

Sähkölle ympäristöluokittelu?

Ympäristöluokittelun perusteita

Pekka Pirilä & Aulis Ranne

VTT Energia

Pekka Järvinen & Päivi Luoma

Imatran Voima Oy



ISBN 951-38-5177-X (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5178-8 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1997

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 Energia, Energiajärjestelmät, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 6538

VTT Energi, Energisystem, Teknikvägen 4 C, PB 1606, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 6538

VTT Energy, Energy Systems, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 6538

Toimitus Maini Manninen

LIBELLA PAINOPALVELU OY, ESPOO 1997

Pirilä, Pekka, Ranne, Aulis, Järvinen, Pekka & Luoma, Päivi. Sähkölle ympäristöluokittelu? Ympäristöluokittelun perusteita [Environmental classification for electricity? Survey of basis for environmental classification]. Espoo 1997, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1878. 71 s.

UDK 621.31:504.06

Avainsanat electric power generation, environmental effects, environmental classification, environmental protection

Tiivistelmä

Sähkön ympäristömerkintää on esitetty erääksi uudeksi keinoksi kehittää sähköntuotannon ympäristöystävällisyyttä. Tähänastisilla keinoilla, normiohjauksella ja vapaaehtois-toimilla, on saavutettu hyviä tuloksia varsinkin hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjen vähentämisessä, mutta ympäristömerkinnän toivotaan soveltuvissa tilanteissa täydentävän niitä tehokkaasti. Ympäristömerkinnän tavoitteena on antaa kuluttajille keino vaikuttaa suoraan tuotantoratkaisuihin. Tarkoituksenmukaisen luokittelun toteuttaminen edellyttää kuitenkin useiden ongelmien ratkaisemista.

Jos luokittelun halutaan vaikuttavan suureen osaan sähköntuotannosta, on sekä tulosten hyödyllisyyden että oikeudenmukaisen kilpailun kannalta olennaista saada luokittelu harhattomaksi, ts. luokittelussa paremmaksi todetun tuotannon on todella oltava huomnommaksi luokiteltua parempaa. Eri sähköntuotantomuotojen haitat ovat kuitenkin hyvin erilaisia. Tärkeimpiin ympäristövaikutuksiin kuuluvat ainakin luonnonvarojen ehtyminen, ilmastovaikutukset, päästöjen ekologiset vaikutukset sekä vaikutukset ihmisten terveyteen. Näin erilaisten ympäristövaikutusten keskinäisten painoarvojen määrittämisestä lienee mahdotonta saavuttaa yksimielisyyttä. Tämä vaikeuttaa olennaisesti ympäristöluokittelua, sillä eri sähköntuotantomuotojen tärkeimmät vaikutukset painottuvat eri tavoin näihin tekijöihin. Ongelmat muodostuvat vielä suuremmiksi, jos huomioon pyritään ottamaan muutkin kestävä kehityksen osa-alueet eli yhteiskunnalliset ja taloudelliset näkökohdat. Yhtenäisen ympäristöluokittelun ongelmana on myös sen vähäinen vaikuttavuus tilanteessa, jossa luokitellun sähkön kysyntä ei ole laajaa.

Vaihtoehtoinen toimintamalli on käyttää luokittelun pohjana nimettyjä tuotantomuotoja, ts. vihreän sähkön tai ekosähkön sijaan luokitellaan tuulivoimaa, biokaasuvoimaa jne. Luokittelu voi koskea paitsi tuotantomuotoa kokonaisuutena, myös sen toteutustasoa. Täten luokittelu voidaan toteuttaa erikseen kullekin nykyiselle ja uudelle tuotantomuodolle antamalla paras luokitus parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa soveltaville laitoksille. Näin toteutetut eri tuotantomuotojen luokittelut eivät ole suoraan verrattavissa toisiinsa, mutta samalla vältetään suuri osa yleisemmän luokittelun ongelmista.

Luokittelussa voidaan joutua ottamaan huomioon myös järjestelmäkysymyksiä, kuten sähkönkulutuksen ja -tuotannon keskinäiseen ajoittumiseen sekä luotettavuuteen, sähkön laatuun ja sähköturvallisuuteen liittyviä näkökohtia.

Pirilä, Pekka, Ranne, Aulis, Järvinen, Pekka & Luoma, Päivi. Sähkölle ympäristöluokittelu? Ympäristöluokittelun perusteita [Environmental classification for electricity? Survey of basis for environmental classification]. Espoo 1997, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1878. 71 p.

UDC 621.31:504.06

Keywords electric power generation, environmental effects, environmental classification, environmental protection

Abstract

Environmental classification and labelling of electricity has been proposed as an additional approach in improving the environmental quality of electricity generation. The present approaches, emission limits and voluntary measures, have been effective in particular in reducing the emissions of particulates and sulphur oxides. It is hoped that environmental classification will supplement these measures effectively in appropriate situations. The goal of environmental classification is to allow consumers to directly influence production. Creating an appropriate and efficient classification requires, however, significant development work to find the right solutions.

If the goal of the classification is to influence the bulk of production, it is crucial that the classification is unbiased, i.e. solution graded as superior must indeed be more advantageous for the environmental. Otherwise the classification works contrary to fair trade and favours development of non-optimal solutions. The nature of environmental damages varies, however, greatly among alternative methods of electricity generation. The most important environmental issues include exhaustion of energy reserves, climate change, ecological damage from emissions, and damage to human health. Agreeing on relative weights of so dissimilar effects appears all but impossible. This causes severe difficulties for the environmental classification of electricity, because the dominant consequences of each alternative generating options weigh very differently these issues. The difficulties are even greater, if an attempt is made to include in the considerations other aspects of sustainability, such as social and economic issues.

