimuksista voidaan todeta, että ETH ja Vattenfall ovat selvittäneet ja raportoineet päästöjä kattavimmin kuin muut tahot. Siksi seuraavien vertailuiden referenssipinnaksi valittiin ETH:n tutkimus (Frischknecht 1996). Tutkimusten väliset erot johtuvat suurimmaksi osaksi tietojen iästä ja tapauskohtaisten tarkastelujen eroista. Esimerkiksi IVO:n suurimmat NO<sub>x</sub> -päästöt johtuvat lähtötietojen keruun ajoittumisesta ennen päästöjen vähennystekniikan (Low-NO<sub>x</sub>-polttimet) täysimittaista käyttöönottoa.

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty vertailun tulokset suhteutettuna ETH:n elinkaaritietokannan tuloksiin. Hiilidioksidin ja NO<sub>x</sub>-päästöjen suhteen alhaisimmat päästötasot on saavutettu Ekonon tutkimuksessa yhteistuotannolle. SO<sub>2</sub>- ja partikkelipäästöjen osalta päästöjä ovat ilmoittaneet ainoastaan ETH ja Vattenfall. Muiden päästökomenttien osalta tiedot ovat puutteellisempia. SO<sub>2</sub>-päästöt on annettu ETH:n, Ekonon ja Vattenfallin tutkimuksissa ja hiukkaspäästö ainoastaan ETH:n ja Vattenfallin tutkimuksissa.



Kuva 7. Sähköenergian tuotantovaiheen päästöt eri tutkimustulosten mukaisesti suhteutettuna ETH:n lukuarvoihin (=100 %). ETH:n, ExternEn, Vattenfallin ja IVO:n lukemat ovat lauhdevoimalle. Ekonon yhteistuotantoa kuvaavat luvut on laskettu allkoimalla päästöt sähkölle energiaperiaatteen avulla.



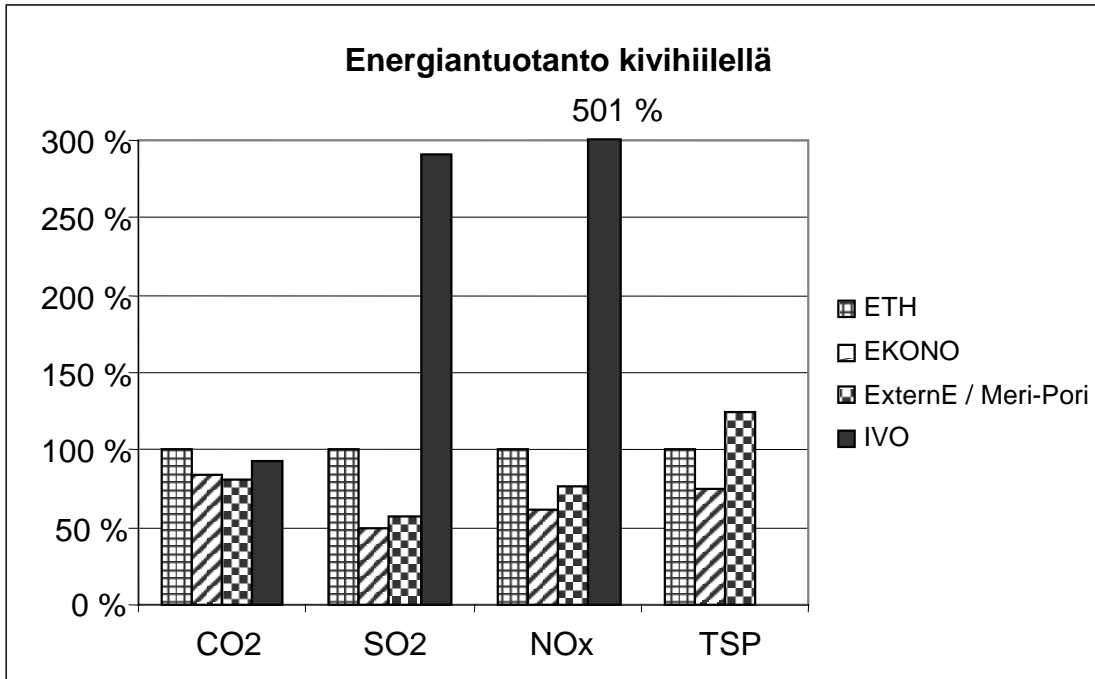
Kuva 8. Maakaasuvoiman elinkaaren päästöt eri tutkimustulosten mukaisesti suhteutettuna ETH:n tuloksiin. ETH:n, ExternEn, Vattenfallin ja IVO:n lukemat ovat lauhdevoimaan perustuvalla sähköntuotannolle.

ETH:n muita suuremmat SO<sub>2</sub>- ja TSP-päästöt johtuvat työn yksityiskohtaisuudesta ja kohdistuvat lähinnä voimalaitoksen rakentamisvaiheeseen.

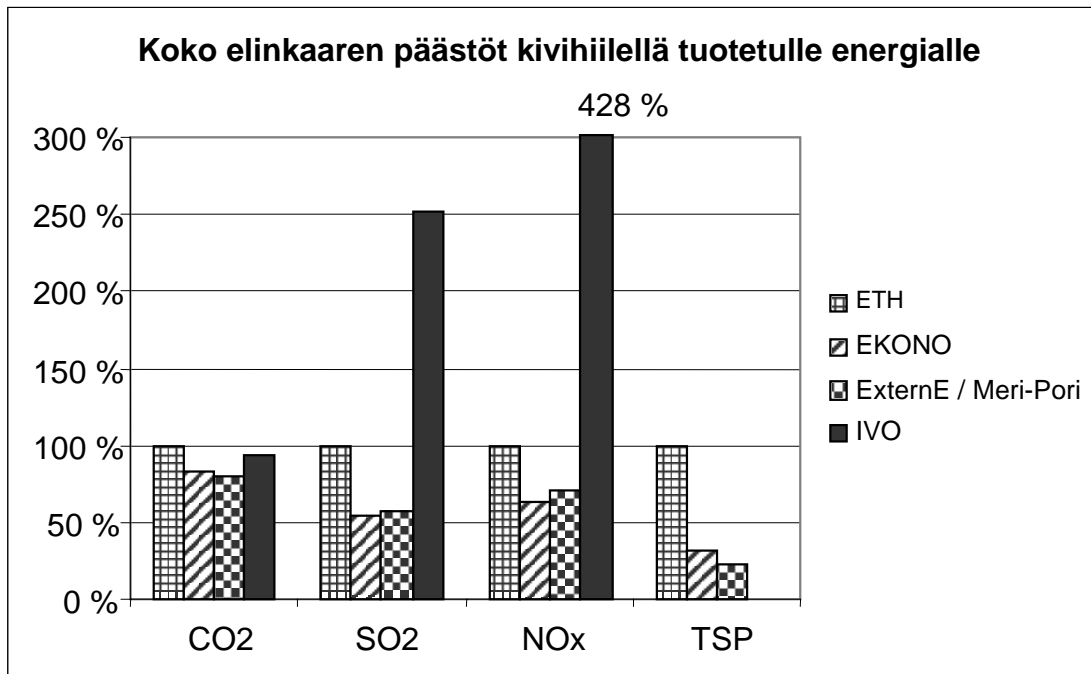
### 6.3.2 Kivihiili

Kivihiilen elinkaariarviointien tuloksia oli saatavissa ETH:n, Energia-Ekonon, ExternEn sekä IVO:n tutkimuksista. Kuvissa 9 ja 10 päästökomponentit on esitetty suhteutettuina ETH-tietokannan arvoihin. Sekä rikin että typen oksidien suhteen ovat IVO:n esittämät luvut selkeästi muita korkeampia, mikä selittyy tietojen iällä: nämä tiedot perustuvat aikaan ennen näiden SO<sub>2</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen puhdistustekniikoiden yleistymistä. IVO:n tutkimus ei sisältänyt lukuarvoja partikkelipäästöille.

Verrattaessa koko elinkaaren aikaisia päästöjä kasvaa ETH:n partikkelipäästöjen osuus suhteessa muihin. Muutoin tarkastelun laajentaminen koskemaan koko elinkaaren aikaisia vaikutuksia ei näytä merkittävästi vaikuttavan tutkimusten keskinäisiin järjestyksiin. Huomattavaa tässä vertailussa on, että Energia-Ekonon ja ExternEn luvut perustuvat samaan referenssilaitokseen, joka on Meri-Porissa sijaitseva kivihiililauhdevoimalaitos. Meri-Porin ja IVO:n vanhemman tutkimuksen lukuarvojen erot kuvaavat karkeasti SO<sub>2</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen suhteen tapahtunutta teknistä kehitystä.



Kuva 9. Kivihiilellä tuotetun sähköenergian tuotantovaiheen päästöt eri tutkimusten mukaisesti suhteutettuina ETH:n tutkimuksen päästöarvoihin (=100 %).

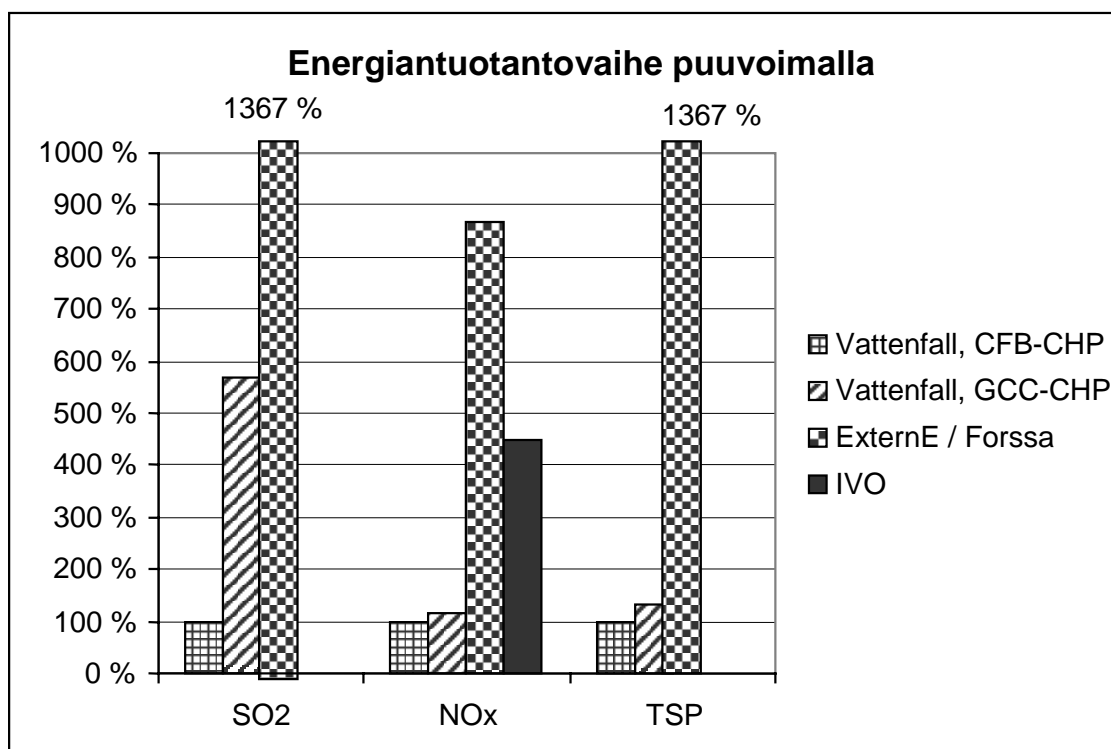


Kuva 10. Kivihiilellä tuotetun energian elinkaaren aikaiset päästöt eri tutkimuksissa suhteutettuina ETH:n tekemään tutkimukseen.

### 6.3.3 Puu

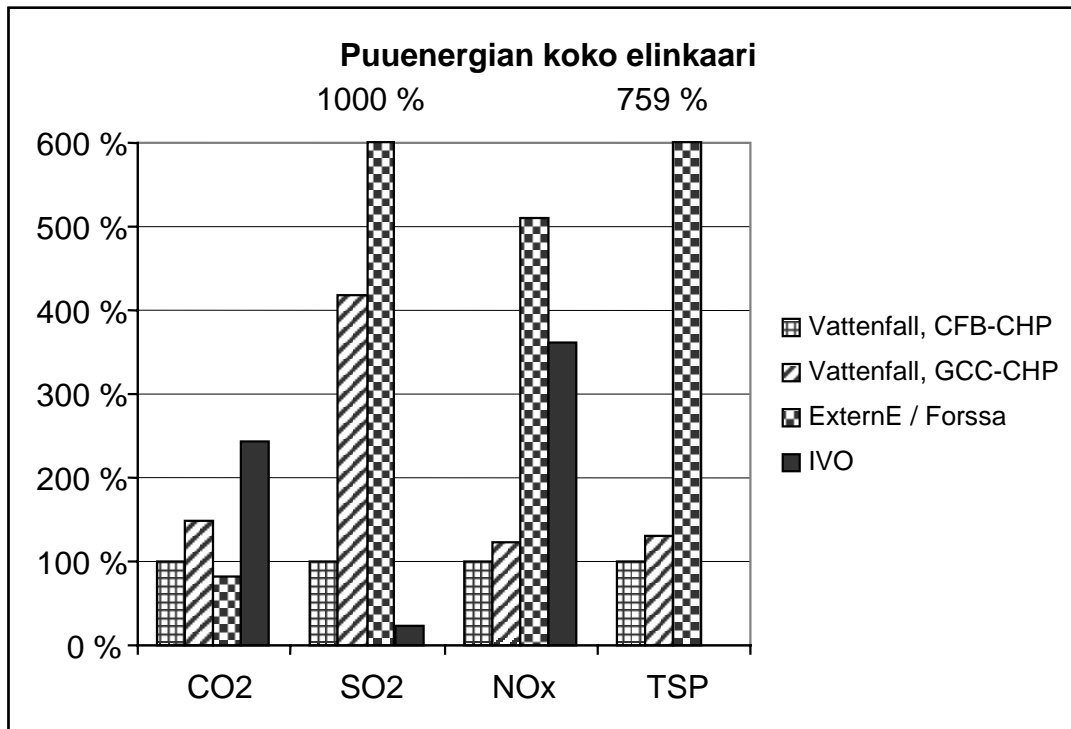
Puuenergian tuotannosta on saatavissa vain muutamia elinkaaritarkasteluja. Vattenfall on tehnyt arvioinnin kahdelle eri tekniikalle (kaasutus ja leijukerros poltto). Lisäksi käytössä on ExternEn kansallisen implementaatiohankkeen yhteydessä tehty arvio Forsan kattilalaitoksen polttoaineketjusta sekä IVOn tarkastelu, joka on kuitenkin varsin suppea päästökomenttien suhteen. Kuvissa 11 ja 12 laskentatulokset on esitetty suhteutettuna Vattenfallin kierto-leijupetikattilalaitokseen (CFB), sillä ETH-tietokannassa ei ole käsitelty puubiomassan avulla tapahtuvaa sähköenergian tuotantoa.

Puuvoiman tapauksessa hiilidioksidipäästöjen vertailu on jätetty pois energiantuotantovaiheen vertailuista, vaikka mahdolliset fossiiliset tukipolttoaineet saattavat aiheuttaa vähäisiä fossiilisia CO<sub>2</sub> päästöjä.



Kuva 11. Puulla tuotetun sähköenergian tuotantovaiheen päästöt eri tutkimusten mukaan suhteutettuna Vattenfallin elinkaaritutkimukseen (=100 %).

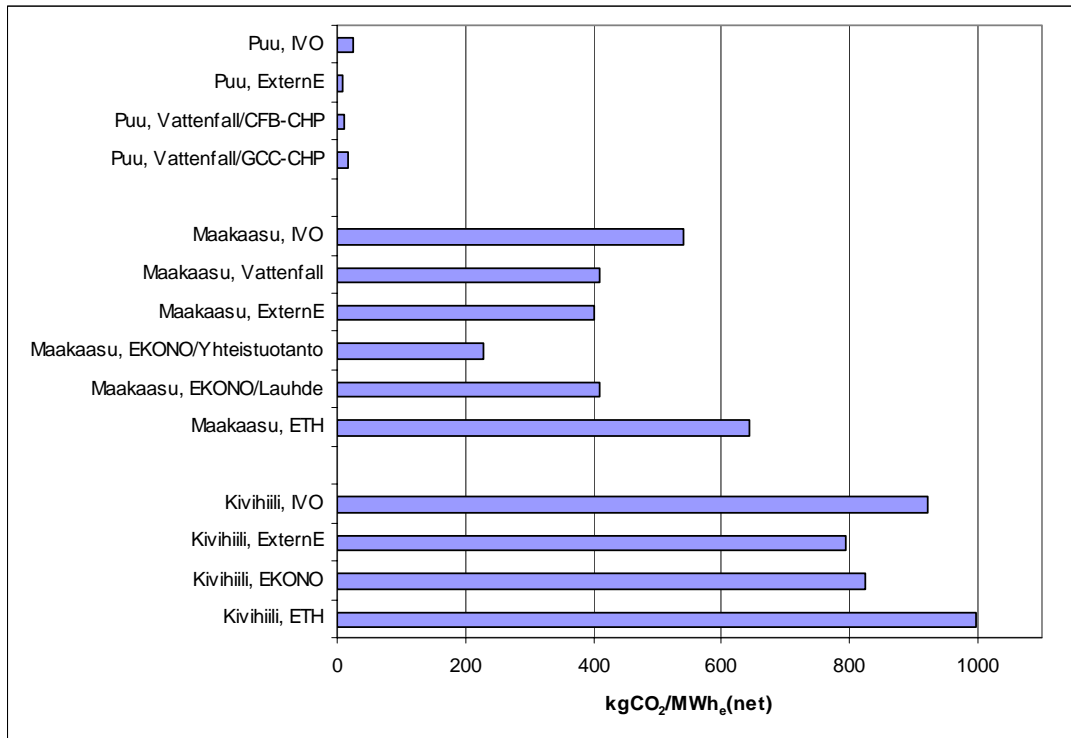
ExternEn muita suurempia puuvoimaa koskevat lukuarvot johtuvat exergiaperiaatteella tapahtuneesta päästöjen allokoinnista sähkölle- ja lämmölle sekä lukujen perustumisesta päästöjen ohjearvoihin mittaustulosten sijaan, joten todelliset päästöt ovat todennäköisesti selvästi tässä esitetyjä pienempiä.



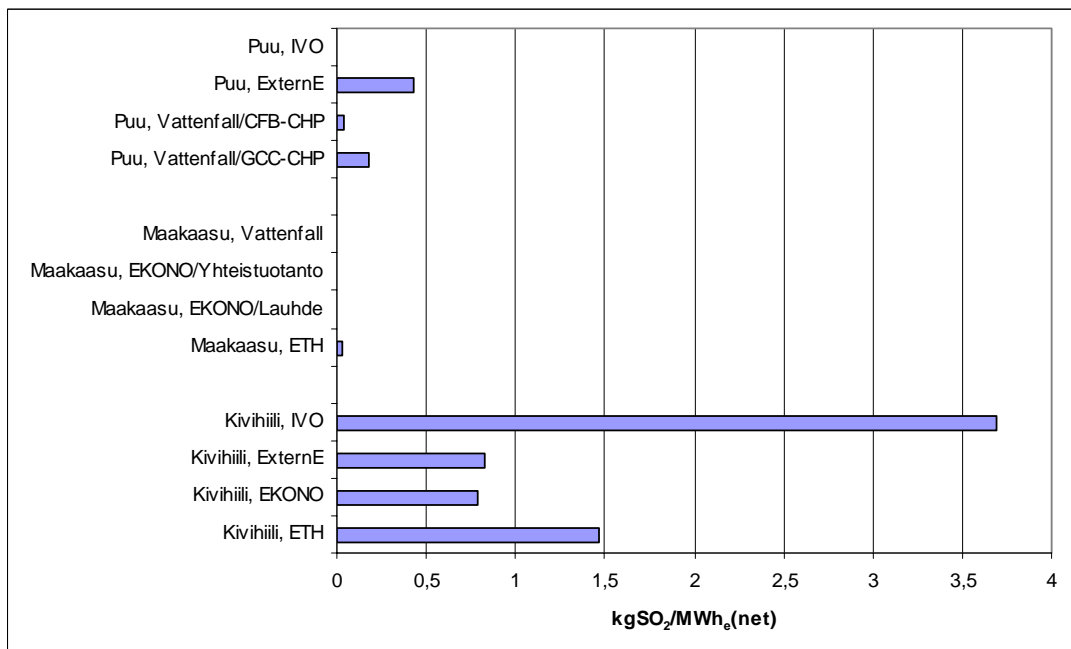
Kuva 12. Puulla tuotetun sähköenergian elinkaaren aikaiset päästöt eri tutkimustulosten mukaisesti suhteutettuna Vattenfallin elinkaaritutkimukseen.