An alternative approach is to apply classification separately to each basic mode of generation: wind energy, biogas based power, etc. The classification may alternatively specify only the mode of generation, or the level of implementation of the basic technology. In the latter case the highest grade is given for implementation of best available technology. Such grades are not directly commensurate, but a major part of the problems of a more general classification is avoided.

In defining the classification scheme it may be necessary to consider also system issues, such as the momentary balance of generation and demand, the reliability and quality of supply, as well as potential safety problems arising in certain solutions.

Alkusanat

Tämä selvitys on tehty Energia-alan Keskusliitto ry Finergyn toimeksiannosta. Työn suorittamista on valvonut seurantaryhmä, jonka puheenjohtajana on ollut varatoimitusjohtaja Harry Viheriävaara Finergystä ja jäsenenä Veikko Hokkanen, Helsingin Energia, Akke Kuusela, Finergy, Heikki Niininen, Imatran Voima Oy, Anneli Nikula, Finergy, Olavi Oksman, Kemijoki Oy, Eero Pere, Sener, Jouko Rämö, Pohjolan Voima Oy, Eero Schultz, Teollisuuden Voima Oy, Olavi Toiva, Tampereen kaupungin sähkölaitos ja Tapio Öhman, Helsingin Energia. Seurantaryhmältä on saatu käsiteltävien asioiden valintaa ja muotoilua koskevia arvokkaita kommentteja. Vastuu tekstin sisällöstä ja muotoilusta on kuitenkin yksinomaan tekijöillä. Työn vastuullisena johtajana on ollut Pekka Pirilä VTT Energiasta ja kokonaisvastuu työstä on VTT Energialla. Imatran Voima Oy:n osuus on keskittynyt ympäristövaikutusten luokittelua ja sisältöä kuvaaviin lukuihin 5 ja 6. Muut luvut on laatinut VTT Energia, joka on myös viimeistellyt raportin kokonaisuudessaan.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
LYHENTEET JA YKSIKÖT	8
1. JOHDANTO	9
2. SÄHKÖN YMPÄRISTÖLAADUN MUODOSTUMISEN PERIAATE	11
2.1 Sähköjärjestelmä	11
2.2 Ympäristövaikutusten muodostuminen	13
3. SUOMEN ENERGIAJÄRJESTELMÄN JA YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN PÄÄPIIRTEET	16
3.1 Rakenne	16
3.2 Päästöt	19
3.3 Suomen luontoa kuormittavan laskeuman alkuperä	20
4. SÄHKÖNTUOTANTOJÄRJESTELMÄN PIIRTEET YMPÄRISTÖLAADUN KANNALTA	22
4.1 Sähköntuotannon ja sähkömarkkinoiden toiminta	22
4.2 Sähköntuotannon rakenne	24
4.3 Sähköntuotannon kehittyminen	27
4.4 Uusiutuvat energialähteet	29
4.4.1 Puu	29
4.4.2 Vesivoima	31
4.4.3 Tuulivoima	31
4.4.4 Muita uusiutuvia energiavaroja	34
4.5 Laitosten käytettävyyssarvo sähköjärjestelmässä	34
4.6 Tuotetun ja kulutetun sähkön ympäristövaikutustase	37
5. SÄHKÖNTUOTANNON YMPÄRISTÖÄ KUORMITTAVAT TEKIJÄT	39
5.1 Luonnonvarojen käyttö	39
5.2 Päästöt	40
6. SÄHKÖNTUOTANTOJÄRJESTELMÄ JA YMPÄRISTÖONGELMAT	44
6.1 Luonnonvarojen väheneminen	45
6.2 Ekologiset vaikutukset	49

6.2.1 Happamoituminen	49
6.2.2 Ilmastonmuutos	50
6.2.3 Monimuotoisuuden väheneminen	51
6.2.4 Muut ekologiset vaikutukset	52
6.3 Vaikutukset ihmisen terveyteen	52
6.3.1 Pienhiukkaset	53
6.3.2 Alailmakehän otsoni	54
6.3.3 Ionisoiva säteily	54
6.4 Muut vaikutukset	55
6.4.1 Viihtyvyyshaitat ja vaikutukset luonnon monikäyttöön	55
6.4.2 Onnettomuudet	57
7. KRITEERIEEN MUODOSTAMISESSA HUOMIOONOTETTAVAA	58
7.1 Ympäristölaatua ohjaavat tekijät	58
7.2 Ympäristölaadun mittaaminen	60
7.3 Sähkön ympäristölaadun kriteerien muodostaminen	61
7.3.1 Ympäristölaadun suureita	61
7.3.2 Kriteerien ominaisuuksia	62
7.3.3 Ympäristölaadun määrittävälle järjestelmälle asetettavia vaatimuksia	63
8. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	65
8.1 Ohjaukeinot ympäristöhaittojen vähentämiseksi	65
8.2 Luokittelun toteuttaminen ja käyttö	66
LÄHDELUETTELO	70

Lyhenteet ja yksiköt

- CO₂-ekv Hiilidioksidiekvivalentti, hiilidioksidimäärä, jolla on sama vaikutus ilmastoon kuin tarkasteltavalla muun kaasun määrällä. Hiilidioksidiekvivalentin suuruus riippuu tarkasteluajavälistä (ks. luku 6.2.2).
- GWP Hiilidioksidiekvivalentin laskemisessa käytettävä kerroin (Global Warming Potential)
- IGCC Voimalaitos, jossa kiinteän polttoaineen kaasutus on liitetty kombivoimalaitokseen (Integrated Gasification Combined Cycle). Kombivoimalaitos on voimalaitos, johon sisältyy sekä höyryturbiini että kaasuturbiini, ja jonka hyötysuhde on tästä johtuen erityisen korkea.
- IPCC Hallitustenvälinen ilmastopaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC:n on perustivat vuonna 1988 YK:n alajärjestöt World Meteorological Organization (WMO) ja United Nations Environment Programme (UNEP).
- LCA Elinkaarianalyysi (Life Cycle Analysis)
- NMVOC Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, paitsi metaani (Non-Methane VOC)
- VOC Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compounds)

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

Polttopuun energiasisällölle on käytetty arvoa 1 kiinto-m³ = 0,18 toe.

1. Johdanto

Tuotannollisen toiminnan ympäristöhaittojen vähentämistä on eri toimialoilla edistetty monin eri keinoin. Sähköntuotannon haittoja on jo pitkään rajoitettu perustuen hallinnollisiin säädöksiin, joista merkittävimpiä ovat voimalaitoksille asetetut päästönormit mutta joihin sisältyy myös mm. polttoaineketjun muille vaiheille asetettuja vaatimuksia. Keskeisinä lähtökohtina asetetuille normeille ovat olleet toisaalta ympäristön sietokyky ja toisaalta tekniset mahdollisuudet vähentää päästöjä ilman kohtuuttomia kustannuksia.

Normipohjaisten säädösten rinnalla on monilla aloilla kehitetty menetelmiä tuotteiden ympäristölaadun mittaamiseksi ja luokittelemiseksi. Tähän luokitteluun perustuen voivat sitten joko yksityiset kuluttajat tai muut päätöksentekijät suosia ympäristön kannalta paremmiksi arvioimiaan vaihtoehtoja kuten luonnonmukaisesti viljeltyjä elintarvikkeita tai uusiutumisen huolehtivan metsänhoidon piirissä tuotettuja metsätaloustuotteita.

Ympäristöluokittelun kaksi perustoimintamallia ovat olleet toisaalta yhteen tai pariin näkyvään piirteeseen perustuva luokittelu ja toisaalta kaikkien näkökohtien tasapuoliseen huomioonottamiseen pyrkivä elinkaarianalyysi. Ensin mainitun vaihtoehdon etuna on selkeys ja läpinäkyvyys sekä yleensä teknisesti helppo toteutettavuus, heikkoutena taas se, että tarkastelun ulkopuolelle jäävät näkökohdat voivat aivan hyvin olla ainakin yhteisvaikutukseltaan merkittävämpiä kuin siihen sisällytetyt. Pahimmillaan voi yksittäisten näkökohtien korostaminen johtaa selvään huononnuksen muissa suhteissa myös ympäristön kannalta.

Elinkaarianalyysin (LCA) periaatteita noudattava luokittelu on puolestaan vaikeammin toteutettavissa, ja se pakottaa usein yhdistämään ei-yhteismitallisia tekijöitä. Käytävissä olevien tietojen vajavaisuus voi jättää huolellisesti toteutetunkin analyysin hyvin puutteelliseksi. Analyysi ei ole sillä tavoin läpinäkyvä, että maallikko voisi todella ymmärtää tulosten merkityksen ja asiantuntijatkin voivat päätyä samoista lähtökohdista huomattavan poikkeaviin johtopäätöksiin. Kaikista näistä vaikeuksista huolimatta tämä lähestymistapa antaa yleensä oikeamman kokonaisarvion eri ratkaisujen edullisuudesta ympäristön kannalta. Tarkastelu voi myös tähdätä pelkkiä ympäristötekijöitä laajempaan tavoiteasetteluun, johon voi sisältyä esimerkiksi yhteiskunnallisia näkökohtia. Hyvin usein voidaan tyytyä täydellistä elinkaarianalyysia karkeampaan tarkasteluun, mutta noudattaa kuitenkin samaa lähestymistapaa ja siten varmistaa, että kaikki tärkeimmät osatekijät on otettu tarkasteluun.

Käyttötarkoituksesta riippuu ratkaisevasti millaisia kriteereitä sähköntuotannon luokittelussa olisi syytä käyttää. Jos tavoitteena on antaa yksittäisille kuluttajille mahdollisuus edistää oman kulutusmääränsä rajoissa erityisen ympäristöystävällisiä tuotantomuotoja, on kriteereiden selkeys ja läpinäkyvyys olennaisin vaatimus. Jos taas kriteereiden avulla

pyritään suoraan parantamaan koko sähköntuotannon keskimääräistä ympäristölaatua, on kriteereiden harhattomuudelle annettava pääpaino.

Tarkastelemalla asiaa toiselta kannalta voi ympäristöluokittelun käyttöönoton tavoitteena olla toisaalta vaikuttaa eri tuotantoratkaisujen käyttösuhteisiin Suomessa tai toisaalta verrata Suomen sähköntuotantoa (joko koko tuotantoa tai sen osaa) muissa maissa vallitsevaan tilanteeseen. Tältä kannalta voivat selkeät, tilannetta mahdollisesti yksinkertaistavat, kriteerit sopia paremmin ensin mainittuun käyttötarkoitukseen. Kansainväliset vertailut taas edellyttävät mahdollisimman harhattomia ja kansainvälisesti vertailukelpoisia kriteereitä, joiden on ilmeisesti perustuttava LCA-tyyppiseen lähestymistapaan.