#### 6.4 Tutkimusten ja polttoaineiden väliset vertailut

Eri tutkimuksissa analysoidun polttoaineketjujen eri päästöjen absoluuttisten erojen havainnollistamiseksi edellä esitetyt päästökertoimet on koottu samoihin kuviin päästökomponentteittain. Hiilidioksidin suhteen voidaan havaita kuvasta 13, että vaikka polttoainekohtaisissa elinkaaritutkimusten tuloksissa oli suuria suhteellisia eroja, ovat tarkasteltujen polttoaineiden CO<sub>2</sub>-päästöt vaihteluista huolimatta varsin eritasoisia.

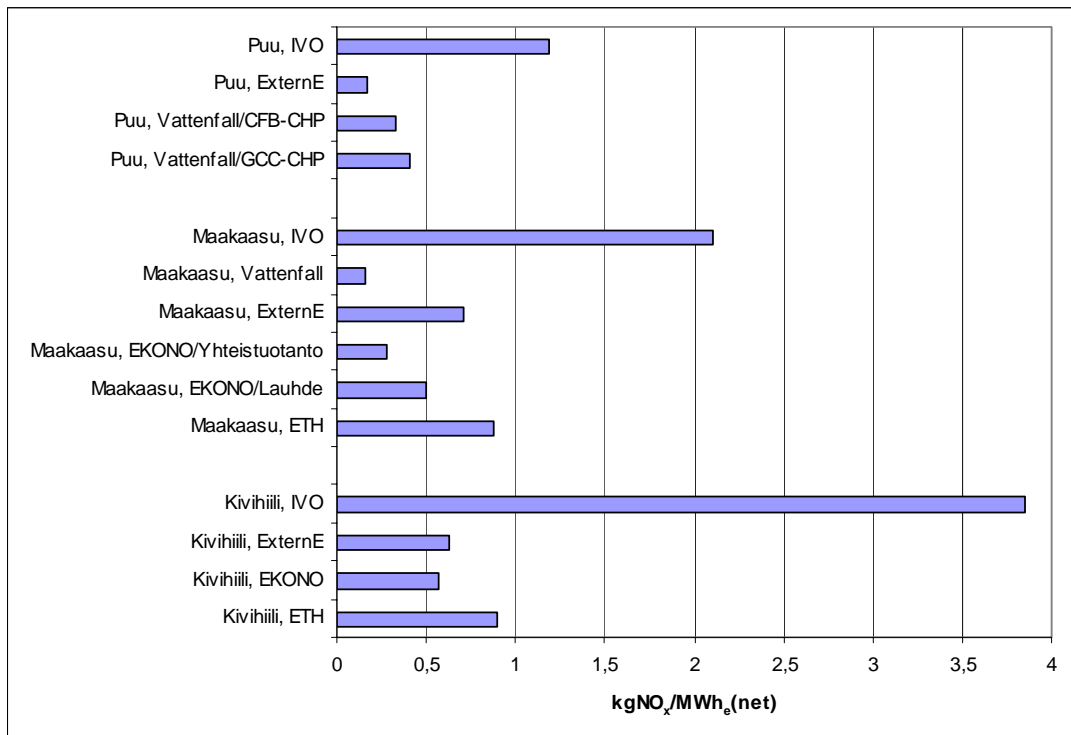


Kuva 13. Hiilidioksidipäästöjen vertailu eri polttoaineiden ja tutkimusten välillä koko polttoaineketjun osalta.



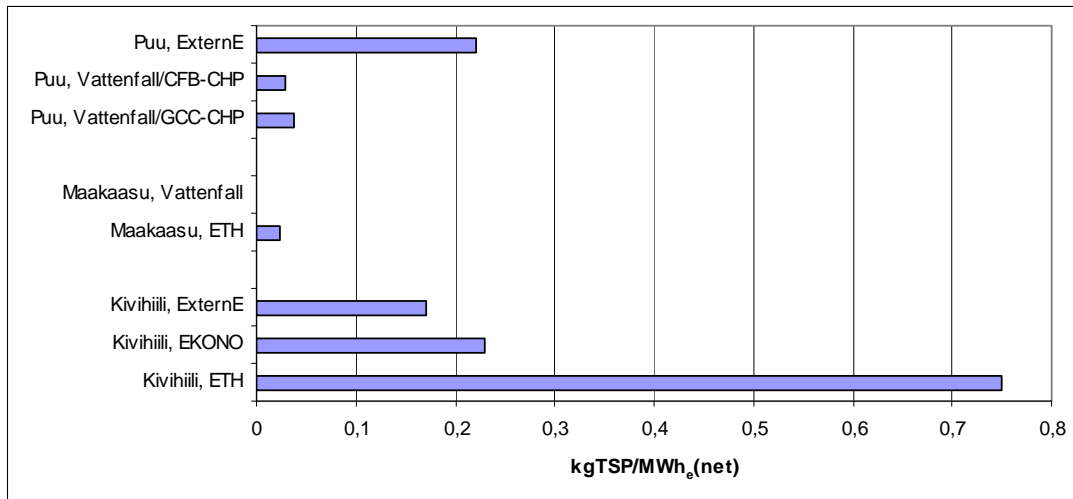
Kuva 14. Rikkidioksidipäästöjen vertailu eri polttoaineiden ja tutkimuksien välillä koko polttoaineketjun osalta.

Kuvassa 14 esitetyistä rikkipäästöistä voidaan todeta, että ExternEn puuketjuun liittyvä suhteellisen suuri lukema johtuu exergia-allokoinnista sekä lukuarvojen perustumisesta päästöohjearvoihin päästömittaustulosten sijaan. Esimerkiksi Kuhmon CHP-puuvoimalaan liittyvillä päästökertoimilla (Flyktman ym. 1995 ja Kuhmon Lämpö Oy, ref. Hongisto ym. 1998) laskettuna rikkipäästöt olisivat alle puolet tässä esitetyistä. ETH:n muita suurempi päästö johtuu tutkimuksen yksityiskohtaisuudesta laitoksen rakentamis- ja kuljetusvaiheiden kuvaamisessa verrattuna muihin vertailuissa olleisiin tutkimuksiin. IVOn suuri lukuarvo johtuu ensisijaisesti tutkimuksen lähtötietojen sijoittumisesta 90-luvun alkuun, jolloin mittavia rikinpoistoinvestointeja ei vielä ollut toteutettu. Nämä seikat selittävät myös typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen eroja kuvissa 15 ja 16.



Kuva 15. Typenoksidipäästöjen vertailu eri polttoaineiden ja tutkimuksien välillä koko polttoaineketjun osalta.

Kuvan 15 mukaan typenoksidipäästöjen kohdalla erot eri polttoaineilla ovat muita päästökomponentteja pienempiä. NO<sub>x</sub>-päästöt riippuvat enemmänkin polttoteknisistä ratkaisuista ja muista päästöjen vähentämistekniikoista kuin itse polttoaineen valinnasta.

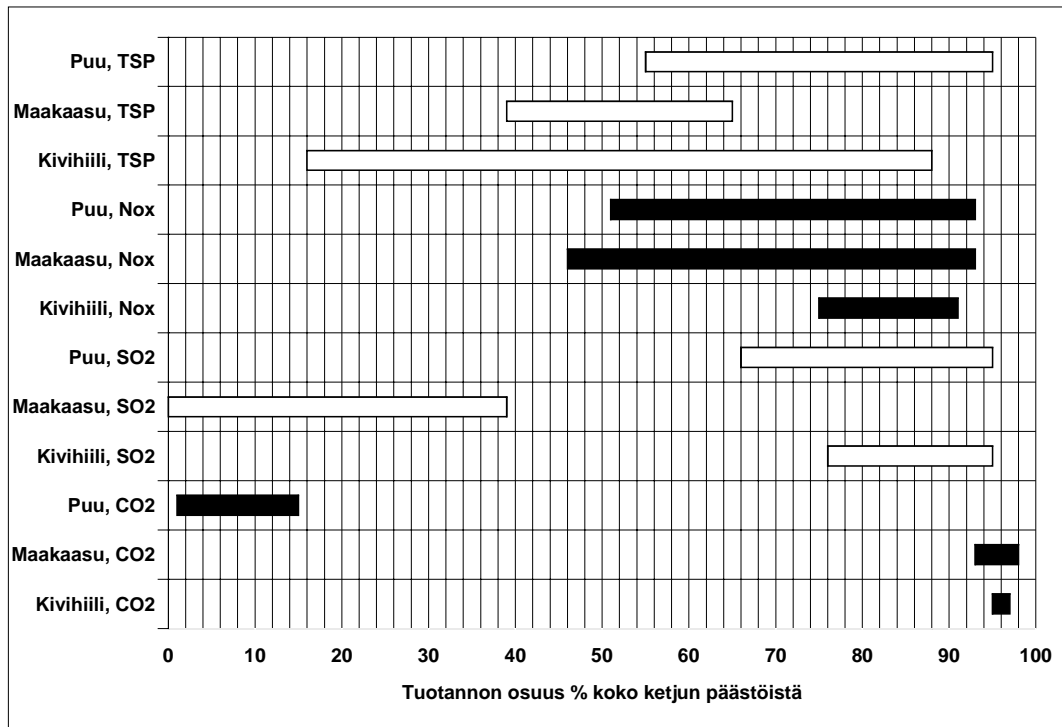


Kuva 16. Hiukkaspäästöjen vertailu eri polttoaineiden ja tutkimuksien välillä koko polttoaineketjun osalta.

Kuvassa 16 esitetyistä hiukkaspäästöistä voidaan todeta, että ExternEn puuketjuun liittyvä suhteellisen suuri lukema johtuu exergia-allokoinnista sekä lukuarvojen perustumisesta ohjearvoihin päästömittaustulosten sijaan. Esimerkiksi Kuhmon CHP-puuvoimalaan liittyvät hiukkasten ominaispäästöt johtaisivat pienempiin tuloksiin ja olisivat 10 - 35 % Forssan laitokselle arvioiduista ominaispäästöistä.

Kuvassa 17 on havainnollistettu sähköntuotantovaiheen osuutta prosentteina koko polttoaineketjun päästöistä. Kuvan perusteella voidaan arvioida sitä, miten hyvin ainoastaan tuotantovaiheeseen kohdistuva tarkastelu kuvaa tuotantomuodon kokonaispäästöjä. Tolpat muodostuvat eri tutkimuksista lasketuista päästökomponenttikohtaisista minimi- ja maksimiosuuksista. Vertailussa mukana olleiden tutkimusten tulokset jäävät tolppien rajaaman alueen sisään. Mitä pienempiä lukemat ovat, sitä suurempi osa päästöistä aiheutuu polttoaineketjun muista vaiheista kuin energiantuotantovaiheesta.





*Kuva 17. Energiantuotantovaiheen osuus prosentteina tarkasteltujen tutkimusten tuloksena saaduista koko polttoaineketjun kokonaispäästöistä.*

Kuvasta voidaan havaita, että mikäli tarkastelut kohdistuisivat ainoastaan energiantuotantovaiheeseen, jäisi vertailtujen polttoaineketjujen tiettyjen päästökomponenttien kohdalla suhteellisesti merkittävä osa päästöistä ottamatta huomioon.

## 7. Vertailukehikko eri tutkimusten metodologisten erojen kartoittamiseksi

Eri tutkimusten tulosten eroavaisuuksien selvittämiseksi on tarpeellista paneutua kunkin tutkimuksen yhteydessä tehtyihin oletuksiin, rajauksiin ja muihin taustatekijöihin. Taustatietojen selvittäminen ei aina ole yksinkertaista, sillä raportointi voi olla hyvinkin puutteellista huolimatta läpinäkyvyysperiaatteesta, jota pitäisi noudattaa kaikissa LCA- ja polttoaineketjututkimuksissa.

Elinkaariarviointitutkimusten välisiä eroja ja niihin liittyviä taustatietoja selvitettiin kolmen polttoaineen ja kolmen tutkimuskokonaisuuden kannalta. Mukaan otettiin Energia-Ekonon tutkimus maakaasun ja kivihiiilen ympäristövaikutuksista (Energia-Ekonon Oy 1997), Vattenfallin elinkaaritutkimuksista puu ja maakaasu (Brännström-Norberg ym. 1996) sekä sveitsiläisen ETH-tietokannan maakaasututkimus (Frischknecht ym. 1994). Tuloksia on käsitelty kahdella tasolla: tutkimuskokonaisuuksille yleiset piirteet sekä polttoainekohtaiset ominaisuudet. Vertailtavat ominaisuudet on valittu siten, että ne kuvaisivat mahdollisimman hyvin tutkimustuloksiin liittyviä epävarmuustekijöitä sekä näiden välisiä eroja. Vertailutuloksia on koottu taulukoihin 19 ja 20.

Mikään vertailussa mukana olevista kokonaisuuksista ei ollut varsinainen elinkaariarviointi kattavuudeltaan siinä mielessä, että kaikki tutkimukset sisälsivät ainoastaan inventaariovaiheen, mutta eivät vaikutusarviointia tai painotusta/arvotusta. Ainoastaan Energia-Ekonon tutkimuksissa oli paikallisia ympäristövaikutuksia arvioitu asiantuntijamenetelmällä. Vaikutusarvioinnin puute selittynee osin tutkimusten päämäärillä, sillä tavoitteiden saavuttamiseksi inventaariotiedon on katsottu olevan riittävää, ja osin vaikutusarviointimenetelmien kehittymättömyydellä. Lisäksi oma vaikutuksensa saattaa olla vaikutusarviointivaiheen työläydellä, joka heijastuu korkeina tutkimuskustannuksina.

Suurimmat eroavuudet tutkimuskokonaisuuksien välillä liittyvät tarkasteltuihin elinkaaren vaiheisiin sekä mukaan otettuihin ympäristökuormiin ja -vaikutuksiin. Mitä monipuolisempi ja laajempi tutkimus, sitä enemmän elinkaaren vaiheita sekä yksittäisiä syöte- ja tuotoselementtejä on otettu huomioon tarkastelussa. Eroja yksittäisten prosessien rajauksissa on vaikea tarkastella, osin raportoinnin puutteellisuuden takia ja osin taas yksikköprosessien suuren määrän takia. Taulukossa 20 elinkaari on jaettu karkeasti eri vaiheisiin ja tutkittu vaiheiden sisältymistä tutkimukseen. Tutkimukseen sisältyvät elinkaaren vaiheet on merkitty rastilla (X) ja sisältymättömät viivoilla (-). Eniten elinkaaren vaiheita sisältyy ETH-tietokantaan ja selvästi vähiten Energia-Ekonon tutkimukseen, joista viimeksi mainitussa olivat mukana ainoastaan polttoaineen hankinta, jalostus, kuljetus ja varastointi sekä energiantuotanto.

Taulukko 19 . Eri elinkaariarviointitutkimusten vertailua tutkimuskokonaisuuksille yhteisten metodologisten piirteiden osalta.

	<b>VATTENFALL</b>	<b>EKONO</b>	<b>ETH</b>
Tekijä	Vattenfall	Energia-Ekono	Zürichin teknillinen korkeakoulu
Rahoittaja	Vattenfall	SIHTI2 ym.	Ei tietoa
Vuosi	1993 - 1996	1997	1994
Päivitys	Ei päivitystä	Ei päivitystä	1996
Todennettu	Ulkopuolinen tarkastus	Sisäinen tarkastus	Sisäinen tarkastus
Julkisuus	Summary-osuus julkinen	Julkinen	Julkinen
Läpiviennin taso	Inventaario (luokittelu)	Inventaario	Inventaario
Kuormat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uusiutuvat energialähteet</li> <li>• Uusiutumattomat energialähteet</li> <li>• raaka-aineet</li> <li>• kemikaalit (ei valmistusta)</li> <li>• maankäyttö</li> <li>• ilmapäästöt</li> <li>• vesipäästöt</li> <li>• jätteet</li> </ul>	Ilmapäästöt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• uusiutuvat energialähteet</li> <li>• uusiutumattomat energialähteet</li> <li>• raaka-aineet</li> <li>• kemikaalit (valmistus rajoitetusti)</li> <li>• maankäyttö</li> <li>• ilmapäästöt</li> <li>• vesipäästöt</li> <li>• jätteet</li> </ul>
Vaikutusarviointityypit	Ei summary-raportissa	Kvalitatiivisesti	Ei vaikutusarviointia
Arvotus	Ei arvotusta	Asiantuntijamielipide	Ei arvotusta
Metodologia	SETAC: Code of Practice Nordic Guidelines	ExternE-polttoaineketjumenetelmä soveltaen	Soveltava prosessiketjuanalyysi

Taulukko 20. Eri elinkaariarviointitutkimusten vertailua polttoaineketjukohtaisten ominaisuuksien mukaan.

	VATTENFALL, MAAKAASU	ENERGIA-EKONO, MAAKAASU	VATTENFALL, PUU	ENERGIA-EKONO, KIVIHIILI	ETH, HOLLANNIN MAAKAASU
Rajaukset					
Polttoaineen tuotanto			X		
Polttoaineen etsintä	–	–		–	X
Polttoaineen hankinta	X	X	X	X	X
Polttoaineen jalostus	X	X	X	X	X
Polttoaineen kuljetus	X	X	X	X	X
Kuljetuspolttoaineet	X	X	X	–	X
Varastointi	–	–	–	X	X
Energiantuotanto	X	X	X	X	X
Voimalan rakennus	X	–	X	–	X
Käyttövaiheen materiaalit	X	–	X	–	X
ja kemikaalit	X	–	X	–	X
Käytöstäpoisto	X	–	X	–	X
Jätteiden käsittely	–	–	–	–	X
Elinkaaren energia	X	–	X	–	X
ja sen tuotanto	X	–	X	–	X
Allokointi					
Sähkö ja lämpö	Ei allokointia, vain sähköntuotantoa	Ei allokointia, pa:n lämpöarvoa kohti	Energiaperiaate	Ei allokointia, pa:n lämpöarvoa kohti	Exergia-periaatteen mukaan
Materiaalit	50/50-periaate	Ei allokointia, materiaalit ei mukana	50/50-periaate	Ei allokointia, materiaalit ei mukana	Ei allokointia
Energiantuotanto					
Laitoksen edustavuus	Oma laitos, rakenteilla	Suunnitteilla oleva laitos (Vuosaari B)	Tulevat omat laitokset	Rannikolla sijaitseva kivihiililauhdelaitos (Meri-Pori)	Maan tuotantoa kuvaava ka. Prosessi
Tuotantotapa	Maakaasukombi		CFB-CHP; GCC-CHP	Kivihiililauhdelaitos	Keskiarvolaitos
Tuotteet	Sähkö	Sähkö, lämpö	Sähkö, lämpö	Sähkö	Sähkö
Kuljetusmatka		Venäjällä keskimäärin yli 3 000 km, Suomessa otettu huomioon, ei ilmoitettu	Otettu huomioon, ei ilmoitettu	Puolasta ja Venäjältä junalla 1362 km, laivalla 800 km.	
Kuljetusväline	Maakaasuputki	Maakaasuputki	Ei ilmoitettu	Maakuljetukset junalla tuottajamaassa. Merikuljetukset tuottajamaasta Suomeen	Maakaasuputki
Teknologia	Nykyisin käytössä oleva	Uusin käyttöönotettu	Nykyisin käytössä oleva	Nykyisin käytössä oleva	Vuoden 1993 keskiarvolaitos
Datan referenssivuosi					
Tuotanto	Tuotanto vuodelta 95	Energia-Ekono 1993+1997	Tuotanto vuodelta 95	Imatran Voima 1996	1993, päivitys 1995
pa:n hankinta	Polttoaineen hankinta 91 muut vaihtelevat	Gazprom 95 Gasum 95	Tillman 1991	Useita	1993, päivitys 1995

Rajauskysymys ei kuitenkaan selitä eroja itse energiantuotantovaiheessa, joten myös polttoaineketjukohtaisia ominaisuuksia tulee tarkastella. Eniten energiantuotantovaiheen päästöihin vaikuttavat käytetty teknologia ja savukaasujen puhdistusmenetelmät. Nämä ovat sidoksissa lähtötietojen hankintavuoteen, sillä voimalaitosten rikin ja typen oksidien poistomenetelmät ovat kehittyneet merkittävästi 90-luvun alkupuolelta alkaen. Samoin myös energiantuotantolaitosten hyötysuhteet ovat nousseet teknologiakehityksen myötä.

Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa valitulla allokoointimenetelmällä on merkittävä vaikutus lopputulokseen, kuten luvussa 3.6 jo todettiin. Yhteistuotannossa Vattenfall on käyttänyt energiaperustaista allokoointia ja ETH:n maakaasututkimuksissa (ja ExternEn kansallisessa implementaatiohankkeessa) on käytetty exergiaperiaatetta. Energia-Ekonon tutkimuksessa päästöt on ilmoitettu polttoaineen lämpöarvoa kohti, eikä allokoointia ole tehty. Materiaalien allokoointia ei ole käsitelty muissa kuin Vattenfallin tutkimuksissa, joissa on käytetty 50/50-periaatetta. Tämän lähestymistavan mukaan 50 % neitseellisen materiaalin tuotannon ja jätteiden käsittelyn ympäristövaikutuksista allokoidaan sille tuotteelle, joka käyttää primäärimateriaalia. Jäljelle jäävät 50 % allokoidaan sille tuotteelle, joka "hukkaa" materiaalin esim. kaatopaikalle eikä kierrätä sitä. Vastaavasti 50 % kierrätysprosessin ympäristövaikutuksista allokoidaan sille tuotteelle, joka tuottaa kierrätysmateriaalia ja loput 50 % sille tuotteelle, joka käyttää sitä (Lindfors ym. 1995).

Aggregoidussa muodossa olevien tietojen aukipurettavuus oli ongelmana lähes kaikissa tutkimuksissa. Tämä vaikeuttaa lähtötietojen alkuperän selvittämistä. Samoin tietolähteenä on saatettu viitata aikaisempaan tutkimukseen, jonka tiedot taas perustuvat vieläkin vanhempaan lähteeseen. Tiedon lähdemateriaalina mainitun lähteen julkaisuvuosi ei siis välttämättä tarkoita datan referenssivuotta, joka saattaa olla hyvinkin paljon vanhempaa.

Kuljetusmatkoilla ja -välineillä saattaa olla suuri merkitys LCA-tutkimuksen lopputulokseen lähinnä puuvoiman tapauksessa, jossa hiilidioksidi- ja rikkipäästöt ovat pienet itse polttoprosessista. Tässä suhteessa raportointi on kuitenkin puutteellista, eikä esimerkiksi Vattenfallin puuvoiman osalta tietoja kuljetusmatkoista ja -välineistä ollut lainkaan saatavissa.

Näiden ongelmien lisäksi erittäin vaikeasti analysoitavia asioita tutkimuksista ovat mm.

- Lähtötietojen valinta kirjallisuudesta
- Kulkeutumis- ja vaikutusmallien ominaisuuserot mahdollisissa vaikutustarkasteluis-  
sa (jos analyysit vietäisiin vaikutustasolle)
- Erot eri tutkimusten systematiikassa ja käsitetaksonomiassa vaikeuttavat vertailuja  
(toiminnallinen yksikkö, prosessit, kuormitukset, vaikutukset, käsitteet, yms.)
- Tutkimuksen datan ja menetelmien validointimahdollisuuksien puute (vertailtavuus,  
toistettavuus, avoin tarkastettavuus harvoin käytännössä mahdollisia)
- Kokonais- ja osatulosten asiayhteyssidonnaisuuden arvioinnin ongelmat (yleistettä-  
vyys, siirrettävyys olosuhteista toiseen, kattavuus ja edustavuus).

Näistä syistä seuraa, että saatavilla olevista erilaisista polttoaineketjuja selvittäneistä tutkimuksista johdetun tiedon käyttäminen vertailuväitteiden muodostamiseen on varsin ongelmallista, ja edellyttää erittäin perusteellista perehtymistä tutkimusten lähtötietoihin ja moniin metodologisiin kysymyksiin. Vertailujen yksityiskohtaista tarkastelua voidaan jatkaa loputtomiin, niin että käytännössä löytyy aina taso, jolla eri tutkimukset eivät enää ole metodologisesti vertailukelpoisia. Näin ollen eri tutkimusten tulosten vertailukelpoisuutta tulee arvioida suhteessa tulosten käyttötarkoituksiin.

## 8. LCA-tiedon liittämistä päätöksentekoprosessiin

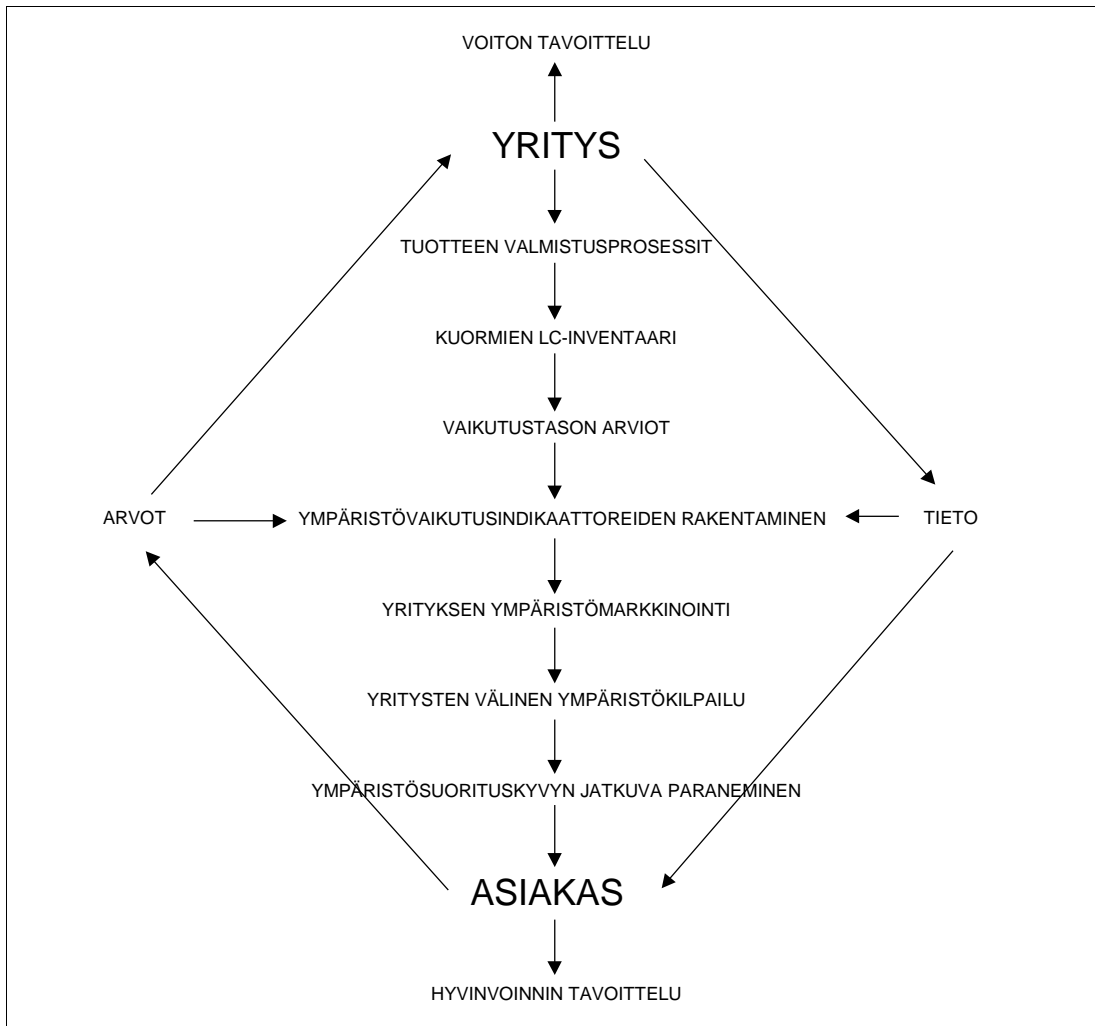
Energiamarkkinoiden vapautuminen ja päätöksenteon siirtyminen myös asiakkaille muuttaa myös tiedontuotannon tarpeita ja painopisteitä. Hallinnollista päätöksentekoa tukevat valtakunnallisen tason tilastot ja kehitysarviot eivät välittömästi palvele asiakkaiden päätöksentekoa. Elinkaariarvioinnin voima energiamarkkinoiden vapautumisen yhteydessä liittyy tuotelähtöisen ajattelun korostumiseen päätöksenteon muuttuessa markkinavetoiseksi.

Elinkaariarviointi on yksi monista ympäristöasioiden hallintatekniikoista ja sen avulla voidaan tuottaa parhaimmillaan tietoa moniin erilaisiin päätöksenteon sovelluksiin ja erilaisille sidosryhmille. Pyrkimys elinkaariajatteluun on yhteinen piirre monissa ympäristönhallinnan menetelmissä. Elinkaariajattelu ketjuttaa ympäristövaatimuksia tuotteita loppukäyttäjille valmistavien yritysten lisäksi myös jalostusketjun väliportaan yrityksiin, jotka tekevät hyödykkeitä toisille yrityksille. Elinkaariajattelu kannustaa koko jalostusketjun ekotehokkuuden parantamiseen.

Avautuneilla energiamarkkinoilla asiakkaat tarvitsevat valintojaan koskevia päätöksiä varten luotettavaa ja elinkaaripohjaista tietoa eri energialähteiden ympäristövaikutuksista. Tällöin yhtenä vaihtoehtona on kehittää elinkaariarviointiin perustuvia ympäristöindikaattoreita, jotka kuvaavat energiatuotteiden välisiä suhteellisia eroja. Tällaisten indikaattoreiden avulla voidaan edesauttaa sellaisen ympäristökilpailun toteutumista, jossa asiakkaat voivat valinnoissaan antaa ympäristövaikutuksille niiden merkittävyyttä kuvaavan arvon. Suhteellisia eroja tuotteiden välillä kuvaavat indikaattoriparvet kehittyisivät asiakkaiden ja kilpailijoiden vuorovaikutuksen ja yhteisen oppimisprosessin seurauksena.

Yrityksen ja asiakkaan välisen luottamuksen tavoittelu asettaa vuorovaikutteiselle ympäristökommunikaatiolle ja informaatiolle suuren haasteen. Ympäristömarkkinointia voidaan tehostaa mm. perustamalla mainonnassa käytettävä sertifikaatti riippumattoman tahon tekemiin arvioihin ja porrastamalla saatavilla oleva taustainformaatio esimerkiksi tasolla tuotemerkki, mainokset, esitteet, artikkelit, raportit, tietokannat jne.

Elinkaariarvioinnin roolia suhteessa markkinointiin on pyritty havainnollistamaan kuvassa 18.



Kuva 18. Kaaviossa on hahmoteltu tiedon ja arvojen (valintataipumusten) ja toisaalta elinkaariarvioinnin (LCA) ja ympäristömarkkinoinnin välisiä suhteita asiakkaiden ja yritysten päämäärien muodostamassa kontekstissa.

Tässä selvityksessä ympäristövaikutuksia tarkastellaan pyrkimättä niiden yhteismitalistamiseen, koska tähän ei ole käytettävissä riittävän objektiivisia menetelmiä. Toisaalta päätöksenteossa joudutaan joko implisiittisesti tai eksplisiittisesti ottamaan kantaa ja arvottamaan hyvin moniulotteisia kysymyksiä mm. syiden ja seurauksien verkostojen monimutkaisuuden vuoksi, eikä kaikkia päätöksiin vaikuttavia tekijöitä kyetä muuttamaan määrällisiksi arvioiksi. Edellisessä kuvassa hahmoteltujen elinkaariarviointiin perustuvien indikaattoreiden erot ympäristömerkkeihin verrattuina liittyvätkin siihen, etteivät ne sinänsä sisällä luokituksia ja päätöksiä, vaikka indikaattoreiden valintaan liittyikin arvokysymyksiä. Selkeästi muodostetut indikaattorit saattaisivat helpottaa niin ympäristömerkintäpäätösten kuin asiakkaiden valintojenkin tekemistä.



## 8.1 Ympäristövaikutusindikaattoreiden muodostaminen

Elinkaarianalyysin inventaariovaiheen tuloksena saadaan suuri joukko erilaisia syöte- ja tuotoskomponentteja, joiden määrä laajoissa tutkimuksissa voi nousta jopa satoihin. Suuren lukumäärän takia niitä tulisi yhdistää laajempiin ongelmakokonaisuuksiin liittyviksi indikaattoreiksi, jotka perustuvat erilaisiin vaikutusluokkiin (esim. happamoituminen, kasvihuoneilmiön voimistuminen, luonnonvarojen käyttö jne).

Joissakin tapauksissa on mahdollista rakentaa monia kuormittavia tekijöitä yhteismitallistava vaikutusluokkakohtainen indikaattori. Yhteismitallistamisen perusteena käytetään tällöin mahdollisimman objektiivista, jonkin tieteenalan tuottamaa teoreettista ja empiiristä tutkimustietoa siitä, miten erilaiset ympäristövaikutukset muodostuvat ja minkälaisia kausaalisuhteita niihin liittyy.

Raportoitavia indikaattoreita valittaessa joudutaan vastaamaan siihen, mitkä ovat oleellimmat asiakkaita kiinnostavat seikat. Koska ei ole olemassa yhtä oikeaa tapaa mitata mikä on arvokasta, tärkeää tai oleellista, tulee indikaattoriperheiden olla niin laajalaisia, että ne peittävät mahdollisimman hyvin asiakkaiden mielenkiinnon alueet. Ympäristövaikutusindikaattorit muodostaisivat yhden indikaattoriperheen. Ympäristöindikaattoreiden määrää voidaan pienentää saadun mielipidepalautteen avulla. Indikaattoreiden käyttö esimerkiksi mainonnassa rajoittaa myös niiden määrää. Indikaattoreita tulisi olla ”pienin tarvittava määrä”, joka voidaan muodostaa luotettavasti ja hyväksyttävien kustannuksin.

Taulukossa 21 esitetään esimerkinomaisesti muutamia tärkeimmiksi arvioituja kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia energiantuotannon suhteellisten ympäristöominaisuuksien kuvaamiseen tarvittavia ympäristövaikutusindikaattoreita. Niiden avulla olisi mahdollista tehostaa ”ympäristösuorituskyvyn jatkuvan parantamisen mekanismia” markkinoilla kilpailevien energiayhtiöiden ja -tuotteiden keskuudessa. Kun indikaattoreita ei pyritä yhteismitallistamaan yhdeksi kokonaisindeksiksi, voivat asiakkaat energiavalintojaan tehdessään arvioida mitkä seikat ovat niin arvokkaita, että ne tulisi ottaa valinnoissa huomioon. Samalla myös osavastuuta odotettavissa olevista ympäristövaikutuksista ja -riskeistä siirtyy niille toimijoille, joiden valinnanmahdollisuudet ovat laajat. Tieto asiakkaiden valintatapumuksista kanavoituisi edelleen suoraan energiantuottajien päätösten tueksi.

Siihen päätelmään, mikä on asiakasnäkökulmasta arvokasta, vaikuttavat monet osin tuntemattomat seikat. Lähtökohtana on, että asiakkaat toimivat rationaalisesti omista lähtökohdistaan, kunhan saavat riittävästi tietoa toimintansa vaikutuksista. Tieto ympäristövaikutuksista vaikuttaisi siis niiden asiakkaiden valintapäätöksiin, jotka kokevat ympäristövaikutukset tärkeiksi.

Taulukko 21. Mahdollisia ympäristövaikutusindikaattoreita energiatuotteiden ympäristökilpailukyyn arvioimiseksi. Plus (+) -merkillä on merkitty ne indikaattorit, jotka ovat tämän raportin tekijöiden mielestä muodostettavissa ja miinuksella (-) ne, joiden käyttö indikaattorina edellyttäisi jatkotutkimuksia.

VAIKUTUSTYYPPI	MENETELMÄ	MAHDOLLISIA INDIKAATTOREITA	HUOMAUTUKSIA
+ Ilmastonmuutos	GWP	CO <sub>2</sub> -ekvivalentit	Aikaprospektiiviriippuvainen
+ Otsonikerroksen oheneminen	ODP	CFC-11-ekvivalentit	
+ Happamoituminen	AP	SO <sub>2</sub> -ekv. tai meq	
+ Vesistöjen rehevöityminen	EP	O <sub>2</sub> (N) ja O <sub>2</sub> (P)	
- Terveysvaikutukset.	Useita	Sairastuminen, eliniän lyheneminen, kuolemantapaukset	Priorisointiongelmat, paikkasidonaisuus
+ Resurssien käyttö	MFA/MIA-menetelmä, BDF ja ADF, LOF	Maankäyttö, + vedenkäyttö, + energiankäyttö, + materiaalien-käyttö	Tarve useille indikaattoreille (?)
- Valokemiallisten hapettimien muodostuminen	POCP	Eteeni ekvivalentit	Olosuhderiippuvainen
- Ekotoksisuus	ETP		Priorisointiongelmat, Paikkasidonaisuus
- Biodiversiteetti		Mm. lajien sukupuuttoon kuoleminen	Voidaanko biodiversiteettiä ylipäättänsä mitata käytännössä?
- Ulkoiskustannus	DFA/ ExternE	ECU	Yhteismitallistetaan vain markkinoilla vaihdettavissa oleviin hyödykkeisiin kohdistuvat haitat.
+Aktiivisuuspäästö	Bq	Mahdollisesti rakennettava osista: jalokaasut/ jodit/C-14/Tritium/fissio- ja akt. Tuotteet	
+ Onnettomuusriski		(Kuolemantapaukset, vakavat vammautumiset yms.)	Tilastotiedon puuttessa arviot epävarmoja.

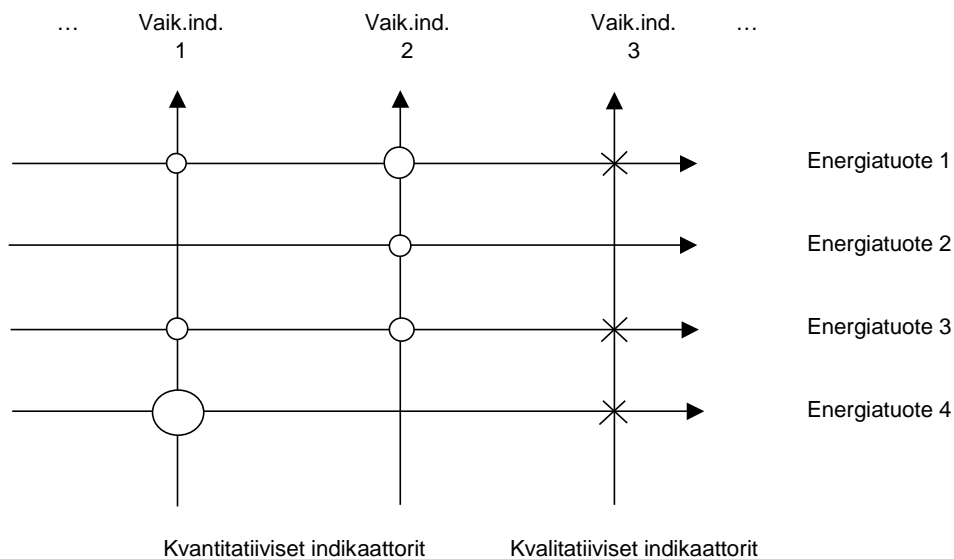
Muita mahdollisesti tarpeellisia indikaattoreita voitaisiin muodostaa esimerkiksi seuraavista aiheista: kiinteiden jätteiden muodostuminen (t) ja niiden hyötykäyttöaste (%), maisemavaikutukset (?), lämpöpäästöt, vesistöjen säännöstely (rantaviivan siirtymä ?), melu, haju ja mahdollisesti aktiivisuuspäästöön liittyvä kollektiivinen väestöannos (manSv), joka voidaan ehkä sisällyttää terveysterveystietä indikaattoriin.