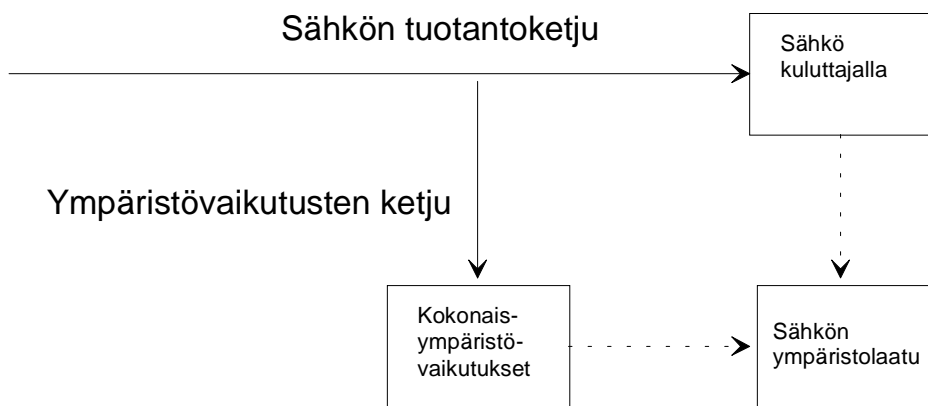
Myytävän sähkön ympäristöluokittelussa on ongelmana se, että eri tavoin tuotettua sähköä ei voida erottaa toisistaan. Tältä kannalta toimitetaan kuluttajille aina sekoitusta eri tuotantomuodoin tuotetusta sähköstä. Lähtökohtana tuotantomuotoja erottavalle luokitukselle onkin kaikissa ehdotuksissa se, että jollain tavoin varmistetaan, että kuhunkin luokkaan kuuluvaa sähköä tuotetaan vähintään yhtä paljon kuin sitä myydään. Yleisimmin on lisäksi tyydytty vaatimaan, että tämä ehto täyttyy jonkin pitkäkhön jakson, esimerkiksi kalenterivuoden, aikana. Tällainen lähestymistapa onkin edellytyksenä tyypillisimmän 'vihreän' sähkön, tuulivoiman, myynnille, koska tuulivoimalat seisovat tyypillisesti noin kolmanneksen ajasta ja kuukausittainkin tuotantokyky vaihtelee voimakkaasti.

Luonnollisin lähtökohta eri tekijöiden keskinäisten painoarvojen määrittämiselle on kestävä kehityksen turvaaminen eli sen varmistaminen, että tuleville sukupolville tarjotaan hyvät elämisen edellytykset. Mitään korvaamattomia resursseja ei täten saa kohtuuttomasti kuluttaa eikä ympäristöä saa kuormittaa sitä vakavasti vahingoittavalla tavalla. Lisäksi on muistettava, että kestäväan kehitykseen kuuluu myös yhteiskunnallis-taloudellisen sekä kulttuurillisen kehityksen turvaaminen ja tähän puolestaan mm. taloutta käynnissä pitävän liiketoiminnan edellytysten ylläpito.

Tässä julkaisussa keskitytään luonnonvaroihin ja ympäristötekijöihin ja jätetään niiden suhteuttaminen taloudellisiin tavoitteisiin tarkastelun ulkopuolelle. Selkeät taloudelliset seikat, esimerkiksi joidenkin ratkaisujen kohtuuttomat kustannukset, vaikuttavat luonnollisesti käsiteltävien vaihtoehtojen valintaan.

2. Sähkön ympäristölaadun muodostumisen periaate

Sähkön ympäristölaadun muodostumista tarkasteltaessa on otettava huomioon kaksi tapahtumaketjua: teknillinen sähköntuotantojärjestelmä ja ympäristövaikutusten muodostuminen (kuva 1). Molemmat ketjut ovat prosesseja, joiden eri prosessivaiheet voivat sijaintinsa, vaikutusalueensa ja ajallisen keston puolesta vaihdella hyvinkin paljon, mutta jotka olisi voitava kohdentaa kuluttajan ottamaan sähköön, jotta harhaton vertailu eri tuotantomuotojen kesken olisi mahdollista. Seuraavassa tarkastellaan näitä ketjuja menetelmätasolla ja tarkoituksena on hahmottaa sähkön ympäristölaadun määrittämisen ongelmakenttä ja rajaumamahdollisuudet.



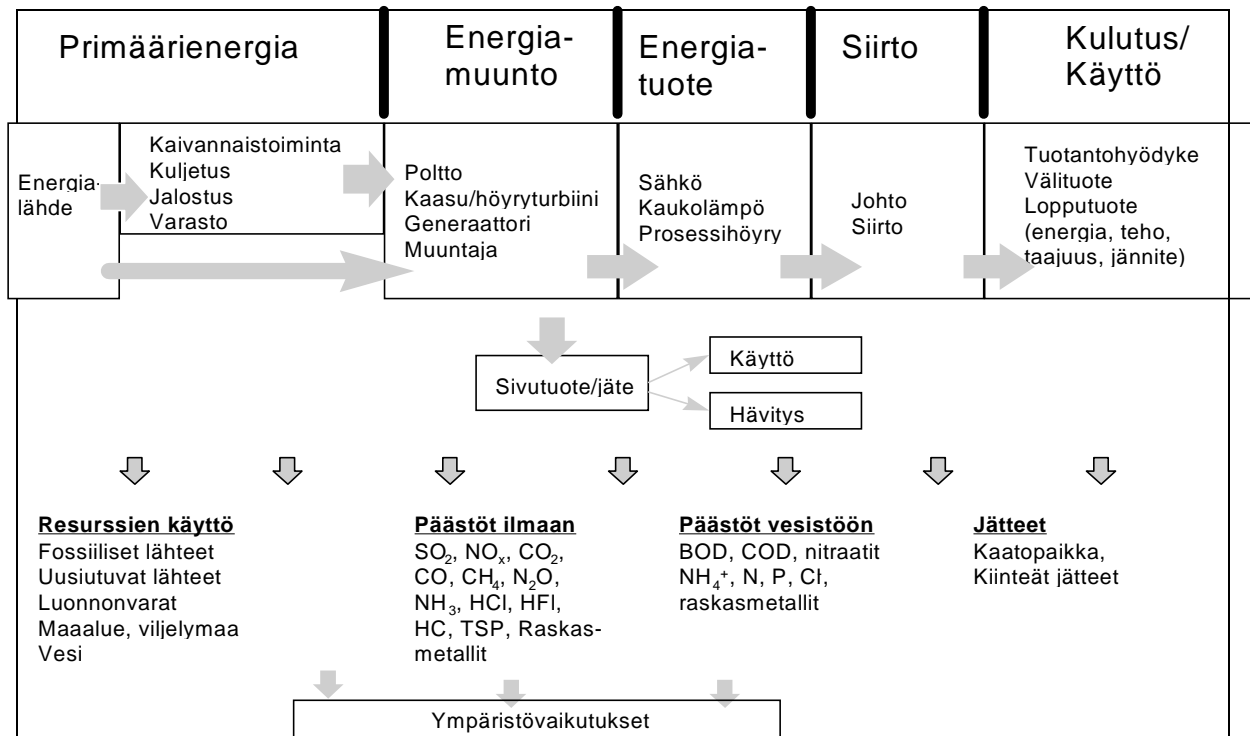
Kuva 1. Ympäristölaadun perustekijät.

2.1 Sähköjärjestelmä

Sähkö on tuote, jonka valmistusprosessi voidaan hahmottaa varsin tarkasti raaka-aineiden alkulähteiltä siihen vaiheeseen, jossa tuotettu sähkö siirretään yleiseen jakelu- tai siirtoverkkoon. Sähköverkkoon tuotettua sähköä voidaan tarkastella esimerkiksi valtakunnallisena tuotantoprofiilina, yhden yrityksen tuottaman sähkön tuotantoprofiilina tai yksittäisen tuotantolaitoksen sähkönä. Sähköverkoissa on siten samanaikaisesti useammalla tuotantolaitostyypillä ja eri primäärienergiamuodoilla tuotettua sähköä, jonka tuottamisesta vastaavat käytännössä sadat yritykset. Kuluttajan verkosta ottamaa sähköä ei voida erottaa fyysisesti tietyllä laitoksella tuotetuksi.

Sähkön tuotantoprosessin voidaan katsoa alkavan energialähteestä, joka on olemassa maapallon maaperässä (esim. fossiiliset polttoaineet) tai ekosysteemissä (biopolttoaineet, aurinko, tuuli jne.) (kuva 2). Osa energialähteistä on suoraan käytettävissä energianmuuntoon sähköksi, mutta valtaosa edellyttää erilaisia toimenpiteitä, kuten kaivannaistoimintaa, jalostusta, varastointia ja kuljetusta. Energiamuunnon kautta pri-

määrienergia muutetaan polttoprosessin ja turbogeneraattorin tai muun prosessin kautta energiatuotteeksi. Energiatuote voi olla pelkästään sähkö tai yhteistuotannossa myös kaukolämpö tai prosessilämpö. Tuotettu sähkö syötetään normaalisti sähkön siirtojärjestelmään, vain harvoissa tapauksissa sähköntuotanto on sähkönkuluttajan välittömässä yhteydessä, ja niissäkin tapauksissa sähkö useimmiten kulkee siirtojärjestelmän kautta. Joissakin tapauksissa liittyy sähkön tuotantoon muidenkin hyödykkeiden kuin lämmön tuotantoa.



Kuva 2. Sähkön tuotantojärjestelmän periaatteellinen prosessiketju ja ympäristöpäästöjen muodostuminen.

Ympäristövaikutukset saavat alkunsa periaatteessa edellä esitetyn sähköntuotantoketjun jokaisesta vaiheesta. Kuvaan 2 on merkitty yleisimmät energiatuotannon aiheuttamat ympäristönkuormituskomponentit. Pääosa kuormituksesta muodostuu käytännössä energian muuntovaiheessa, mutta ilman tarkastelua ei mitään vaihetta voi automaattisesti sulkea pois ympäristövaikutustarkasteluista.