Markkinoilla vaihdettaviin hyödykkeisiin kohdistuvat haitat voidaan yhteismitallistaa markkinahintojen avulla ja määrittää jonkin ulkoiskustannusten arviointimenetelmän, kuten ExternEn, vaikutustie-haittafunktio menetelmän avulla. Tällaisia vaikutuksia ovat materiaalivahingot, virkistyskäyttövaikutukset sekä vaikutukset maa- ja metsätaloustuotantoon. Kestävän kehityksen kannalta keskeiset ympäristövaikutusindikaattorit täydentäisivät taloustieteelliseen tarkasteluun pohjautuvaa ulkoiskustannusten arviointimenetelmää siltä osin, missä loppuvaikutusten tasolla tapahtuva arvottaminen on äärimmäisen vaikeaa tiedon puutteen tai muiden vaihdantaparadigmaan liittyvien menetelmällisten tai eettisten ongelmien vuoksi.

Elinkaariarviointia ja energiantuotannon ulkoisia ympäristökustannuksia käsittelevän kirjallisuuden perusteella voidaan muodostaa mm. taulukossa 21 esitettyjä vaikutusluokkia, joita voidaan pyrkiä kuvaamaan suhteellisilla ympäristövaikutusindikaattoreilla.

Taulukon 21 indikaattoreiden muodostaminen peittää todennäköisesti kattavasti vakavimmiksi koettujen ympäristöongelmien kentän. Toisaalta indikaattoreiden luotettava muodostaminen ei kaikkien osalta ole toistaiseksi mahdollista tiedon puutteiden ja sen soveltumattomuuden sekä yleistettävyyso Ongelmien vuoksi. Monissa vaikutusluokissa tietämys on parantunut viime vuosina, ja jatkossa tutkimusta tulisi jatkaa keskittämällä ponnistuksia yksittäisten tutkimuselementtien luotettavuuden parantamiseen ja järjestelmän kehittämiseen modulaarisen ajattelutavan ja päivitettävyyden vaatimusten mukaisesti. Samalla tulisi huolehtia tiedon käyttömahdollisuuksista laajemmissa konkreettisia päätöksiä palvelevissa kokonaisuuksissa määrittelemällä ketjun *prosessi* -> *kuormittava tekijä* -> *kulkeutuminen* -> *vaikutus* -> *arvo* väliset rajapinnat riittävän yleisellä tasolla. Tämä mahdollistaisi tietoelementtien muodostamisen ja yhdistelemisen tehokkaalla ja päivitettävissä olevalla tavalla.

Edellä mainittujen indikaattoreiden lisäksi tietämyksen ja lähtötietojen lisääntyessä olisi mahdollista rakentaa uusiin luonnonprosesseihin liittyviä indikaattoreita ja laajentaa indikaattoriperhettä tarvittaessa sosio-ekonomisia ja eettistä toimintaa kuvaavien kvantitatiivisten ja kvalitatiivisten indikaattoreiden suuntaan. Tämän tyyppistä vertailutilannetta on havainnollistettu kuvassa 19. On selvää, että käytännön resurssio Ongelmat estävät nopean etenemisen kaikilla sektoreilla, mutta tässä alustavassa selvityksessä hahmoteltu järjestelmä luo rakennetta mahdollisille tulevaisuuden kehityshankkeille.



Kuva 19. Energiatuotteiden ja niistä muodostettavien suhteellisten ympäristövaikutusindikaattoreiden muodostama vertailuja tukeva matriisi. Näiden ulottuvuuksien välissä on käytännössä vielä kuormittavien tekijöiden muodostama inventaaritaso. Vertailumatriisiin on mahdollista kytkeä määrällisten indikaattoreiden (o) lisäksi myös laadullisia tekijöitä (X).

Edellä kuvatut indikaattorit eivät ole käytännössä täysin toisistaan riippumattomia: esimerkiksi osa ilmastonmuutoksen ja resurssien kulumisen vaikutuksista konkretisoituu aikojen kuluessa viime kädessä ihmisten terveyshaittoina. CFC-yhdisteet osallistuvat sekä ilmastonmuutokseen että otsonikerroksen tuhoutumiseen, joka puolestaan vähentää näiden yhdisteiden kasvihuonevaikutusta. Loppuvaikutuksille oikeampi luokittelu olisi resursseihin (talouteen), ihmiseen ja muun luonnon objekteihin kohdistuvat haitat, mutta tietämyksen epävarmuuden vuoksi vain pieni osa loppuvaikutuksista voitaneen arvioida riittävän uskottavalla tavalla. Analyysin vieminen kymmenien tai satojen loppuvaikutusten tasolle vaikeuttaa kokonaiskuvan muodostamista eikä tuo lisäarvoa suhteelliseksi tarkoitettujen vertailujen pohjaksi vaikka parantaakin absoluuttista tietoperustaa. Indikaattoreiden osittainen riippuvuus toisistaan ei johda double-counting-ongelmaan, koska niitä ei missään vaiheessa ole tarkoitus laskea yhteen 'kokonaishaittapisteiksi' kuten mm. yhteismitallistavassa ulkoiskustannusajattelussa tapahtuu.

Indikaattoreiden rakentamiseen voidaan soveltaa mm. seuraavia vaikutusluokkien valintapäätöksissä huomioon otettavia periaatteita (Udo de Haes 1996):

- Kattavuus:  
Listan tulee kattaa ne ympäristövaikutukset, jotka yleisesti käsitetään merkittävimmiksi sekä ne, jotka voivat olla erityisen merkityksellisiä tutkittavan systeemin kannalta.

- Käytännöllisyys:  
Vaikutusluokkia ei saa olla liikaa.
- Riippumattomuus:  
Luokkien pitäisi mahdollisuuksien mukaan olla riippumattomia toisistaan, ettei epäsuoria vaikutuksia laskettaisi kahteen kertaan.

Ympäristövaikutusten keskinäisistä suhteista ei ole olemassa kiistatonta taksonomista kuvausta eikä nk. arvoitettavaa loppuvaikutusta ole aina helppo löytää. Tutkimus on kuitenkin tuottanut merkittävästi lisätietoa viime vuosina ja systematiikan voidaan olettaa parantuvan lähivuosina merkittävästi. Erilaiset ympäristöongelmiksi kuvatut luonnon prosessit saattavat liittyä toisiinsa monimutkaisten vuorovaikutusten seurauksena, jolloin niitä ei voida arvottaa erillisinä haitakkeina (hyödykkeen kaltainen haittaa aiheuttava vaihdettavissa oleva seikka).

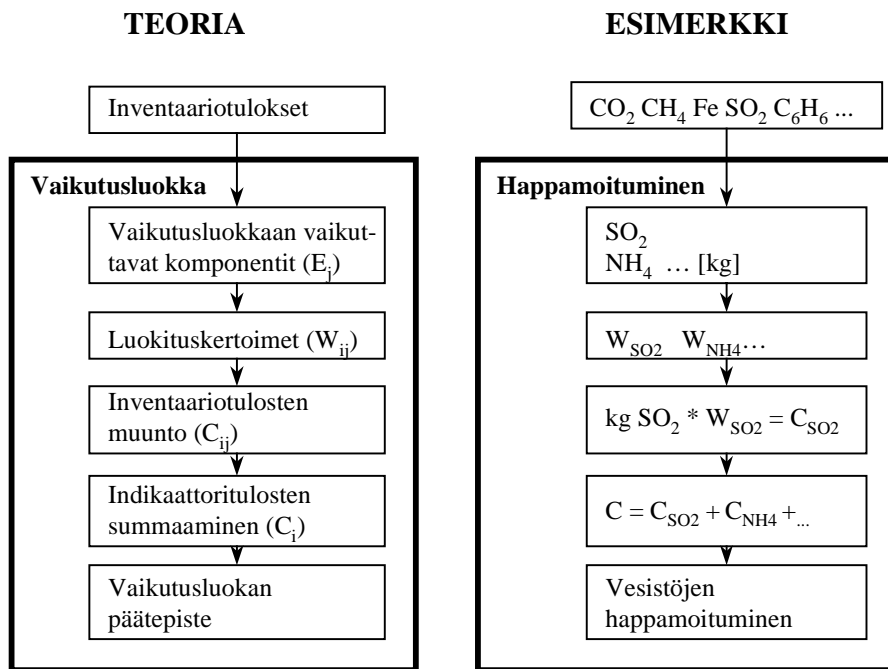
Ympäristövaikutusindikaattoreiden tuottajien ja hyödyntäjien tulisikin varautua siihen, että indikaattoreiden perustukset saattavat ”elää” dynaamisella pohjalla. Niiden perustaminen taustalla olevaan elinkaariarviointi-tyyppiseen analyysiin ja laajaan tietopohjaan edesauttaa sitä, että taustatyön tuloksia voidaan hyödyntää monenlaisia käyttötarkoituksia palvelevissa yhteyksissä ja että ympäristökilpailun kannustusvaikutus etenee teollisiin jalostusketjuihin ja verkostoihin.

Kuvassa 20 esitetään arvioinnin eteneminen vaikutusindikaattorin tasolle teoreettisesti. Esimerkkitapauksena on käytetty vesistöjen happamoitumista. Elinkaariarvioinnin inventaariovaiheen tulokset jaetaan vaikutusarvioinnissa ensin vaikutusluokkiin. Kukin vaikutusluokka sisältää joukon inventaariokomponentteja (E<sub>j</sub>). Vaikutusluokan sisällä kukin komponentti painotetaan luokituskertoimella (W<sub>ij</sub>), jolloin saadaan muunnettu inventaariotulos (C<sub>ij</sub>). Vaikutusluokan kokonaisvaikutus saadaan summaamalla eri komponenttien muunnetut inventaariotulokset. Alaindeksi i kuvaa vaikutusluokkaa ja alaindeksi j tiettyä syöte- tai tuotoskomponenttia (Turkulainen 1998).

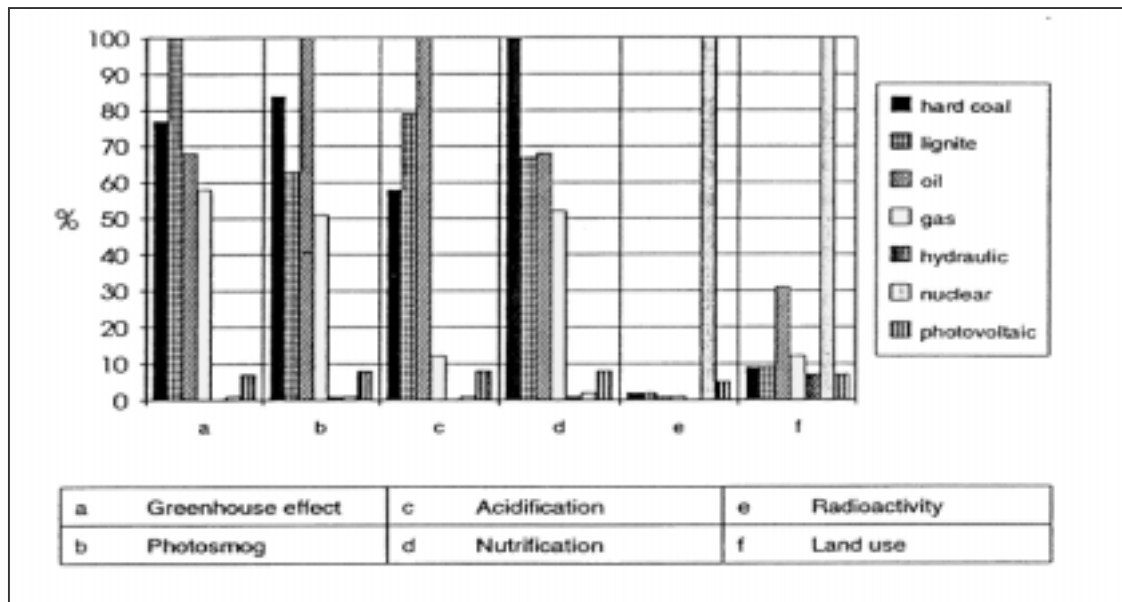
Eräs kuvaava tapa esittää yksityiskohtaisen elinkaariarvioinnin tuloksia selviää kuvasta 21, jossa on laajan sveitsiläisen LCA-tutkimuksen vaikutustason tulokset normeerattuna vaikutusluokittain tehdyssä vertailussa huonoimman päästökertoimen saaneeseen tuotantomuotoon.

## 8.2 Ympäristövaikutusindikaattorin suhteellistaminen

Yksittäiselle indikaattorille tai tietoelementille ei juurikaan muodostu merkitystä asiakkaan näkökulmasta, ellei siihen liity taustainformaatiota referenssitason tai kehitystrendin muodossa. Jotta edellä esitetyille indikaattoreille muodostuisi merkitystä tai arvoa

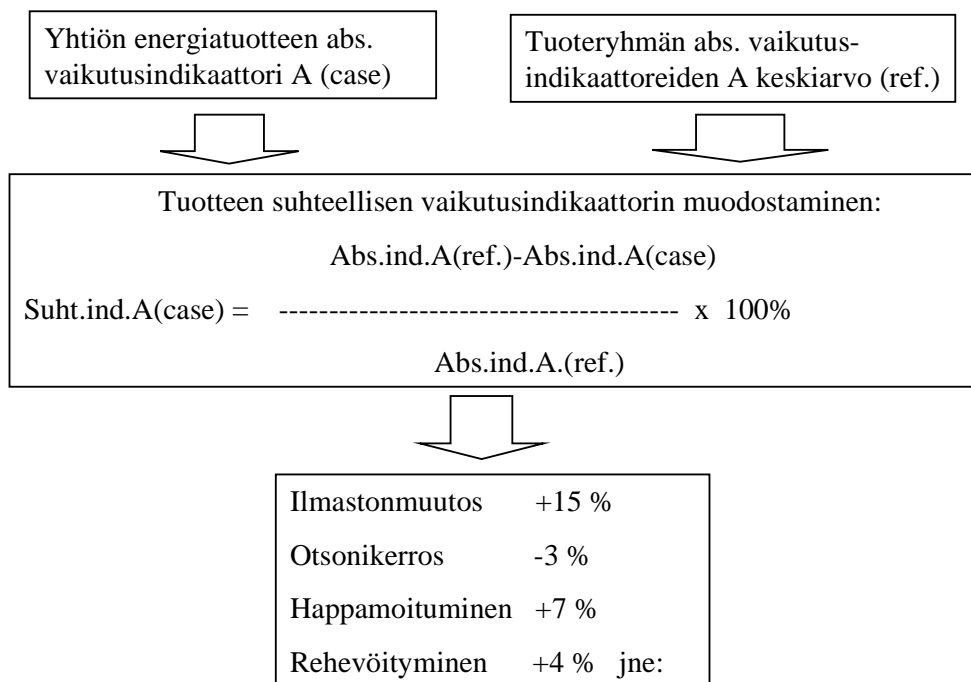


Kuva 20. Vaikutusarvioinnin vaiheiden esitys sekä teoreettisesti (vasemmalla) että esimerkitapauksessa (oikealla). Merkinnät:  $W$ =Happamoitumisen luokituskertoimen;  $C_j$ =happamoitumisindikaattori tietylle päästölle ( $j$ );  $C$ =kokonaisindikaattori happamoitumiselle (ISO/CD 14042.3)



Kuva 21. Esimerkki yhdestä mahdollisesta tavasta esittää vaikutusluokkakohtaisia suhteellisia tulosvertailuja eri polttoaineisiin perustuvista sähköntuotantomuodoista (Hirschberg 1995).

energiankäyttäjien päätöksissä, voitaisiin niitä verrata johonkin riittävän yleiseen ja ymmärrettävään taustatietoon. Referenssitasoksi olisi luontevaa valita keskimääräinen Suomessa tuotettu sähkö- ja lämpö, josta on käytettävissä tärkeimmät päästökomponeetit kattava julkinen tietoperusta. Energiatuotteen vaikutusindikaattoreiden vertaaminen suhteellisenä esimerkiksi tähän ajallisesti muutaman vuoden jäljessä päivitettyyn referenssitasoon prosentti-indikaattorina rakentaa mielikuvan tuotteen ympäristöllisestä suorituskyvystä ja viesti sen kertoman lisäarvon yhteismitattomassa muodossa asiakkaan päätöksiä varten. Mikäli asiakkaat kokisivat havainnollistetut ympäristövaikutukset tärkeiksi, voisi kysyntämuutosten seurauksena syntyä koko energiasektorin ympäristöllistä suorituskykyä markkinavetoisin keinoin parantava voimavaikutus, joka edelleen johtaisi keskiarvona käytettävien indikaattoreiden vertailutason tiukentumiseen. Tämän dynaamisen takaisinkytkentäperiaatteen avulla olisi mahdollista edesauttaa prosessia, joka johtaisi ideaalitulanteessa energiantuotannon ympäristösuorituskyvyn paranemiseen tulevaisuuden vaatimuksia vastaavalle tasolle. Kuvassa 22 on hahmoteltu yhtä vaihtoehtoista tapaa tällaisen järjestelmän muodostamiseksi.



Kuva 22. Energiatuotteen ympäristölaatua kuvaavan suhteellisen ympäristövaikutusindikaattorin mahdollinen muodostamisprosessi.

Mikäli suhteellinen vaikutusindikaattori rakennettaisiin edellä kuvatulla tavalla, voisi sen paras arvo olla +100 % eikä huonointa negatiivista arvoa ole määritelty. Yhdistämällä saadut indikaattorit esimerkiksi edellisissä luvussa kuvattuun vertailumatriisiin

tms. voidaan energiatuotteen suhteellisista ympäristöominaisuuksista viestiä tehokkaalla tavalla.

Suhteellisen vaikutusindikaattorin etuina voidaan pitää mm. seuraavia seikkoja:

- Vertailukohtana maan keskiarvo tms. - ei suoraan kilpailija
- Luo kannustimen pysyä 'keskiarvoa paremmalla puolella'
- Sopii moniulotteisten vaikutusten suhteelliseen kuvaamiseen
- Epävarmuustaso on samaa suuruusluokkaa osoittajassa ja nimittäjässä
- Melko helppo ymmärtää, jos indikaattoreita ei ole liikaa
- Joustava järjestelmä: uusia indikaattoreita voidaan lisätä
- Arvottamisongelmat ovat vähäisiä ja liittyvät lähinnä indikaattoreiden valintaan
- Ottaa huomioon pienehkötkin prosentteissa näkyvät parannukset kannustaen laajalaisen ympäristösuorituskyvyn paranemiseen, mikäli kysyntä on sen suuntainen.

Haittoina voidaan pitää mm. että:

- Valvonta on ehkä joidenkin tekijöiden kohdalla vaikeaa
- Danan ja menetelmien epävarmuudet toistaiseksi suuria
- Joidenkin indikaattoreiden rakentaminen on vasta alussa
- Tietyt erikoiskysymykset edellyttävät laskentatapojen harmonisointia.

Se, ettei luvuista voida suoraan johtaa päätöksiä, voi olla haitta tai hyöty näkökulmasta riippuen. Indikaattoreiden käyttö taustatiedon lähteenä ei kuitenkaan rajoita päätöksenteon vapausasteita mekanististen laskutoimitusten kaltaiseksi, vaan mahdollistaa eri tavoitteiden välisten "trade-off-tilanteiden" analyysin. Indikaattorit ja niiden muodostamisen taustamateriaali voidaan esittää tarvitsijoille esimerkiksi Internetin avulla, jolloin myös järjestelmän kehittäminen palautteen pohjalta olisi mahdollista.

Edellä esitetty hahmotelma on alustava ja edellyttää luonnollisesti jatkokehittelyä. Toisaalta esitetyn tyyppinen tai sen kaltainen lähestymistapa on välttämätön haluttaessa parantaa yhtäältä asiakkaiden päätöksentekoa tukevaa informaatiota ja toisaalta yritysten ympäristöllistä suorituskykyä ja siihen johtavaa teknologiakehitystä.



## 9. Johtopäätöksiä

Energiamarkkinoiden avautuminen on synnyttänyt runsaasti aktiviteetteja, joilla pyritään lisäämään energian hankinnan, tuotannon ja myynnin valmiuksia vastata eri sidosryhmien tarpeisiin sekä ohjaamaan ja tukemaan asiakkaiden energiavalintoja. Muuttunut toimintaympäristö edellyttää uusien toimintamallien kehittämistä. Esimerkkejä tästä ovat Suomen luonnonsuojeluliiton vuonna 1998 Suomessa julkaisemat ekoenergian kriteerit, Lumituuli Oy:n asiakasomisteisen tuulivoiman osakeanti, Kainuun Sähkö Oy:n aktiivinen Ekosähkö-tuotemerkin markkinointi, Imatran Voima Oy:n käyttöönottama sähkön ympäristöseloste, Helsingin Energian markkinoima hyötysähkö ja vapaaehtoinen tulevaisuuden ympäristöparannusten rahoitusjärjestelmä sekä Energia-alan keskusliitto Finergyn suositus sähkön yrityskohtaiseksi tuoteselosteeksi ja ympäristötariffiksi.

Päätöksenteon siirryttyä kasvavassa määrin markkinoille on kuluttajien rooli muuttamassa keskeiseksi. Samalla energiatuotteiden ympäristövaikutuksista on muodostumassa yksi kilpailukyvyyn ulottuvuus, mikä avaa uusia mahdollisuuksia myös markkinavetoiselle ympäristönsuojelun edistämiseksi ja kannustinten rakentamiselle koko energiantuotantojärjestelmän kattaviksi. Asiakkaiden tietoa energiayhtiöistä ja energiatuotteiden erilaisista ominaisuuksista voidaan lisätä monin toisiansa täydentävin keinoin, kuten yritysکوhtaisilla ympäristöraporteilla, ympäristöselosteilla, ympäristömerkinnöillä tai tuotteiden kattavilla elinkaariarvioinneilla. Elinkaariarviointien avulla voidaan rakentaa kestävä tietoperustaa, joka tukee sidosryhmille suunnattua ympäristöviestintää. Tätä päämäärää varten on tässä työssä vertailtu julkisia energiantuotannon elinkaariarviointoja, kartoitettu vihreän energian kriteeristöjä ja hahmoteltu elinkaariarviointien kytkeistä suhteellisten ympäristövaikutusindikaattoreiden muodostamiseen.

Eri energiamuodoista tehtyjen julkisten elinkaaritutkimusten metodologisten erojen kartoitus osoitti, että eroja on mm. allokointiperiaatteissa, tarkastellun ketjun rajauksissa sekä lähtötietojen iässä ja monissa muissa yksityiskohdissa. Nämä tutkimusten väliset eroavuudet tulisi tuntea, koska ne vaikuttavat myös lopputuloksiin. Tästä johtuen saatavilla olevien tutkimusten elinkaaritiedon käyttäminen vertailuväitteiden muodostamiseen on ongelmallista. Vertailussa mukana olleiden puu-, kivihiili- ja maakaasuvoimasta tehtyjen elinkaaritutkimusten mukaan päästöt kohdistuivat enimmäkseen energiantuotantovaiheeseen, mutta hiukkas- ja typenoksidipäästöistä suhteellisesti merkittävä osa syntyi polttoaineketjun alkupäässä. Puuvoiman ympäristökilpailukyky oli hyvä hiilidioksidi- ja rikkidioksidipäästöjen suhteen. Muiden päästökomponenttien kohdalla yleistyksiin on kuitenkin suhtauduttava varauksellisesti, koska päästökomponentit riippuvat voimakkaasti käytetyistä teknologioista ja polttoaineesta. Puuvoimasta ei ole tosin tällä hetkellä saatavilla yksityiskohtaista ja muihin polttoaineketjuihin vertailukelpoista Suomen olosuhteisiin soveltuvaa elinkaaritutkimusta. Maakaasun kombiteknologiaan

perustuva yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotanto oli vertailun mukaan tavanomaisten päästökomponenttien suhteen varsin kilpailukykyinen vaihtoehto.

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa paikallisten luonnonsuojeluliittojen toimesta käyttöön- otetussa energianlähteiden luokitteluun perustuvassa ekoenergian kriteeristöissä hyväksynnän ehto on energianlähteen uusiutuvuus. Tällä pyritään mm. parantamaan uusiutuvien energiamuotojen kilpailuasemaa. Niiden käytön lisäämistä pidetään mm. oleellisena keinona kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Tähän tähtää myös valmisteilla oleva EU:n direktiivi, jonka tarkoituksena on parantaa uusiutuvien energianlähteiden markkina-asemaa. Ekoenergian nykykriteerit eivät kuitenkaan perustu elinkaariarviointiin, mikä on toisaalta ymmärrettävissä saatavilla olevan kokonaisvaltaisen ja vertailukelpoisen tiedon puutteen vuoksi, vaan kriteerit on muodostettu Ruotsin mallin pohjalta asiantuntijaryhmissä. Tehtyjen mielipidemittausten perusteella energian ympäristömerkintää ja ympäristöasioiden viestimistä pidetään tärkeänä avoimilla energiamarkkinoilla.

Uusiutuvien energianlähteiden lisäkäyttömahdollisuudet tulee ottaa huomioon arvioitaessa ekoenergiamerkinnän tulevia vaikutuksia koko energiajärjestelmään ja sen ympäristövaikutuksiin. Uusiutuvien energianlähteiden osuus vuonna 1997 oli 22 % Suomen kokonaisenergian kulutuksesta. Uusiutuvista energiamuodoista puu- ja tuulivoiman tuotantoon liittyy kasvumahdollisuuksia, jotka vesivoiman kohdalla ovat vähäisiä. Ajan mittaan suuria mahdollisuuksia liittyy myös auringon säteilyn suoraan konversioon perustuviin tekniikoihin eli aurinkolämpöön ja aurinkosähköön, joskin näiden tekniikoiden taloudellisia sovelluskohteita on toistaiseksi kapasiteetilla mitattuna suhteellisen vähän.

Ympäristövaikutusten vähentämiseen kannustavan mekanismin tehostaminen edellyttää kaikkiiin energiatuotteisiin laajennettavan mahdollisimman vertailukelpoisen, läpinäkyvän, modulaarisen ja päivitettävissä olevan tiedon tuottamista, mikä tukee energiantuottajien ja asiakkaiden sekä muiden intressiryhmien välistä viestintää. Viestintää voidaan tehostaa esimerkiksi tässä työssä hahmotellun ympäristöindikaattorijärjestelmän avulla, johon on mahdollista kytkeä määrällisten indikaattoreiden lisäksi laadullisia tekijöitä.

Tehdyt elinkaaritutkimusten vertailut, kokemukset muista energia-alan ympäristötutkimuksista ja ympäristömerkinnästä sekä muutospaineet energia-alalla osoittavat, että tarvitaan uudenlaisia viestintätapoja. Hyvä perusta viestinnälle voidaan luoda vahvistamalla elinkaariarviointiin perustuvaa tietämystä ja kehittämällä sen pohjalta vertailuja tukeva ympäristöindikaattorijärjestelmä. Tämä vastaisi toisaalta yhtiöiden tarpeisiin viestiä ympäristösuorituskyvyn parantamishankkeistaan asiakkailleen ja toisaalta kuluttajien tarpeisiin saada luotettavaa tietoa valintojensa seurauksista. Tutkimuksessa hah-

moteltu ympäristöindikaattoreihin ja niiden suhteellistamiseen perustuva toimintamalli edistäisi päätöksiin ja valintoihin liittyvän ympäristövastuun jakautumista tasaisemmin eri osapuolille avautuneiden energiamarkkinoiden olosuhteissa.

## **10. Jatkotutkimustarpeita**

### **Kattavat elinkaariarviointitutkimukset**

Eri energiantuotantomuodoista tarvitaan kattavia, läpinäkyviä ja yhtäläisin periaattein tehtyjä elinkaariarviointeja. Yleensä julkiset energiaan liittyvät elinkaariarviointitutkimukset on tehty vain ympäristöä kuormittavien tekijöiden inventaariotasolle, mikä vaikeuttaa erilaisten energiantuotantomuotojen keskinäistä vertailua mm. suuren tietomäärän takia. Vertailukelpoisen tietämyksen vieminen vaikutustasolle on haasteellinen tehtävä.

### **Ympäristövaikutustutkimukset**

Vaikutusarvioinnin menetelmiin ja taustoihin olisi kiinnitettävä aiempaa enemmän huomiota, sillä hyvä tietopohja ja hyvät taustatiedot mahdollistavat tietyin osin suhteellisen luotettavien arvioiden teon erilaisten vertailujen pohjaksi.

Vaikutusarviointiin liittyviä indikaattoreita voidaan kehittää myös erillään tapauskohtaisista elinkaariarvioinneista. Indikaattorit voidaan kytkeä erillisinä osina tarkasteltavan kohteen elinkaariarvioinnin parametreihin.

### **Epävarmuuden arviointi ja laadun varmistus**

Tulee etsiä ratkaisumalleja elinkaaritutkimusten validoinnille ja epävarmuuden hallinnalle ja viestinnälle sekä tutkimuksiin liittyviin luottamuksellisuusasioihin, jotta tulosten luotettavuus ja sen myötä markkinoilla tarvittava uskottavuus voitaisiin taata.

### **Tutkimusten selkeät kuvaukset**

Tutkimuksista on tehtävä selkeät kuvaukset ja parannettava modulaarisuutta. Monimutkaisten analyysien viestiminen ja vertaileminen on osoittautunut vaikeaksi. Tätä ongelmaa voitaisiin lievittää liittämällä tutkimuksiin selkeät taksonomiset kuvaukset, joista käy ilmi, mitä osaprosesseja, kuormittavia tekijöitä ja vaikutustyyppisiä analyysit kattavat. Analyysijä tehtäessä tärkeimmät tuloksiin vaikuttavat dataan ja metodologioihin liittyvät valinnat ja päätökset tulisi kirjata näkyviin luottamuksen parantamiseksi. Tämä helpottaisi myös tulosten vertailua ja parantaisi niiden uskottavuutta.

## **Allokointi**

Kuormittavien tekijöiden, vaikutusten ja arvojen allokointifilosofiaa eri energiatuotteille tulisi selvittää, ja etsiä vaihtoehtoisia ajattelutapoja toistaiseksi ratkaisemattomien kohdentamisiongelmiin kiertämiseksi.

## **Ympäristöindikaattorit ja viestintä**

Elinkaaripohjaisia ympäristöindikaattoreita tulisi kehittää sekä tuottaa. Ymmärrettävää tietoa asiakkaiden ja kuluttajien päätöksentekoon vapautuneilla energiamarkkinoilla. Osa indikaattoreista voitaisiin muodostaa inventaariotason tiedoista, mutta osa, mm. paikkasidonnaisia tekijöitä sisältävät indikaattorit ja tuotantospesifiset suhteelliset ympäristövaikutusindikaattorit sekä niiden seurantarjestelmät, vaativat kehittämistä.

Olisi kehitettävä Suomen oloihin soveltuvia suhteellisia ympäristövaikutusindikaattoreita. Indikaattoreiden suhteellistaminen, esimerkiksi käyttämällä tarkasteltavan tuotteen tuotannon ympäristövaikutusten mediaanitasoa vertailukohtana, vähentäisi indikaattoreihin sisältyvää epävarmuutta ja parantaisi todennäköisesti niiden ymmärrettävyyttä myös erilaisten asiakkaiden näkökulmasta.

## **Ympäristövaikutusindikaattoreiden testaaminen**

Indikaattorijärjestelmää tulisi testata muutamalle todelliselle polttoaineketjulle ja jonkin kohdeyrityksen ja asiakasryhmän tarpeisiin. Jatkuvan parantamisen kannustinten rakentaminen koko energiajärjestelmään indikaattoreiden kautta edellyttää järjestelmän toteuttamista yhteistyössä eri osapuolten kanssa.

## **Ympäristömerkinnän, -tariffien, -tuoteselosteiden ja -indikaattoreiden toimivuuden seuranta ja kehittäminen**

Energian ympäristömerkinnän, -tuoteselosteiden ja -indikaattoreiden vaikuttavuutta asiakkaiden ja tuottajien päätöksentekoon, uusien toimintatapojen ja teknologioiden syntyyn sekä ympäristönsuojelun tasoon tulisi seurata systemaattisesti. Lisäksi näitä tulisi kehittää jatkuvasti vastaamaan eri sidosryhmien tarpeita.

## Lähdeluettelo

Allardt, E. 1983. Sosiologia 1. Werner Söderström Oy. Juva 1983. ISBN 951-0-11856-7. 277 s.

APME 1996. Life-Cycle Analysis of Recycling and Recovery of Households Plastics Waste Packaging Materials (Summary Report). Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME). 40 s.

Arbeiderbladet, 17 Mars 1998 (lehti).

Boström, S., Backman, R. & Hupa, M. 1990. Energiantuotannon ja -kulutuksen kasvi-huonekaasujen päästöt Suomessa. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, sarja D, 0358-3910; 186. 49 s. ISBN 951-47-2931-5

Brännström-Norberg, B-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C. & Tunbrant, S. 1996. Life-Cycle Assessment for Vattenfall's Electricity Generation. Summary Report. Vattenfall, Stockholm. 137 s. + 21 s. liitt.

Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A.A., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Se`guin, J.& Vigon, B. 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice. SETAC. 222 s.

EC 1995a. European Commission, Directorate General XII, Science, Research and Development, JOULE ExternE - Externalities of Energy Vol. 3: Coal and Lignite, Prepared by ETSU/UK and IER/D. European Commission DG XII, Brussels - Luxembourg 1995. EUR 16522 EN. ISBN 92-827-5212-7.

EC 1995b. European Commission, Directorate General XII, Science, Research and Development, JOULE ExternE - Externalities of Energy, European Commission DG XII, Brussels - Luxembourg 1995. Vol. 4: Oil and Gas, Prepared by ETSU/UK and IER/D. ISBN 92-827-5213-5.

EC 1995c. European Commission, Directorate General XII, Science, Research and Development, JOULE ExternE - Externalities of Energy Vol. 6: Wind & Hydro, Compiled by EEE and ENCO. European Commission DG XII, Brussels - Luxembourg 1995. EUR 16525 EN. ISBN 92-827-5215-1.

EC 1997. European Commission, White Paper for a Community Strategy on Plan COM(97)599 final (26/11/97). Communication from the Commission: Energy for the Future, Renewable Sources of Energy. [http:// europa.eu.int/en/comm/dg17/599fi\\_en.htm](http://europa.eu.int/en/comm/dg17/599fi_en.htm)

EC 1999. The ExternE project, a research project of the European Commission. Internet site. <http://externe.jrc.es>. 25.2.1999.

EEA 1998. Life Cycle Assessment (LCA). A guide to approaches, experiences and information sources. European Environment Agency, <http://www.eea.dk/Projects/EnvMaST/lca/default.htm>. May 22, 1998.

ELSAM 1999. Elsam "Produkter". <http://www.elsam.dk/Produkter/frame3.htm>. 22.1.1999.

Energia-Ekono Oy 1997. Rissanen, H., Siitonen, S., Sarin, S., Gustafsson, R., Kosonen, M. & Lappalainen, R. Polttoaineketjujen paikalliset ympäristövaikutukset, 30.5.1997. Espoo, Energia-Ekono Oy. 191 s.

Energiatilastot 1996. Tilastokeskus. Suomen virallinen tilasto. Energia 1997:1. Helsinki. ISBN 951-727-398-3.

Energiatilastot 1997. Tilastokeskus. Suomen virallinen tilasto. Energia 1998:1. Helsinki. ISBN 951-727-514-5.

EREN 1999. Green Power Network & Information Clearinghouse, Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EREN), U.S. Department of Energy (DOE). <http://www.eren.doe.gov/greenpower/> 17.1.1999.

Finergy 1998a. FINERGYn lehdistötiedote 5.2.98 klo 9.30. VTT Energia selvitti sähkön ympäristöluokittelua - Ympäristövaikutusten vertailu vaikeaa. Julkaistavissa 5.2.1998 klo 9.30. Viestintä / Pekka Tiusanen.

Finergy 1998b. Energia-alan keskusliitto ry Finergy. Energia ja ympäristö. <http://www.energia.fi/finergy>. 14.8.1998.

Finergy 1998c. Sähkön ympäristöluokittelu -tutkimus. Energia-alan keskusliitto Finergy ry. <http://www.energia.fi/finergy> 14.8.1998.

Finergy 1998d. Lehdistötiedote 25.11.1998. <http://lehdisto.energia.fi/finergy/> 24.2.1999.

Finergy 1999. Lehdistötiedote 15.2.1999. Fineryltä suositus tulevaisuuteen suuntautuvaksi ympäristömerkinnäksi. Energia-alan keskusliitto Finergy ry. Lehdistötiedote <http://lehdisto.energia.fi/finergy/>

Flyktman, M. ym. 1995. Biopolttoainetta käyttävän pienvoimalan teknistaloudellinen seuranta. VTT Energia, A. Ahlström Osakeyhtiö, Kuhmon Lämpö Oy. Loppuraportti 14.9.1995.

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R. & Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare von Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

Frischknecht, R. 1996. Ökoinventare von Energisysteme -tietokannan päivitysversio. 1996.

Gazprom 1995. Ympäristösuojeluraportti.

Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998. Environmental Assessment of Products. Vol. 2. Scientific background. London, Chapman & Hall. 565 s. ISBN 0-412-80810-2.

Heikkinen, A. & Järvinen, P. 1994. Elinkaariarviointi ja sähköntuotanto. Vantaa, Imatran voima Oy, tutkimusraportteja IVO-A-06/94. 58 s. + liitt. 3 s.

Helenius, J. 1998. Vantaan Energia. Sähköpostikommentti, 14.12.1998.

Helsingin Energia 1998. Vuosaaren voimalaitokset.  
<http://www.hke.fi/ymparisto/vuosaari.html>. 10.12.1998.

Helsingin Energia 1999. Ympäristöseloste pdf-muodossa.  
<http://www.helsinginenergia.fi/ymparisto/ymparistoseloste.html>. 24.2.1999

Helynen, S. & Nousiainen, I. 1996. Biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalit. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 26/1996. Energiaosasto. ISBN 951-739-221-4. 144 s.

Hirschberg, S. 1995. Framework for and current issues in comprehensive comparative assessment of electricity generating systems. Paul Scherrer Institute, Villigen Switzerland 1995. Conference paper: Electricity, Health and the Environment: Comparative Assessment in Support of Decision Making. Proceedings of an International Symposium, Vienna, 16-19 October 1995.

Hongisto, M., Heikkinen, A., Soimakallio, H. & Järvinen, P. 1998. Sähköntuotantovaihtoehtojen ulkoiset ympäristökustannukset päätöksenteon apuna. Imatran voima Oy,



Tutkimusraportti nro 4. FINERGY Energia-alan keskusliitto ry. ISBN 952-440-003-0. Helsinki 1998. (internet-versio: <http://www.ivo.fi/fin/sivut/6/61/tutkimu/etusivu1.htm>).

HS 5.5.1998, Helsingin Sanomat sivu B5.

ISO 14001, SFS-EN. Environmental management systems. Specification with guidance for use. Ympäristöjärjestelmät. Spesifikaatio ja ohjeita sen käyttämiseksi. 1996. 38 s.

ISO 14040, SFS-EN. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. 1997. 23 s.

ISO 14041, SFS-EN. Environmental management. Life cycle assessment. Goal and scope definition and inventory analysis. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely sekä inventaarioanalyysi. 1998. 40 s.

ISO/CD 14042.3. 1997. Environmental Management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment. Committee draft. International Organization for Standardization. 28 s.

ISO/DIS 14042. Environmental management. Life cycle assessment. Life cycle impact assessment. 1998. 14 s.

IVO Partnerit 1999. Sähkö ja Lämpö –lehti: IVO Partnerit tuotteistavat sähköään: kotisähköstä ja yrityssähköstä ensimmäiset palvelupaketit. <http://www.ivogroup.com/fin/sivut/4/koti/lehti/sivu5.htm> 24.2.1999.

Jokinen, J. 1998. Neste Advanced Power Systems (NAPS). Henkilökohtainen tiedonanto 18.12.1998.

Järvinen, P. 1999. Tiedonanto. Fortum Oyj / Imatran Voima Oy. 12.2.1999.

Kainuun Sähkö 1998a. Ekosähkö. <http://www.kasoy.fi/ekosahko/ekosahko.htm>. May 06, 1998. Kainuun Sähkö Oyj.

Kainuun Sähkö 1998b. Kainuun Sähkö korvaa tukkusähköä Graningen vesisähköllä, Vihreän sähkön osuus 40 prosenttiin kokonaishankinnasta. Lehdistö tiedote 13.5.1998. [http://www.kasoy.fi/uutiset/980513\\_1.htm](http://www.kasoy.fi/uutiset/980513_1.htm). 13.5.1998. Kainuun Sähkö Oyj.

Kainuun Sähkö 1998c. Suomeen syntymässä vihreän sähkön markkinat. Kainuun Sähkö Oyj, Lehdistö tiedote Kestävä Suomi 98 -messuilla 26. - 29.3.1998.  
[http://www.kasoy.fi/uutiset/980423\\_1.htm](http://www.kasoy.fi/uutiset/980423_1.htm). 23. 4.1998.