Sähkön tuotantomuotojen vertailussa voidaan edellä esitetyn horisontaalisen tuotantoketjun lisäksi mukaan ottaa vertikaalinen dimensio. Tämä tarkoittaa eri prosessivaiheiden rakentamisen ja purkutoimien ottamista mukaan ympäristövaikutuksien tarkasteluun. Rakentamisessa esimerkiksi rakennusmateriaalien tuottaminen ja siihen tarvittava energia aiheuttavat tietyn ympäristökuorman, joka kohdistuu kuluttajalle tulevaan sähkөөn. Yleensä näiden merkitys on vähäinen, mutta joissakin tapauksissa olennainen.

Sähkön tuotantoon liittyy suomalaisessa järjestelmässä olennaisesti yhteistuotanto. Jos tuotantoketju tuottaa sähkön ohella kaukolämpöä tai prosessihöyryä tai muuta vastaavaa päätuotetta, on tuotantoketjun ympäristövaikutukset kohdennettava asianmukaisessa suhteessa kullekin tuotteelle. Tällöin vastaavasti yksittäisen tuotteen ympäristölaatu paranee. On kehitetty erilaisia laskennallisia kohdentamismenetelmiä, jotka painottavat eri tavalla tuotteiden merkitystä ympäristövaikutusten muodostumiseen.

Ympäristökuormitus voidaan laskea tuotettua energiayksikköä kohti. Tarkastelu voidaan tehdä polttoaine- tai energialähdekohtaisesti, esimerkiksi koskemaan kivihielessä tuotettua sähköä. Käyttämällä keskimääräisiä päästökertoimia päädytään myös keskimääräiseen ympäristölaatuun. Jos halutaan vertailla eri kivihiililaitoksia toisiinsa, on tulokset parametroitava kivihiililaadun, puhdistustekniikan tms. mukaan. Toinen tarkastelutapa on tietyllä laitoksella tuotetun sähkön ympäristölaadun arviointi. Tällöin voidaan ottaa huomioon se, että useimmat voimalaitokset käyttävät pääpolttoaineen lisäksi tuki- ja lisäpolttoaineita tai myös toista pääpolttoainetta.

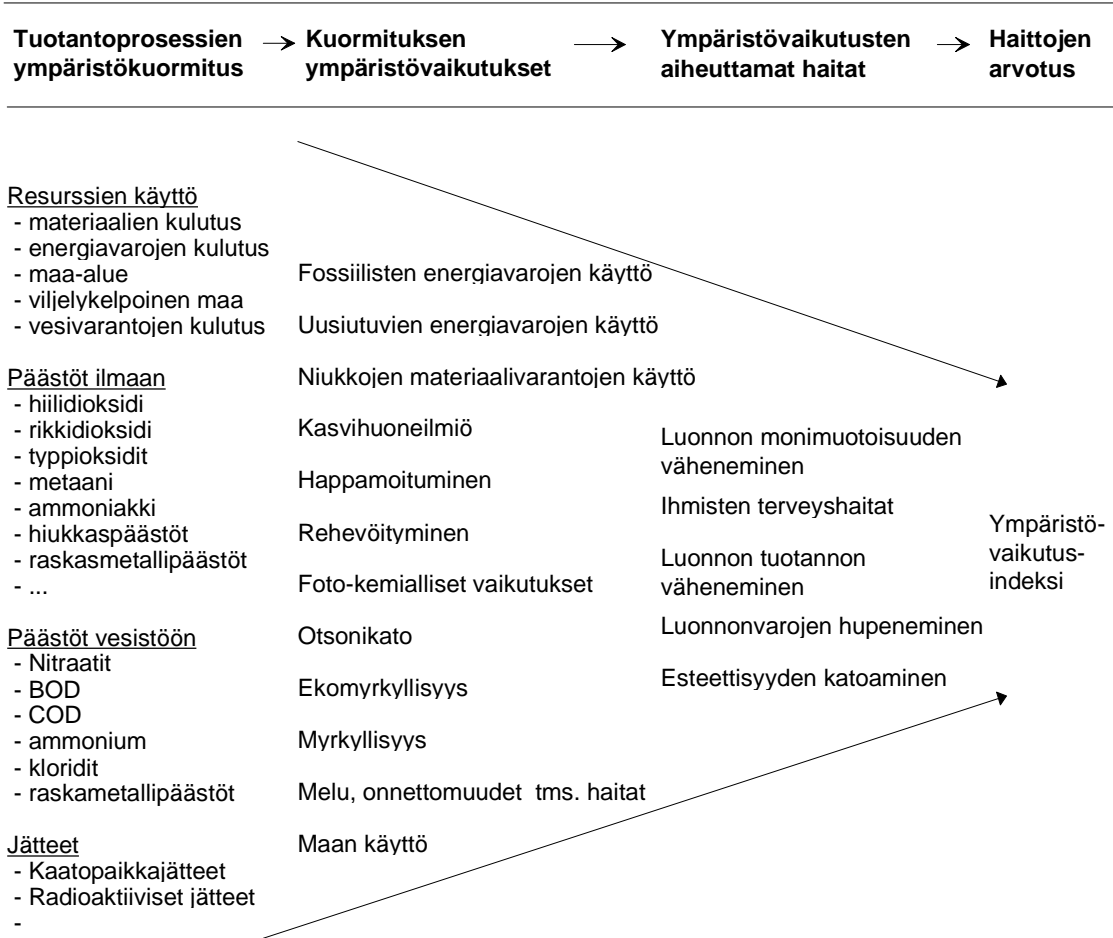
Ympäristövaikutusprofiilista voidaan puhua silloin, kun tarkastellaan tuotantokombinaatioita, esimerkiksi sähköyhtiön tuotantoprofiilia, ja sen ympäristövaikutuksia.