Kainuun Sähkö 1998d. Lisätietoa Kainuun sähkön ekosähköstä ja ekosähkösopimuksesta: <http://www.kasoy.fi/ekosahko/lisatiedot.htm>. 24.2.1999.

Kaiserås Bakkene, K. 1994. Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas, Tapir Publishers.

Kemijoki Oy 1998. Tuulienergiapotentiaali Suomessa. <http://www.kemijoki.fi/>. 21.12.1998.

Kiljunen, P. 1988. Sähkön ympäristöluokittelu. Ympäristön, kuluttajien vai sähköyhtiöiden voitoksi? Tutkimus kansalaismielipiteestä 1989. Yhdyskuntatutkimus Oy. Energia-alan keskusliitto ry. Finergy. Tutkimusraportti nro 6. Helsinki 1989. ISBN 952-440-005-7. 120 s.

KTM. 1999. Ympäristömerkityn sähkön markkinointisäännöt. Työryhmän muistio. ISBN 951-739-432-2. 68 s.

Lemettinen, L., Virtanen, Y. & Junttila, V. 1995. Energiajärjestelmien elinkaaritietojen laatu arviointi, "Ökoinventare für Energisysteme" -tietokanta. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Tiedotteita 1681. 34 s.

Lindfors, L.-K., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Junttila, V., Hanssen, O.-J., Rønning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995. Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment. Copenhagen, Nordic Council of Ministers, Nord 1995:20. 222 s. ISBN 92 9120 692 X. ISSN 0903-7004.

Lumituuli 1999. Lumituuli Oy:n kotisivu: <http://www.lumituuli.fi/>. 24.2.1999.

Miljöstiftelsen Elvira 1999. Instiftad av Vattenfall. <Http://www.elvira.se/>. 24.2.1999.

Nieuwlaar, E. & Alsema, E. 1997. Environmental Aspects of PV Power Systems, Report no. 97072, December 1997. Utrecht University, Department of Science, Technology and Society, Padualaan 14, 3584 CH Utrecht, The Netherlands.  
<http://www.chem.uu.nl/nws/www/nws.html>.

OTA 1994. U.S. Congress, Office of Technology Assessment. Studies of the Environmental Costs of Electricity. OTA-ETI-134 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, September 1994).

Ott, W. & Koch, P. 1996. Externe kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen. Teilbericht 6 des projektes 'Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz', PACER, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, bestellnummer 724.270.6d. 54 s.

Otterström, T., Gynther, L. & Vesa, P. 1998. Halukkuus maksaa puhtaammasta ilmanlaadusta (SIHTI2 -energia- ja ympäristöteknologian tutkimusohjelma, työ 130T). Energia-Ekono Oy. Espoo.

Pingoud, K., Mälkki, H., Wihersaari, M., Hongisto, M., Siitonen, S., Lehtilä, A., Johansson, M., Pirilä, P. & Otterström, T. 1999. ExternE National Implementation Finland, EC publication nr EUR 18278, VTT Publications 381, (saatavilla myös VTT:n Internet-sivun kautta: <http://www.vtt.fi/inf/uutuusluettelo/>).

Pirilä, P., Ranne, A., Järvinen, P. & Luoma, P. 1997. Sähkölle ympäristöluokittelu? Ympäristöluokittelun perusteita. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1878. 71 s.

Pirilä, P. & Ranne, A. 1998. Sähkön ympäristömerkintä. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1905. 72 s.

Puolamaa, M., Kaplas, M. & Reinikainen, T. 1996. Index of Environmental Friendliness – A Methodological Study. (A Methodological Study on the Aggregation of Problem of Specific Pressure Data of the Production Phase, Valuation on Environmental Concerns and Formation of the Index of Environmental Friendliness – A Case Study on Manufacturing and Related Industries. Statistics Finland, Environment 1996:13. ISBN 951-727-272-3.

SEDA 1997. Green Power Accreditation Program. Version 1.0a. Sustainable Energy Development Authority (SEDA), <http://www.eren.doe.gov/greenpower/international/accreditation/execsumm.html>. 19.2.1997.

SFS 1998a. Suomen Standardisoimisliitto ry. OtaEco 1998. Hannu Mattila, suullinen tiedonanto.

SFS 1998b. Suomen Standardisoimisliitto ry:n tiedote 1998-06-30.  
<http://www.sfs.fi/ymparist/index.html>

SLL 1998a. Suomen luonnonsuojeluliiton esite: vastuullisen tuottajan ja kuluttajan valinta: Suomen luonnonsuojeluliitto suosittelee ekoenergiaa.

SLL 1998b. Suomen luonnonsuojeluliiton muistio. Ekoenergian merkintäjärjestelmä, kriteerit hyväksytty 12.3.1998. (Taustamuistio, joka sisältää keskustelua tulevista ehdoista ja suosituksista).

SLL 1998c. Suomen luonnonsuojeluliitto r.y. Sähkön tuotannon ympäristökriteerit, muistio 12.6.1998. (SLL:n virallinen kriteeristö).

SLL 1998d. Suomen luonnonsuojeluliitto r.y. Kriteerit ekoenergialle 1. Kooste kriteerien laatimisesta, kuluttajaselvityksestä sekä energiayhtiökyselyistä. Vastuullisen kulutuksen projekti. Elokuu 1998. 61 s. + liitteet 22 s. (<http://forest.sll.fi/energia/index.html>).

SLL 1998e. Suomen luonnonsuojeluliitto r.y. Lämmön tuotannon ympäristökriteerit, muistio 12.6.1998. (SLL:n virallinen kriteeristö).

SLL 1998f. Suomen luonnonsuojeluliitto r.y. Sopimuspaperit 12.6.1998. Lisenssit – Norppa suosittelee ekoenergiaa /sähkötoimituksille, /sähkön jakeluyritykselle, /sähkön loppukäyttäjäyritykselle, /lämpöpalveluille.

SLL 1998g. Suomen luonnonsuojeluliitto r.y. Tiedote 27.5.1998. Norppa suosittelee ekoenergiaa, Kulmanen, M. & Tepponen, S. 4 s.

SLL 1999. Suomen luonnonsuojeluliiton ekoenergiահankkeen kotisivu.  
<http://forest.sll.fi/energia/index.html> (volyymi selviää tiedostosta:  
<http://forest.sll.fi/energia/myynti.html>).

SNF 1995. Environmental Criteria for Electricity. Sveriges Naturskyddsföreningen. Muistio 10 s.

SNF 1999a. Sveriges Naturskyddsföreningen. Tilannekatsaus Bra Miljöval -järjestelmään liittyneistä sähköyhtiöistä. (Lista päivitetty 15.12.98 / Caroline Hopkins/SNF [http://www.snf.se/hmv/bmv\\_el.htm](http://www.snf.se/hmv/bmv_el.htm)).

SNF 1999b. SNF:n lehditötiedote: <http://snf.se:8080/>.

Spangenberg, J., Femia, A., Hinterberger, F. & Schütz, H. 1997. Material Flow Based Indicators in Environmental Reporting – A Report for the EEA's Expert's Corner. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, October 1997. 69 s.

Suhonen, P. 1988. Suomalaisten arvot ja politiikka. WSOY, Juva. ISBN 951-0-15280-3. 196 s.

Tekniikan sanastokeskus 1988. Ympäristösanasto. Ympäristöalan keskeiset käsitteet ja termit. TSK 27 Gummerus. Jyväskylä. ISBN 951-20-5288-1.

Tepponen, S. 1998. Lehtihaastattelu. Taloussanomat, 26. maaliskuuta 1998.

T&T 1999. Jukka Lukkari. Kainuun sähkö omi ekosähkön. Tekniikka ja Talous (lehti), 14.1.1999, s. 6.

Turkulainen, T. 1998. Tuulivoimalan elinkaariarviointi. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto. 72 s. + liitt. 8 s.

Udo de Haes, H.A. 1996. Discussion of general principles and guidelines for practical use. In: Udo de Haes, H.A. (ed.): Towards a methodology for life cycle impact assessment. Society of Environmental Toxicology and Chemistry - Europe. S. 7 - 30.

Vehmas, J., Malaska, P., Luukkanen, J. & Kaivo-oja, J. 1997. Ympäristöpoliittiset ohjauskeinot uusiutuvien energialähteiden käytön edistämiseksi. Suomen ympäristö 148. Ympäristöministeriö, Ympäristöpolitiikan osasto. Lokakuu 1997, ISBN 952-11-0171-7. 66 s.

Virtanen, Y., Miettinen, P. & Junttila, V. (toim.) 1995. Energy issues in Life Cycle Assessment. Helsinki, COMETT II UETP-EEE, The Finnish Association of Graduate Engineers TEK, Technical Research Centre of Finland VTT. 210 s.

VTT Energia 1997. Resource Assessments.  
<http://www.vtt.fi/ene/enesys/AWP/assess.html>. 10.11.1997.

Ympäristöministeriö 1998. Vihreä sähkö ja yhteistoimeenpano uusia työkaluja ilmasto-  
muutoksen torjunnassa. Ympäristöministeriö tiedottaa.  
<http://www.vyh.fi/ajankoht/tiedote/ym/tied98/ym3998.htm>. 27.3.1998.

Ympäristötietous 1998. Ympäristötietous, www-sivut.  
<http://www.kolumbus.fi/astran/ymparistotietous/sanasto/sanasto.htm>. 19.8.1998.

# Liite A: Finergyn suositus sähkön tuoteselosteeksi

## Finergyn suositus sähkön tuoteselosteeksi



**S**ähkön tuoteselosteessa lasketaan tiedot kolmen vuoden keskiarvona.

### Räikkö tuotanto ja muu tuotanto

<input type="checkbox"/> Vesivoima	GWh
<input type="checkbox"/> Ydinvoima	GWh
<input type="checkbox"/> Muu tuulivoimantuotanto	GWh
<input type="checkbox"/> Yhteistuotanto	GWh
<input type="checkbox"/> Muu tuotanto	GWh

### Lämmön tuotanto

<input type="checkbox"/> Lämmön eristystuotanto	GWh
<input type="checkbox"/> Yhteistuotanto	GWh

### Polttoainteen käyttö

	Sähkö	Lämpö
<input type="checkbox"/> Öljykäyttö	%	%
<input type="checkbox"/> Maakaasu	%	%
<input type="checkbox"/> Ydinvoima	%	%
<input type="checkbox"/> Kivihiili	%	%
<input type="checkbox"/> Turve	%	%
<input type="checkbox"/> Öljy	%	%
<input type="checkbox"/> Muut	%	%

Energia-olan Keskusliitto ry Finergy  
 Eteläranta 10, PL 21, 00131 Helsinki  
 Puh. 09 686 161, fax 09 6861 830  
 e-mail: info@finergy.fi  
 Kotisivu: <http://www.energia.fi/finergy>

### Päästöt ilmaan

		Oma sähkötuotanto	Kokonaistuotanto
<input type="checkbox"/> Hiilidioksidit	t	mg/kWh	mg/kWh
<input type="checkbox"/> Hiilidioksidit	m <sup>3</sup> /t	g/kWh	g/kWh
<input type="checkbox"/> Typpioksidit	t	mg/kWh	mg/kWh
<input type="checkbox"/> Hiukkaset	t	mg/kWh	mg/kWh
<input type="checkbox"/> Jätkävesi	TGq	Bq/kWh	Bq/kWh
<input type="checkbox"/> Jätkä	TGq	Bq/kWh	Bq/kWh
<input type="checkbox"/> H <sub>2</sub> S 14	TGq	Bq/kWh	Bq/kWh

### Veden käyttö ja päästöt veteen

		Oma sähkötuotanto	Kokonaistuotanto
<input type="checkbox"/> Jäähdytysohjelmien käyttö	M <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /kWh	m <sup>3</sup> /kWh
<input type="checkbox"/> Lämpöeristys	T <sub>j</sub>	kJ/kWh	kJ/kWh
<input type="checkbox"/> Fosfori	kg	mg/kWh	mg/kWh
<input type="checkbox"/> Typpi	kg	mg/kWh	mg/kWh
<input type="checkbox"/> Klooraattori	kg	mg/kWh	mg/kWh
<input type="checkbox"/> Öljy	kg	mg/kWh	mg/kWh
<input type="checkbox"/> Trioksimi	TGq	Bq/kWh	Bq/kWh
<input type="checkbox"/> Fkio- ja klooriväestimet	TGq	Bq/kWh	Bq/kWh

### Jätteet ja eristykset

	Määrä	Häviö käytön osana	Oma tuotanto	Kokonaistuotanto
<input type="checkbox"/> Lentotulot	t	%	g/kWh	g/kWh
<input type="checkbox"/> Polttoainet	t	%	g/kWh	g/kWh
<input type="checkbox"/> Kivihiili	t	%	g/kWh	g/kWh
<input type="checkbox"/> Muu raskasmetallien päästö	t	%	g/kWh	g/kWh

### Radikaalimmat jätteet

<input type="checkbox"/> Käytetty polttoainet	t	g/kWh	g/kWh
<input type="checkbox"/> Vähä- ja keski-aktiiviset jätteet	m <sup>3</sup>	g/kWh	g/kWh



## Energia-alan toimialajärjestö

Energia-alan Keskusliitto ry Finergy on sähkön ja lämmön tuotantoa sekä harkintaa, siirtoa, myyntiä ja verkonrakennusta harjoittavien yritysten, jäsenyhdistysten sekä näihin verrattavien yhteisöjen toimialajärjestö. Finergy perustettiin 31.5.1996 ja liiton käytännön toiminta alkoi vuoden 1997 alussa.

## Finergyn ympäristölinjaukset

Finergyn rooliin kuuluu yritysten ympäristöasioiden hyvän hoidon edistäminen ja valmiuksien parantaminen. Kannustamme jäsenyrityksiä kestävästä kehityksestä huomiota ottamiseen. Useimmat energiayritykset ovat jo sitoutuneet ympäristönsuojelutoimissaan parhaan käyttökelpoisen tekniikan -periaatteeseen. Suosittelemme tämän periaatteen noudattamista, jotta energia-alan ympäristönsuojelun korkea taso voidaan säilyttää myös tulevaisuudessa.

Luonnonvarojen tehokas käyttö ja siihen liittyvä energiansäästö on energiayritysten arkipäivää. Finergy tukee energiansäästöön tähtäviä toimia ja kannustaa jäsenistöään energiansäästöön. Vuosina 1992 ja 1997 toteutetun kaltaiset vapaaehtoiset sopimukset ovat joustavia energiansäästöä toteuttamiskeinoja.

Savukaasupäästöjen vähentämiseksi Suomen energia-alan yritykset toteuttavat sekä kotimaassa että kansainvälisesti yhteishankkeita, joissa päästöjen vähentäminen voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti. Tavoitteena on, että myös tulevaisuudessa Suomen energiantuotannon ominaispäästöt pysyvät EU:n ominaispäästötason alapuolella. Finergy painottaa vapaaehtoisten toimien ja kansainvälisen yhteistyön merkitystä.

Finergy seuraa, tilastoi ja kertoo sidosryhmille energiantuotannon päästöistä.

Ydinvoima on ollut ja on edelleen energia-alan ympäristönsuojeluun myönteisesti vaikuttava tekijä, erityisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Finergy edistää ydinvoiman ympäristömyönteisyyden tunnetuksi tekemistä.

Kannustamme jäsenyrityksiämme maiseman- ja luonnonnsuojelun huomiota ottamiseen voimantuotannon ja -siirron rakennushankkeissa.

Suomen energiateollisuus on uusiutuvien energialähteiden - vesivoiman, biomassan ja tuulienergian - käytössä selvästi edellä EU:n tavoitteita. Pidämme tärkeänä, että Suomessa harjoitetaan riittävästi uusiutuvien energiamuotojen tutkimus- ja tuotekehitystyötä ja siten lisätään valmiuksiamme ottaa niitä kaupalliseen käyttöön.

Energiantuottajat pyrkivät tutkimuksen, tuotekehityksen sekä kansainvälisen yhteistyön avulla löytämään voimantuotannon sivutuotteille uusia hyötykäyttökohteita. Edistämme omalta osaltamme hyötykäyttöä kartoittamalla hyötykäytön määriä ja kohteita sekä välittämällä hyötykäyttöön liittyvää informaatiota.

Ympäristökoulutus on myös jatkossa tärkeä osa sekä Finergyn että energiayhtiöiden henkilöstön koulutusohjelmaa. Järjestämme energia-alan ympäristöasioihin liittyvää koulutusta.

Finergy ennakoii tulevia ympäristöuhkia ja hankkii niistä tutkimustietoa jäsenistön käyttöön. Teetämme tutkimuksia ja selvityksiä sekä koordinoimme alan yhteisiä tutkimushankkeita.

Kerramme energiantuotannon ympäristöasioista avoimesti, monipuolisesti ja eri kohderyhmille erilaisin viestintäkeinoin.

# Liite B: Suomen luonnonsuojeluliiton sähköntuotannon ympäristökriteerit

Suomen luonnonsuojeluliitto r.y.

12.6.1998

## Taustaa

Sähkön ympäristökriteerit ovat yhteiset Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Pienet poikkeukset Suomen ja Ruotsissa ja Norjassa hyväksytyjen kriteerien välillä, joita maakohtaiset eroavaisuudet aiheuttavat, on tässä erikseen mainittu. Kun sähköyhtiöt liikkuvat maasta toiseen, kehottavat Ruotsin, Suomen ja Norjan luonnonsuojeluliitot kääntymään kunkin maan oman luonnonsuojeluliiton puoleen merkin hakemisessa.

## Yleistä

Maailman energiajärjestelmä on strateginen esimerkki siitä, miten ekologisesti kestävä teollisesta yhteiskunnasta on tullut. Vaikka aurinkoenergiaa on runsaasti saatavilla, yli neljä viidesosaa maailmassa tuotetusta energiasta on peräisin uusiutumattomista energianlähteistä.

Fossiilisten polttoaineiden ja ydinenergian käyttö on uhka ympäristölle. Maaperästä kaivettuja sekä energiantuotantolaitoksissa syntyviä aineita kertyy ekosfääriin yhä suurempia määriä.

Jotta voimme säilyttää hyvinvoinnin pitkällä aikavälillä, on maailman energiajärjestelmiä muutettava ratkaisevasti. Energiankäyttöä on tehostettava huomattavasti ja käytetty energia on tuotettava uusiutuvista energianlähteistä. Tämän tavoitteen onnistumisen tekniset ja taloudelliset edellytykset ovat käyneet yhä paremmiksi, ja Pohjoismailla on tavoitteeseen pääsemiseksi muita maita monin tavoin paremmat mahdollisuudet.

Suomen sähköjärjestelmässä lähes viidennes sähkösaannista on peräisin vesivoimasta. Sähkönsä uusiutuvista energian lähteistä haluava voi tällä hetkellä ostaa vesivoiman lisäksi myös tuulivoimaa tai puuvoimaa, jota tuotetaan kuntien tai teollisuuden sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa.

Mikäli fossiilisia polttoaineita käyttävien laitosten ja ydinvoimaloiden tuottaman sähkön kysyntä pienenee, nämä usein vanhentuneet laitokset poistetaan nopeammin käytöstä. Niiden asemesta sähköä tuotetaan tuulta, biomassaa ja pitkällä tähtäyksellä suoraa aurinkoenergiaa käyttäen, mikäli yritykset ja yksittäiset kuluttajataloudet näitä kysyvät.



Kaikki välittömän tai välillisen aurinkoenergian käyttö ei kuitenkaan ole ekologisesti kestävä. Uusiutuviakin energianlähteitä saatetaan hyödyntää ihmisiä vahingoittavalla ja luontoa peruuttamattomasti tuhoavalla tekniikalla tai menetelmällä.

## **1. Vesivoima**

Vesivoimaloiden pystyttäminen tuo mukanaan patojen rakentamista sekä vedenvirtauksen säännöstelyä. Tämä aiheuttaa perinpohjaisia muutoksia hyväksikäytetyn vesistön ja ympäristön kasvi- ja eläinlajien elinehtoihin. 1900-luvun mittaan tapahtunut koskien asteittainen valjastaminen on johtanut useiden lajien syrjäytymiseen sekä lajistoissa esiintyvien muunnosten harvenemiseen (esim. lohikalat Ruotsissa). Tällä hetkellä Suomessa jäljellä olevat suuret vapaat joet on lailla suojeltu. Ruotsissa ja Norjassa käyttöä ohjaa oma lainsäädäntö.

Jo rakennettujen vesivoimaloiden ja patojen purkaminen ei ole luonnonsuojelujärjestöjen mielestä järkevää, vaikka osa luonnonarvoista voitaisiinkin saada takaisin. Joka tapauksessa jäljelle jää peruuttamattomia hyväksikäytön yhteydessä syntyneitä vaurioita. Olemassa olevia voimaloita on hyödynnettävä tehokkaasti ja jäljellä olevia valjastamattomia vesistöjä suojeltava.

Uusien vesistöjen hyväksikäyttö ei ole hyväksyttävää. Luonnonsuojelujärjestöt ovat asettaneet rajapyykiksi vuoden 1995, jolloin Bra miljöval -merkki sähkölle otettiin käyttöön Ruotsissa. Vuoden 1995 jälkeen syntyneiden patoamisten tai muiden toimenpiteiden perusteella pystytetyistä voimalaitoksista peräisin olevaa sähköä ei hyväksytä ympäristömerkittyjen toimitusten joukkoon.

### **1.1 Vesivoimaloiden tehon nostaminen**

Olemassaolevien vesivoimaloiden tai patojen nykyaikaistaminen ja tehojen nostaminen on toisinaan järkevää. Samalla joitakin luonnonarvoja voidaan palauttaa. Jotta tällaisista uusituista voimaloista tuleva sähkö voidaan ympäristömerkitä, vaaditaan kuitenkin, etteivät korjaukset aiheuta uusia peruuttamattomia ekologisia vaurioita.

Myös olemassa olevissa voimaloissa on käytettävä nykypäivän parhaita menetelmiä. Kun ympäristömerkittävä sähkö on peräisin voimalasta, jossa on tehty tehonnostotoimenpiteitä, niin yhtiöiden on osoitettava tuotanto- ja jakeluketjun kaikissa vaiheissa, että tehonnostot on suoritettu vesilainsäädännön edellyttämällä tavalla.

## **2. Biopolttoaineilla tuotettu sähkö**

Myös biopolttoaineita saatetaan hyödyntää kestävän kehityksen vastaisella tavalla. Liisäntynyt biomassan käyttö saattaa johtaa yhä suuremman metsäosuuden entistä voimaperäisempään hyväksikäyttöön siten, että biologinen monimuotoisuus vähenee. Erittäin tehokkaasti hyödynnetyllä maaperällä biopolttoaineen korjuu ei voi tapahtua kestävän kehityksen mukaisesti, mikäli osaa polttoaineen mukana ekosysteemeistä pois kulkeutuvista ravinteista ei palauteta kiertokulkuun.

### **2.1 Metsätalous**

Tällä hetkellä valtaosa metsästä saatavista polttoaineista kootaan metsäteollisuuden prosessien eri vaiheissa, joissa päätavoitteena ovat muut, kannattavammat tuotteet. Metsästä saatavien polttoaineiden määriin ja hintoihin nähden polttoaineiden talteenotto ei normaalitapauksessa ohjaa hakkuiden sijaintia eikä ajankohtaa kuten ei metsätalouden harjoittamistapaakaan. Tähän saattaa tulla muutos mikäli metsästä saatavien polttoaineiden hinnat nousevat niin, että bioenergiasta tulee metsätalouden yksi päätuotteista. Ruotsissa on useita esimerkkejä siitä, että biopolttoaineiden korjuu on koitunut arvokkaiden lajien vahingoksi.

Luonnonsuojeluliitot seuraavat sitä, syntyykö biopolttoaineiden korjuun ja biologisen monimuotoisuuden vaalimistavoitteen välille ristiriitoja. Tuleviin sähköä koskeviin kriteereihin sisältyykin metsätaloudelle ja metsänhoidolle asetettuja vaatimuksia.

### **2.2 Tuhkan palauttaminen**

Jotta biopolttoaineita käyttävä sähkön tuotantolaitos voisi toimia ympäristömerkityn sähkön tuottajana, on Ruotsin luonnonsuojeluliitto asettanut vaatimuksen, että laitoksen on kuuluttava järjestelmään, jonka puitteissa tuhkan ravintoaineet palautetaan biopolttoaineen kasvupaikalle. Palautuksen tulee olla sen suuruinen, että se kohtuullisessa määrin korvaa talteenotetun määrän; tuhka on myös palautettava hitaasti liukenevassa muodossa.

Etenkin kadmiumin saastuttamalla maaperällä olevista energiametsäviljelmistä saatava biopolttoaine saattaa tuottaa niin korkeita metallipitoisuuksia sisältävää tuhkaa, että sitä, sen ravintoarvosta huolimatta, ei pidä levittää, ei ainakaan puhdistamattomana. Ruotsissa odotetaan Valtion luonnonsuojeluviraston määräyksiä levittämiskelpoisen tuhkan enimmäispitoisuuksista. Mainitusta syystä levityskiellossa olevaa tuhkaa tuottaneista laitoksista saatava sähkö täyttää silti ympäristömerkinnän kriteerit.

Suomen luonnonsuojeluliitto ei tällä hetkellä aseta erityisiä ehtoja tuhkan palauttamisesta. Liitto odottaa viranomaisten määräyksiä asiasta. Liitto suosittelee tuhkan palauttamiseen tähtävien ohjelmien laatimista, koska seuraavan polven kriteereissä asiasta saatetaan esittää vaatimuksia. Tuhkan tulee tällöin täyttää päästörajoille asetettavat vaatimukset. Ongelmia voivat aiheuttaa monipolttoainekattilat.

### **2.3 Ilmansaasteet**

Ruotsissa olemassaolevista tai mahdollisista tulevista uusiutuvia energianlähteitä polttoaineena käyttävistä sähkön tuotantolaitoksista nimenomaan biopolttoainekäyttöiset voimalaitokset saattavat aiheuttaa huomattavia ilmansaasteita. Biopolttoaineiden avulla sähköä tuottavat kaupalliset laitokset ovat niin suuria Ruotsissa, että niiden päästöjä valvotaan lailla. Olemassaolevat biopolttoaineista sähköä tuottavat laitokset ovat sen verran uusia, että niitä koskevia nykyaikaisia ja tiukkoja toimilupavaatimuksia on jo olemassa. Siksi Ruotsin luonnonsuojeluliitto ei aseta mitään päästöjä koskevia kriteereitä sen lisäksi, että näiden lupien ehdot on täytettävä.

Vastaavasti Suomen luonnonsuojeluliitto edellyttää ainoastaan, että biopolttoaineita käyttävissä laitoksissa noudatetaan Suomessa säädettyjä päästörajoja.

### **3. Turve**

Turve sijoittuu biopolttoaineiden ja fossiilisten polttoaineiden välimaastoon. Tietystä näkökulmasta katsottuna turpeen ekologisesti kestävä korjuu näyttää mahdolliselta, koska turvesoiden yhteenlaskettu kasvu ylittää tällä hetkellä nykyisen turpeennoston määrän. Toisaalta turvesoiden kasvu näyttää olevan luonnolle erinomainen keino varastoida mm. hiilidioksidia ja raskasmetalleja.

Turpeen palaminen tuottaa näin ollen ongelmia siihen kertyneiden haitallisten aineiden vapautuessa. Lisäksi turpeennoston köyhdyttävää vaikutusta biologiseen monimuotoisuuteen on mahdotonta hyväksyä. Tuhkan palauttaminen viljelymaille ei ole turpeen tapauksessa sopivaa. Turpeen polttamisella tapahtuva sähkön tuotanto ei täytä Suomen, Ruotsin ja Norjan luonnonsuojeluliittojen ympäristömerkin saamiselle asetettuja vaatimuksia.

### **4. Jätteenpoltt**

Se, mitä yleensä sanotaan jätteeksi, on sekoitus eri aineita. Niiden joukossa voi olla niin eloperäistä kuin myös fossiilista alkuperää olevaa ainesta. Tällaisten jätteiden polttamisella aikaansaatu sähkön tuotanto ei ole Suomen, Ruotsin ja Norjan luonnonsuojeluliittojen ympäristömerkin kriteerien mukaista.

## **5. Jätteestä biopolttoainetta**

On olemassa jätettä, joka kokonaan tai hyvin suurelta osin koostuu biomassasta ja joka voidaan katsoa biopolttoaineeksi. Toiset ovat vaikeasti luokiteltavissa. Jotta jäte voitaisiin luokitella biopolttoaineeksi, tulee sen koostua yli 90-prosenttisesti biomassasta eikä tuhkassa saa olla sellaisia aineita, jotka osoittavat poltetun aineksen olleen muuta kuin puhdasta biopolttoainetta.

## **6. Tuulivoima ja ympäristöstä huolehtiminen**

Tuulivoimalaitokset vaikuttavat maisemaan, joten ne on sijoitettava huolellisesti. Niiden sijoittamisesta määrätään viranomaisten toimesta erilaisin laein ja ohjeistoin. Yleisiä sijoittamisperiaatteita on vaikea laatia. Huonoon paikkaan sijoitettu tuulivoimala voidaan siirtää useissa tapauksissa kohtuullisin kuluin. Tätä taustaa vasten Suomen luonnonsuojeluliitto kuten sisarjärjestönsäkään ei ole katsonut aiheelliseksi asettaa näiden kriteereiden puitteissa vaatimuksia siitä, minne ja miten tuulivoimaloita saisi pystyttää. Vuoden 2000 jälkeen laajemmassa mittakaavassa tapahtuva tuulivoimaloiden pystyttäminen saattaa tehdä tällaisten vaatimusten asettamisen hyvinkin perustelluksi.

## **7. Aurinkosähkölle asetettavat kriteerit**

Aurinkosähkön tuotannon ja tarvittavien laitteiden teknisten ongelmien uskotaan helpottuvan käyttökokemuksen myötä.

Auringolla tuotetulle verkkosähkölle voi hakea Suomessa "Norppa suosittelee ekoenergiaa" -merkkiä. Myös pienimuotoisten aurinkojärjestelmien aurinkosähköpalvelulle voi hakea tätä merkkiä; tässä Suomen käytäntö siis poikkeaa Ruotsin ja Norjan käytännöstä.

Suomen luonnonsuojeluliitto edellyttää, että pienimuotoisten aurinkosähköpalvelujen toimitussopimukseen liittyy velvoitteita laitetakuista ja laitteiden huollosta.

## **ARVIOINTIONGELMIA**

### **1. Useiden polttoaineiden yhteiskäyttö**

Suomen luonnonsuojeluliiton ympäristömerkki koskee biomassan osuutta monipolttoainekattiloissa. Tämä osuus on todennettava esimerkiksi maksettavien energiaverojen mukaisesti (valtiovarainministeriön palauttama sähkövero / kWh).

Sitävastoin Ruotsissa, johtuen energiaverotusjärjestelmästä, paikallinen luonnonsuojeluliitto edellyttää, että käytettäessä lämpövoimalaa biopolttoaineiden ja fossiilisten

polttoaineiden sekoituksella, fossiilinen polttoaine on kokonaisuudessaan pantava sähkön tuottamiseen tiliin, mutta vain jos toiminta ilmoitetaan veroviranomaisille juuri näin. Mikäli biopolttoaineiden kanssa poltetaan samanaikaisesti öljyä ja hiiltä siten, että polttoaineista syntyneet tuhkat sekoittuvat keskenään, biopolttoaineesta peräisin olevaa tuhkaa ei voida levittää ilman, että muista polttoaineista lähtevät raskasmetallit ja muut aineet joutuvat ympäristöön. Tämän takia biopolttoaineiden ja hiilen, öljyn, turpeen tai jätteiden samanaikaisella polttamisella ei voida täyttää vaatimusta biopolttoainetuhkan ravinteiden palauttamisesta viljelysmaahan. Biopolttoainetta ja fossiilista kaasua samanaikaisesti lämpövoimalassa poltettaessa ainoana rajoittavana tekijänä on kunkin polttoaineen kohdalla johdonmukainen tilinteko siitä, mitkä ovat sähkön- ja mitkä lämmön-tuotannon osuudet.

## **2. Tasesähkön toimitukset**

Yhtiöiden on täytettävä kriteerit vuotuisessa energiataseessaan. Suurehkot sähköntoimittajat saavat täten mahdollisuuden sisäiseen, eri laitostensa väliseen tehon tasapainottamiseen. Eräiden toimittajien saattaa kuitenkin olla tarpeen ottaa avukseen ns. tasesähköä suoriutuakseen velvoitteista, jotka näiden kriteerien mukaiset toimitussopimukset asettavat sähköntoimittamiselle. Tässä vaiheessa sähköntoimittaja ei pysty vaikuttamaan siihen, mistä laitoksista käsin sähköverkkoon lähtevä teho tällöin toimitetaan. Täyttääkseen nämä kriteerit sähköntoimittajat eivät tämän takia saa ottaa tasesähköä enempää kuin 10 prosenttia/netto koko toimittamastaan sähköstä.

## **3. Fossiiliset polttoaineet biopolttoaineiden elinkaareissa**

Biopolttoaineiden käsittely ennen niiden voimaloihin saapumista kuluttaa tällä hetkellä fossiilisia polttoaineita esimerkiksi kuljetusten polttoaineiden muodossa. Fossiilisten polttoaineiden määrä on yleensä muutama prosentti toimitetun polttoaineen energiasisällöstä. Tällainen apuenergia saa yltää korkeintaan 10 prosenttiin sähkön tuotantolaitokseen tuodun biopolttoaineen energiasisällöstä.

## **4 . Biopolttoaineella tuotetun sähkön enimmäishävikki**

Toimittajalle, joka tuottaa sähköä biopolttoaineita käyttämällä, apuenergian sekä tasauspalvelusta otettujen nettoerien yhteenlaskettu enimmäisosuus on 10 prosenttia energiatoimitusten yhteismäärästä.

## **MITÄ VOIDAAN YMPÄRISTÖMERKITÄ?**

Sähkötoimittajat voivat saada luvan käyttää "Norppa suosittelee ekoenergiaa" - tai Bra miljöval -merkkiä tietyntyyppisissä toimituksissa. Tällaisen luvan myöntämiseksi vaaditaan, että toimitussopimukset täyttävät tässä dokumentissa esitetyt kriteerit. Sähkötoimittajalla, kuten myös sen alihankkijoilla, tulee olla siten järjestetty kirjanpito, että luonnonsuojeluliiton hyväksymä tarkastaja voi lupasopimuksessa määritetyllä tavalla tarkistaa ympäristömerkin saaneiden sopimusten velvoitteiden täsmällisen ja oikean täyttämisen.

Yritykset, joiden koko toimitussopimuslajitelma täyttää kriteerit, voivat saada luvan käyttää merkkiä markkinoidessaan itseään sähkötoimittajana. Muussa tapauksessa merkkiä voi käyttää viittaamaan vain siihen osaan sähkötoimituksia, jotka täyttävät kriteerit.

Toimitussopimuksissa tulee taata, että vuotuinen energiatase täyttää vaatimukset. Ympäristömerkityn sähkön toimittajien ei siis tarvitse pystyä osoittamaan reaaliaikaisesti vaan ainoastaan vuositasolla, että ne täyttävät asiakkaiden kysynnän. Hetkellisen tehon tasapainon vaatimus olisi huomattavasti vaikeampi tarkistaa, eikä siitä olisi edes merkittävää hyötyä.

### **Kykenemättömyys velvoitteiden täyttämiseen**

Sähkötoimittaja, joka ei täytä velvoitteita eikä näin ollen pysty toimittamaan asiakkaille lupaamaansa määrää ympäristömerkittyä sähköä, menettää kahden vuoden ajaksi oikeutensa käyttää markkinoinnissaan "Norppa suosittelee ekoenergiaa" -merkkiä, seuraavia poikkeuksia lukuunottamatta.

Sähkötoimittajan kykenemättömyys suoriutua velvoitteestaan saattaa johtua siitä, että veden saanti kyseisen vuoden aikana poikkeaa voimakkaasti normaalista. Mikäli veden saanti alittaa keskiarvon enemmän kuin kymmenellä prosentilla, tämäkään ei vielä vaikuta sopimukseen, mikäli täydennykset muista energianlähteistä ovat kohtuullisessa suhteessa odottamattoman niukkaan vedentuloon.

Aurinko- ja tuulivoimalasta peräisin olevan sähkön toimittaja voi sopimuksin korvata riittämättömän energiansaannin ympäristömerkityllä vesivoimalla tai bioenergialla. Vesivoima sitävastoin on niin hallitseva, että vastaavan täydennyksen tekeminen ei ole lähivuosina mahdollista. Siksi ylläoleva poikkeus koskee ainoastaan vesivoimaa.

## **KRITEERIEN VOIMASSAOLO**

"Norppa suosittelee ekoenergiaa" -kriteerien tarkoituksena on nostaa esille markkinoiden parhaimmisto sekä luoda innostusta jatkuvaan tekniseen kehittämiseen. Näin ollen tekniikan vähitellen kehittyessä kriteerejä tiukennetaan asteittain. Nämä kriteerit ovat voimassa Ruotsissa 1. marraskuuta 1995, Norjassa 26. toukokuuta ja Suomessa 1. syyskuuta 1998 lähtien tammikuun 1. päivään 2000 saakka.

Suomen, Ruotsin ja Norjan luonnonsuojeluliitoissa on jo pohdittu tiukempien, yksilöidimpien vaatimusten asettamista siitä, miten biomassa tulisi ottaa talteen metsästä tai miten energiakasveja tulisi viljellä. Alalla vallitsevan käytännön kehityksestä riippuen tästä saattaa muodostua tärkeä osa kriteerien myöhempää uudistamista.

Vesisähkön tuotannon suhteen saattaa tulla ajankohtaiseksi asettaa kriteerejä olemassa olevien laitosten ympäristövaikutusten korjaamisesta.

Kun kriteeristöä uudistetaan, ajankohtaisia tulevat olemaan myös raaka-ainevalintoja, energiankäyttöä ja muuta ympäristövaikutusta koskevat kriteerit rakennettaessa sellaisia laitoksia, joiden avulla tuotetaan energiaa auringon säteilyn, tuulen ja aaltojen voimalla. Uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseksi kehitettyjen järjestelmien elinkaarianalyysit viittaavat siihen, että niiden aiheuttama ympäristökuormitus on suhteellisen vähäinen hiileen, öljyyn ja ydinenergiaan verrattuna. Uusiutuvien energialähteiden käyttämiseksi luotujen teknisten järjestelmien väliset erot saattavat kuitenkin muodostua huomattaviksi, kun järjestelmiä laajennetaan ja rakennetaan suuressa mittakaavassa.

## **SÄHKÖN YMPÄRISTÖMERKINNÄSSÄ MUKANA OLEVAT LUONNONSUOJELUJÄRJESTÖT**

Sähkön ympäristömerkinnässä mukana olevat Pohjoismaiset luonnonsuojelujärjestöt:

Suomen luonnonsuojeluliitto  
Kotkankatu 9, 00510 HKI  
p. 09-228 081, telekopio 09-228 08 200  
sähköposti: toimisto@sll.fi

Sveriges Naturskyddsföreningen  
Box 7005, 40231 GÖTEBORG  
p. +31-711 64 50, telekopio +31-711 64 30  
sähköposti: Naturskyddsforeningen.gbg@snf.se

Norges Naturvernforbund  
P.B. 6891, N-0130 OSLO  
p. +47-22 99 33 00, telekopio +47-22 99 33 10  
sähköposti: naturvern@sn.no

Sähkön ympäristömerkintää hakevien yhtiöiden toivotaan markkinoidessaan sähköä muihin Pohjoismaihin kääntyvän asianomaisen maanluonnonsuojeluliiton puoleen.



# Liite C: Suomen luonnonsuojeluliiton lämmön tuotannon ympäristökriteerit

Suomen luonnonsuojeluliitto r.y.

Lämmön tuotannon  
YMPÄRISTÖKRITERIT

## Taustaa

Lämmön ympäristömerkintä on voimassa ainoastaan Suomessa. Lämpö ei ole maasta toiseen liikkuva yhteismarkkinatuote. Muut pohjoismaiset luonnonsuojeluliitot ovat hyväksyneet Suomen luonnonsuojeluliiton oman linjauksen lämmön ympäristömerkinnästä "Norppa suosittelee ekoenergiaa" -merkin avulla.