2.2 Ympäristövaikutusten muodostuminen

Ympäristövaikutusten muodostuminen alkaa ympäristönkuormituksesta, kun tuotantoketjun eri osissa syntyy päästöjä ympäristöön, tapahtuu erilaisten resurssien käyttöä tai muodostuu jätteitä tai muita haitalliseksi katsottavia vaikutuksia. Näistä päästöistä tai ilmiöistä muodostuu tapahtuma- ja vaikutusketju, josta aiheutuu ihmiselle tai muulle ekojärjestelmälle haitallisia vaikutuksia. Vaikutukset voivat olla välittömiä tai monimutkaisten ketjureaktioiden kautta muodostuvia.

Kuvassa 3 pyritään hahmottamaan ympäristövaikutusten ja niiden arvottamisen ketjua. Kuvassa esitetty tarkastelurakenne soveltuu sähkölle, vaikka se onkin alun perin laadittu muunlaisten tuotteiden ympäristövaikutusten ja niiden valmistusprosesseiden tarkasteluun elinkaarianalyysin puitteissa.

Ympäristövaikutusten tarkasteluketjun muodostamisessa on olennaista, että ketjun alkupää eli tuotantoprosessien analyysi, josta menetelmätasolla käytetään nimitystä inventaario, vastaa todellisuutta ja ryhmittely on tehty loogisesti ja systemaattisesti. Yleisesti on päädytty ryhmittelyyn: resurssien käyttö, päästöt ilmaan, päästöt vesistöön ja jätteet. Näihin ryhmiin sijoittuvat kaikki ympäristölaatuun lopullisesti vaikuttavat päästöt ja muut ilmiöt ja tapahtumat. On kuitenkin syytä korostaa, että sähköntuotannolla on myös tietyt taloudelliset ja sosiaaliset vaikutusketjunsä, joilla on myös merkitystä kestäväen kehityksen toteutumiseen, mutta niitä ei tarkastella tässä yhteydessä.



Kuva 3. Ympäristövaikutusten muodostumis- ja tarkasteluketju.

Erilaisten luonnossa tapahtuvien vaikutusten ja ketjureaktioiden tulosten hahmottamiseksi seuraavana vaiheena tarkasteluketjussa on ympäristökuormituksen aiheuttamien ympäristövaikutusten luokittelu ja karakterisointi. Esimerkkinä ympäristövaikutusluokasta on vaikkapa happamoituminen. Se saa alkunsa useammasta kuin yhdestä päästöstä, se on ketjureaktion tulos ja on riippuvainen paikallisista olosuhteista. Tässä vaiheessa on siis selvitettävä, missä määrin kukin päästökomponentti aiheuttaa happamoitumista. Muita ympäristövaikutusluokkia ovat fossiilisten energiavarojen käyttö, niukkojen raaka-ainevarojen käyttö, kasvihuoneilmiö, ekomyrkyllisyys jne.

Kolmantena vaiheena tarkasteluhierarkiassa on ympäristöhaittojen arviointi (samassa yhteydessä voidaan tarkastella myös mahdollisia ympäristöhyötyjä). Tässä esimerkissä esitetään viisi ympäristöhaittojen tai -hyötyjen kategoriaa: luonnon monimuotoisuuden muutokset, yleensä väheneminen, mutta miksei myös lisääntyminen, ihmisille aiheutuvat terveyshaitat, ekojärjestelmässä tapahtuvan luonnon tuotannon, esimerkiksi viljatuotannon, väheneminen, luonnonvarojen hupeneminen ja esteettiset vaikutukset. Nämä vaikutukset johtuvat yleensä useammasta kuin yhdestä edellisen kohdan ympäristövai-

kutusluokasta. Esimerkiksi luonnon tuotannon vähenemistä voivat aiheuttaa happamoituminen, otsonikato, ekomyrkyllisyys ja maan käyttö. Toisaalta rehevöityminen voi kompensoida happamoitumisen vaikutuksia. Edellä mainituilla ympäristövaikutuksilla pyritään hahmottamaan kestävän kehityksen sisältöä sähköntuotannossa

Ympäristövaikutusten ketju päättyy erilaisten vaikutusten yhteisvaikutukseen, joka on käsitteenäkin vaikea hahmottaa, ja vielä vaikeampi löytää sille numeerisia arvoja. Laadullisesti tarkasteltuna tuotetun sähkön ympäristövaikutusarvo on sitä parempi, mitä enemmän ko. sähköntuotanto tukee kestävän kehityksen toteutumista. On kehitetty joitain menetelmiä, joilla saadaan laskettua indeksi tuotteen ympäristövaikutuksille. Osa menetelmistä on monetaarisia, osa osittain asiantuntijoiden mielipiteisiin perustuvia.

Sähköntuotannon ympäristövaikutusprofiililla ei ole mitään yleisesti hyväksyttyä sisältöä. Yksinkertaisimmillaan se sisältää ympäristövaikutusketjun alkupään eli sähkön tuotantoprosessien välittömät vaikutukset eli ympäristökuormituksen tai osan niistä. Täydellisimmillään profiili sisältää kaikki sähköntuotantoon liittyvät ympäristövaikutukset painotettuna niiden vaikutuksella kestäväan kehitykseen. Käytännössä se joudutaan määrittelemään sen mukaan miten on tietämystä ympäristövaikutuksista ja yhteisesti hyväksyttävät tavat määrittää ja mitata eri vaikutuksia.