Suomen luonnonsuojeluliitto on katsonut, että lämmön ympäristömerkinnän tuominen Suomen markkinoille edistää tällä hetkellä uusiutuvan energian käyttöä ja energiansäästöä ottamalla Suomen erityisolosuhteet huomioon.

## Yleistä

Lämmöntuotannon ympäristömerkillä Suomen luonnonsuojeluliitto haluaa kannustaa uusiutuvan energian käyttöä sekä energiaa säästäviä ratkaisuja, jotta uusiutumattoman energian käyttöä voitaisiin vähentää lämmityksessä.

Lämmön ympäristömerkintä on voimassa seuraavin kriteerein syyskuun ensimmäisestä päivästä 1998 1. tammikuuta 2000 välisenä ajanjaksona. Ympäristömerkin käyttöä valvotaan vastaavasti kuin sähkön merkinnässä kuitenkin yrityksen luonne huomioiden. Luonnonsuojeluliitto edellyttää, että tarvittaessa toimitussopimukseen liittyy velvoitteita laitetakuista ja laitteiden huollosta.

## 1. Lämpö biopolttoaineista

Biopolttoaineilla tuotetulle lämmölle voi hakea ympäristömerkkiä. Tämä koskee sekä pelkkää lämmöntuotantoa että sähkön ja lämmön yhteistuotantoa. Monipolttoainekattiloissa ympäristömerkintä koskee vain biopolttoaineen osuutta. Lämpöyrittäjät, jotka tarjoavat kiinteistöille biopolttoaineilla tuotetun lämpöpalvelun, voivat hakea tuotteelleen (=palvelu) ympäristömerkkiä.

Muilta osin noudatetaan Suomen, Ruotsin ja Norjan luonnonsuojeluliittojen asettamia sähkön tuotannon ympäristökriteereitä kuitenkin lämmötoimittajayrityksen luonne ja tekniikka huomioiden.

## **2. Aurinkolämpö**

Aurinkolämmölle voi hakea ympäristömerkkiä sekä talokohtaisiin järjestelmiin perustuvana palveluna että osana kaukolämmön tuotantoa.

Yhteystiedot:

Suomen luonnonsuojeluliitto  
Kotkankatu 9, 00510 Helsinki  
p. 09-228 081  
telefax 09-228 08 200  
sähköposti: toimisto@sll.fi

## **Liite D: Listaus energiamuodoista tehdyistä LCA-, polttoaineketju- ja ekotasetietoja sisältävistä tutkimuksista**

### **Öljy**

Brännström-Norberg, B-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C. & Tunbrant, S. 1996. Life-Cycle Assessment for Vattenfall's Electricity Generation. Summary Report. Vattenfall, Stockholm. 137 s. + 21 s. liitt.

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R., Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

Ekotasetiedote (31.12.97), Neste Oy.

SEEP: Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta, 1996.

Kaiserås Bakkene, K. 1994. Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas, Tapir Publishers.

Oljekondens, Sydkraft Ab. Tiedot ovat peräisin Karlshamnin varavoimalaitoksesta(1000 MWel)

Energia-Ekono Oy 1997. Rissanen, H., Siitonen S., Sarin S., Gustafsson R., Kosonen M. & Lappalainen R. Polttoaineketjujen paikalliset ympäristövaikutukset, 30.5.1997. Espoo, Energia-Ekono Oy. 191 s.

### **Kivihiili**

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R. & Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

SEEP: Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta.

Energia-Ekono 1997. Rissanen H., Siitonen S., Sarin S., Gustafsson R., Kosonen M. & Lappalainen R. Polttoaineketjujen paikalliset ympäristövaikutukset, 30.5.1997. Espoo, Energia-Ekono Oy. 191 s.

## **Maakaasu**

Brännström-Norberg, B-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C. & Tunbrant, S. 1996. Life-Cycle Assessment for Vattenfall's Electricity Generation. Summary Report. Vattenfall, Stockholm. 137 s. + 21 s. liitt.

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R. & Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

SEEP: Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta.

Naturgas/Olja, Sydkraft Ab. Tiedot ovat peräisin Heleneholmin voimalaitoksesta.

Energia-Ekono Oy 1997. Rissanen, H., Siitonen S., Sarin S., Gustafsson R., Kosonen M. & Lappalainen R. Polttoaineketjujen paikalliset ympäristövaikutukset, 30.5.1997. Espoo, Energia-Ekono Oy. 191 s.

## **Ydinvoima**

Brännström-Norberg, B-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C. & Tunbrant, S. 1996. Life-Cycle Assessment for Vattenfall's Electricity Generation. Summary Report. Vattenfall, Stockholm. 137 s. + 21 s. liitt.

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R. & Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

Kärnkraft, Sydkraft Ab. Tiedot ovat peräisin Oskarshamnin ja Barsebäckin voimalaitoksista.

## **Vesivoima**

Brännström-Norberg, B-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C. & Tunbrant, S. 1996. Life-Cycle Assessment for Vattenfall's Electricity Generation. Summary Report. Vattenfall, Stockholm. 137 s. + 21 s. liitt.

Vesivoiman Elinkaari, KTM, energiaosasto & Maa ja Vesi Oy, 1995. Tiedot koostuvat pääosin voimalaitoksen rakentamisesta ja peruskorjauksesta johtuvista päästöistä. Säännöstelyaltaan käytöstä johtuvia haittoja ei ole huomioitu.

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R. & Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

Vattenkraft, Sydkraft Ab. Tiedot ovat peräisin Ramselen, Pengforsin, Torsebron ja Daddsjön voimalaitoksista.

## **Turve**

Mälkki, H. & Frilander, P. 1997. Life cycle assessment of peat utilisation in Finland. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Publications 333. 86 s. + liitt. 6 s.

SEEP: Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta, 1996.

Energia-Ekono Oy 1997. Rissanen, H., Siitonen S., Sarin S., Gustafsson R., Kosonen M. & Lappalainen R. Polttoaineketjujen paikalliset ympäristövaikutukset, 30.5.1997. Espoo, Energia-Ekono Oy. 191 s.

## **Tuulivoima**

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R. & Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

Brännström-Norberg, B-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C. & Tunbrant, S. 1996. Life-Cycle Assessment for Vattenfall's Electricity Generation. Summary Report. Vattenfall, Stockholm. 137 s. + 21 s. liitt.

Vindkraft, Sydkraft Ab. Tiedot ovat peräisin Gipsönin tuulipuistosta (7,2 MWel)

Turkulainen, T. 1998. Tuulivoimalan elinkaariarviointi. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto. 72 s. + liitt. 8 s.

### **Biopolttoaineet**

Brännström-Norberg, B-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C. & Tunbrant, S. 1996. Life-Cycle Assessment for Vattenfall's Electricity Generation. Summary Report. Vattenfall, Stockholm. 137 s. + 21 s. liitt.

SEEP: Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta, 1996.

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R. & Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

Biobräsle, Sydkraft Ab.

Wihersaari, M. 1996. Biopolttoaineet ja ympäristö, KTM.

### **Aurinkoenergia**

Nieuwlaar, E. & Alsema, E. Environmental Aspects of PV Power Systems, Report no. 97072, December 1997. Utrecht University, Department of Science, Technology and Society, Padualaan 14, 3584 CH Utrecht, The Netherlands.  
<http://www.chem.uu.nl/nws/www/nws.html>.

Nieuwlaar, E. & Alsema, E. Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules. A study by the commission of the Netherlands Agency for Energy and the Environment, NOVEM. September 1995, Report no. 95057. , Department of Science, Technology and Society, Padualaan 14, 3584 CH Utrecht, The Netherlands <http://www.chem.uu.nl/nws/www/nws.html>.

Ott, W. & Koch, P. 1996. Externe kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen. Teilbericht 6 des projektes 'Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz', PACER, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, bestellnummer 724.270.6d. 54 s.

### **Polttoaineketjujen ulkoisia ympäristökustannuksia vertailevia tutkimuksia**

Ahonen, A. & Kiukaanniemi, E. 1995. Metsähakkeen tuotannon ja käytön päästöt, ympäristövaikutukset ja niiden arvottaminen. Vertailu kivihiiileen, jyrshinturpeeseen ja turvehake seospolttoaineeseen. Oulun yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 119, Oulu.

Det Norske Veritas Industry AS , Electric Power and Environmental Impacts. Technical Report no. 93-3701, The Norwegian Research Council 1994. 68 s.

European Commission, Directorate General XII, Science, Research and Development, JOULE ExternE - Externalities of Energy Vol. 1: Summary, Compiled by ETSU. (Useita julkaisuja, kts. <http://externe.jrc.es>) European Commission DG XII, Brussels - Luxembourg 1995. EUR 16520 EN. ISBN 92-827-5210-0.

Hagler Bailly Consulting Inc, Rowe et al. Empire State Electric Energy Research Corporation New York State Environmental Externalities Cost Study, Volume I & II.. Oceana Publications Inc. December 1995.

Hongisto, M., Heikkinen, A., Soimakallio, H. & Järvinen, P. 1998. Sähköntuotantovaihtoehtojen ulkoiset ympäristökustannukset päätöksenteon apuna. Imatran voima Oy, Tutkimusraportti nro 4. FINERGY Energia-alan keskusliitto ry. ISBN 952-440-003-0. Helsinki 1998. (internetversio: <http://www.ivo.fi/fin/sivut/6/61/tutkimu/etusivu1.htm>).

INFRAS AG, PROGNOSE AG, 1994, Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich - Synthesebericht der gleichnamigen Studie über die Berechnung der Externalitäten der Strom- und Wärmeversorgung in Gebäuden in der Schweiz, Bundesamt für Energiewirtschaft, Amt für Bundesbauten, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1994. ISBN 3-905232-46-4.

Meyer, H., Morthorst, P.E., Schleisner, L., Meyer, N.I., Nielsen, P.S. & Nielsen, V. 1994. Omkostningsopgørelse for miljøeksternaliteter I forbindelse med energiproduktion, Forskningscenter Risø, Roskilde, 1994. ISBN 87-550-2011-9.

Oak Ridge National Laboratory And Resources For The Future. External Costs and Benefits of Fuel Cycles, Estimating Fuel Cycle Externalities: U.S. Department of Energy and The Commission of the European Communities, Tennessee, 1994. Useita laajoja raportteja.

Otterström, T., Gynther, L., Rissanen, H. & Hämekoski, K. Energia-Ekono Oy, Maa ja Vesi Oy, Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV) ja Pääkaupunkiseudun energialaitokset. Energiantuotannon ulkoisten kustannusten arvioiminen pääkaupunkiseudulla. Energia- ja ympäristöteknologian tutkimusohjelman SIHTI 2 osahanke 115 Y, 1995.

Pingoud, K., Mälkki, H., Wihersaari, M., Hongisto, M., Siitonen, S., Lehtilä, A., Johansson, M., Pirilä, P. & Otterström, T. 1999. ExternE National Implementation Finland, EC publication nr EUR 18278, VTT Publications 381, (saatavilla myös VTT:n Internet-sivun kautta: <http://www.vtt.fi/inf/uutuusluettelo/>).

U.S Congress, Office of Technology Assessment. Studies of the environmental Costs of Electricity, OTA-ETI-134 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, September 1994).

### **Vertailututkimuksia**

Preliminary Eco-Profiles for Natural Gas-Based and Coal-Based Energy Production Systems, Neste Oy, 1997 (luottamuksellinen).

Heikkinen, A. & Järvinen, P. 1994. Elinkaariarviointi ja sähköntuotanto. Vantaa, Imatran voima Oy, tutkimusraportteja IVO-A-06/94. 58 s. + liitt. 3 s.

Hillebrand, K. 1993. The greenhouse effects of peat production and use compared with coal, oil, natural gas and wood, Espoo, Technical Research Centre of Finland, VTT Research Notes 1494. 50 s. + liitt. 8 s.

Savolainen, I., Hillebrand, K., Nousiainen, I. & Sinisalo, J. 1994. Greenhouse impacts of the use of peat and wood for energy [Turpeen ja puun energiakäytön kasvihuonevaihutus]. Espoo, Technical Research Centre of Finland, VTT Research Notes 1559. 65 s. + liitt. 9 s.



## **LCA- metodologiaa koskevia tutkimuksia**

Lindfors, L.-K., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Juntila, V., Hanssen, O.-J., Rønning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G., 1995. Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment. Copenhagen, Nordic Council of Ministers, Nord 1995:20. 222 s. ISBN 92 9120 692 X. ISSN 0903-7004.

Virtanen, Y., Miettinen, P. & Juntila, V. (toim.) 1995. Energy issues in Life Cycle Assessment. Helsinki, COMETT II UETP-EEE, The Finnish Association of Graduate Engineers TEK, Technical Research Centre of Finland VTT. 210 s.

## Liite E: *Bra Miljöval* -hyväksytyä sähköä tuottavat yhtiöt

Lista päivitetty 15.12.98 / Caroline Hopkins, SNF (SNF 1999a, [http://www.snf.se/hmv/bmv\\_el.htm](http://www.snf.se/hmv/bmv_el.htm)), BMV = Bra Miljöval -merkittyä sähköä.

Yhtiö	Merkityn tuotannon tyyppi	Bra Miljöval -merkityn sähkön osuus
<b>Affärsverken Energi</b>	Vesivoimaa	0,03 %
<b>Agrokraft AB</b>	BMV-sähköä toiselta yhtiöltä	14,60 %
<b>Alingsås Energi</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	13 %
<b>BKK Kraft AB</b>	Vesivoimaa	6,70 %
<b>Borgholm Energi</b>	Tuulivoimaa & BMV-sähköä toiselta yhtiöltä	100 %
<b>Borlänge Energi Försäljning AB</b>	Vesivoimaa, tuulivoimaa & aurinkosähköä	100 %
<b>Borås Energi AB</b>	Vesivoimaa & biopolttoaineilla tuotettua sähköä	25 %
<b>Bråviken, Vattenfall</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	0,3 %
<b>Ekerö Energi Försäljning AB</b>	Vesivoimaa	6 %
<b>Energibolaget Försäljning</b>	Vesivoimaa	3,5 %
<b>Enskar Kraft</b>	Vesivoimaa	2 %
<b>Falu Energi AB</b>	Vesivoimaa & biopolttoaineilla tuotettua sähköä	100 %
<b>Gestrikekraft AB</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	19 %
<b>Gotlands Elförsäljning</b>	Tuulivoimaa	1 %
<b>Graninge Kraft AB</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	90 %
<b>Gullspång</b>	Vesivoimaa	Salainen
<b>Göteborg Energi AB</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	20 %
<b>Jämtkraft</b>	Vesivoimaa	12 %
<b>Jönköpings Energi</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	5 %
<b>Karlskoga Energi &amp; Miljö</b>	Vesivoimaa	1,6 %
<b>Karlstads Energi AB</b>	Vesivoimaa & biopolttoaineilla tuotettua sähköä	25 %
<b>Kinneulle Energi</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	15 %
<b>Lunds Energi</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	8 %
<b>Mölnadal energi</b>	Vesivoimaa	2,5 %
<b>Nacka Energi</b>	BMV-sähköä toiselta yhtiöltä	2 %
<b>Norrlands Energi Försäljnings AB</b>	BMV-sähköä toiselta yhtiöltä	17,90 %
<b>Norrälje Energi Försäljnings</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	0,4 %

<b>Nässjö Energi AB</b>	Biopolttoaineilla tuotettua sähkö	20 %
<b>Oslo Energi</b>	Vesivoimaa	1.8 %
<b>PiteEnergi Handel</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	0,03 %
<b>Sala Heby Energi</b>	Vesivoimaa	8 %
<b>SEVAB Energiförsäljning</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	0,38 %
<b>Småländsk Energiförsäljning</b>	Tuulivoimaa	0,2 %
<b>Sollentuna Energi AB</b>	BMV-sähköä toiselta yhtiöltä	4 %
<b>Stockholm Energi AB</b>	Vesivoimaa, tuulivoimaa & aurinkosähköä	40 %
<b>Sydkraft Elförsäljning AB</b>	Vesivoimaa	20 %
<b>Tekniska Verken i Linköping AB</b>	Vesivoimaa	4 %
<b>Telge Energi</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	7 %
<b>Tranås Energi Elförsäljning AB</b>	BMV-sähköä toiselta yhtiöltä	0,40 %
<b>Täby energi</b>	Vesivoimaa	0,2 %
<b>Umeå Energi Elhandel AB</b>	Vesivoimaa	50 %
<b>Uppsala Energi</b>	BMV-sähköä toiselta yhtiöltä	4,8 %
<b>Vattenfall</b>	Vesivoimaa & tuulivoimaa	2 %
<b>VB Energi</b>	Vesivoimaa	12,4 %
<b>VMK Energi AB</b>	Vesivoimaa	0,4 %
<b>Västerviks Kraft Elförsäljning</b>	Vesivoimaa	3 %
<b>VätterEL, Vattenfall</b>	Tuulivoimaa	0,02 %
<b>Växjö energi</b>	Biopolttoaineilla tuotettua sähköä	23 %
<b>Örebro Energi AB</b>	Vesivoimaa	2 %
<b>Övik Energi AB</b>	BMV-sähköä toiselta yhtiöltä	0,02 %

## Liite F: Polttoainekohtaiset vertailutaulukot eri tutkimusten tuloksille

Taulukko F1. Energiantuotantovaiheen päästöt maakaasulle eri tutkimusten mukaisesti.

	ETH	EKONO/L AUHDE	EKONO/ YHTEIS	EXTERNE, UK/ LAUHDE	VATTENFALL/ KAASUKOMBI, LAUHDE	IVO, LAUH- DE
	kg/MWh <sub>e</sub> (net)					
CO <sub>2</sub>	622,8	380,8	212,9	393	389	510
SO <sub>2</sub>	0,004				0,00409	
NO <sub>x</sub>	0,8	0,42	0,23	0,71	0,0751	1,95
TSP	0,009				0,000654	

Taulukko F2. Koko elinkaari- ja tuotantovaiheen päästöt maakaasulle eri tutkimusten mukaisesti.

	ETH	EKONO/L AUHDE	EKONO/ YHTEIS	EXTERNE/UK LAUHDE	VATTEN-FALL LAUHDE	IVO LAUH- DE
	kg/MWh <sub>e</sub> (net)					
CO <sub>2</sub>	643	408,5	228,4	401	410,5	541
SO <sub>2</sub>	0,03	0,014	0,008		0,0105	
NO <sub>x</sub>	0,88	0,5	0,28	0,71	0,1637	2,1
TSP	0,023				0,001	

Taulukko F3. Energiantuotantovaiheen päästöt kivihiilelle eri tutkimusten mukaisesti.

	ETH	EKONO	EXTERNE-NI/ MERI-PORI	IVO
	kg/MWh <sub>e</sub> (net)			
CO <sub>2</sub>	960	797,1	770	881
SO <sub>2</sub>	1,2	0,6	0,67	3,51
NO <sub>x</sub>	0,7	0,43	0,53	3,51
TSP	0,12	0,09	0,15	

Taulukko F4. Kivihiilellä tuotetun energian koko elinkaaren aikaiset päästöt eri tutkimusten mukaisesti.

	ETH	EKONO	EXTERNE-NI/ MERI-PORI	IVO
	kg/MWh <sub>e</sub> (net)			
CO <sub>2</sub>	997,8	824,6	795	922
SO <sub>2</sub>	1,47	0,79	0,83	3,69
NO <sub>x</sub>	0,9	0,57	0,63	3,85
TSP	0,75	0,23	0,17	

Taulukko F5. Eri tutkimusten päästötietoja energiantuotannolle puuvoimalla.

	VATTENFALL, GCC-CHP	VATTENFALL, CFB-CHP	EXTERNE-NI/FORSSA	IVO
	kg/MWh <sub>e</sub> (net)			
CO <sub>2</sub>	0,352	0,0951	1,3	0
SO <sub>2</sub>	0,17	0,03	0,41	0
NO <sub>x</sub>	0,21	0,18	1,56	0,81
TSP	0,021	0,016	0,21	

Taulukko F6. Puuvoimalla tuotetun energian koko elinkaaren aikaiset päästöt eri tutkimustulosten mukaisesti.

	VATTENFALL, GCC-CHP	VATTENFALL, CFB-CHP	EXTERNE-NI/FORSSA	IVO
	kg/MWh <sub>e</sub> (net)			
CO <sub>2</sub>	15,4	10,3	8,5	25
SO <sub>2</sub>	0,18	0,043	0,43	0,01
NO <sub>x</sub>	0,41	0,33	1,68	1,19
TSP	0,038	0,029	0,22	