Ympäristövaikutusten kohdentamisessa tuotetulle sähkölle on analogisia piirteitä kustannusten laskentaan. Osa tietyn laitoksen ympäristövaikutuksista on muuttuvia, osa kiinteitä. Muuttuvat vaikutukset riippuvat sähkön tuotannon määrästä, kuten päästöt ilmaan. Kiinteät vaikutukset eivät riipu tuotannon määrästä. Tällaisia ovat esimerkiksi maa-alan tarve ja materiaalien käyttö rakentamisessa.

3. Suomen energiajärjestelmän ja ympäristövaikutusten pääpiirteet

3.1 Rakenne

Suomen energiahuoltoa voidaan nykyisellään luonnehtia primäärienergiamuodoiltaan monipuoliseksi, tuonnista suuresti riippuvaksi ja suhteellisen paljon uusiutuviin energialähteisiin pohjautuvaksi (taulukko 1). Eräs keskeinen ilmiö Suomen energiataloudessa viime vuosikymmeninä on ollut sähkön kulutuksen voimakas kasvu. 1970-luvulla kasvu oli 90 % vuosikymmenen aikana, 1980-luvulla 60 % ja aikajaksolla 1985 - 95 vielä noin 40 %. Sähkön kulutuksen kasvun arvioidaan edelleen tulevaisuudessa jatkuvan.

Taulukko 1. Primäärienergian kokonaiskulutuksen jakaantuminen eri energialähteille vuonna 1995 (Energiatilastot 1995).

Primäärienergia	Osuus primäärienergian kulutuksesta, %
Fossiiliset polttoaineet	47
- Öljy	27
- Kivihiili	13
- Maakaasu	9
Ydinenergia	14
Sähkön nettotuonti	7
Tuontienergia yht.	68
Vesivoima	10
Puupohjainen energia	15
Turve	5
Muut	2
Kotimainen energia yht.	32

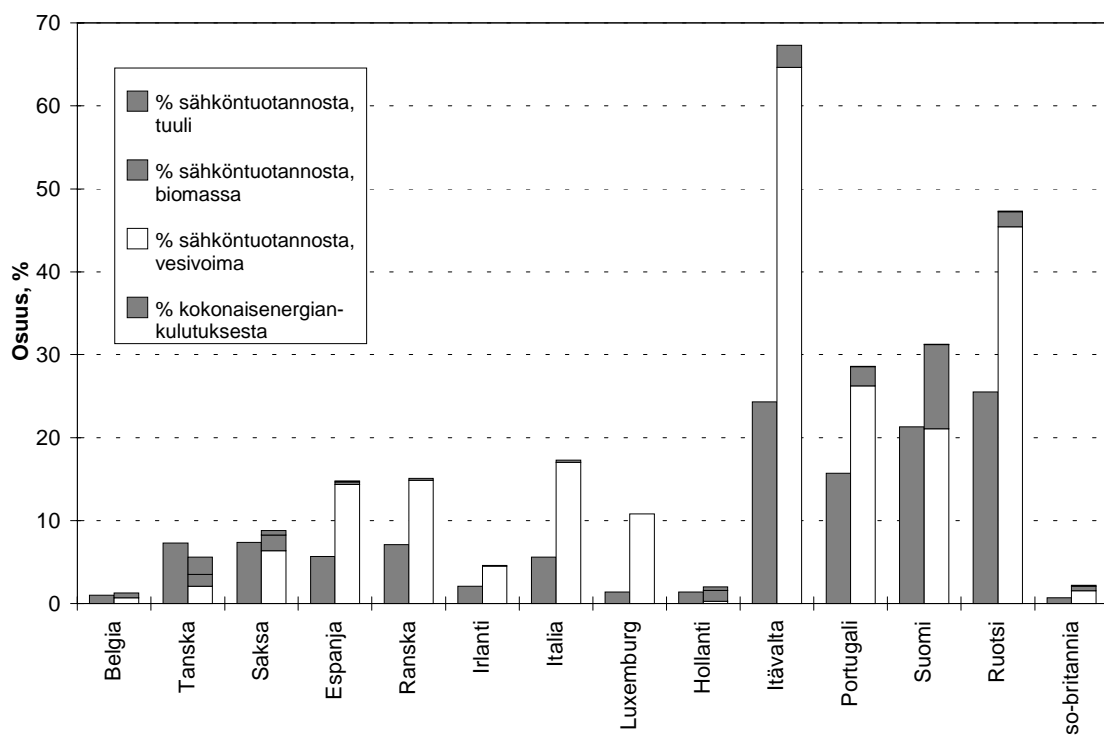
Metsät ovat Suomen tärkein luonnonvara. Niitä käytetään pääasiassa raaka-aineena, mutta puupohjaiset sivutuotteet ja jätteet sekä myös puuaines muodostavat tärkeän uusiutuvan energiavaran energiahuollossa ja myös sähköntuotannossa. Vesivoima on tällä hetkellä toiseksi tärkein kotimainen energiavara, jonka osuus on noin 20 % sähköntuotannosta, mutta merkittäviä laajentamismahdollisuuksia ei vesivoiman osalla ole Suomessa. Varsinaisia fossiilisia energiavaroja ei Suomessa ole, mutta turvetta on runsaasti ja sitä käytetään lämmön ja sähkön tuotantoon.

Viidentoista viime vuoden aikana on energian kokonaiskulutus kasvanut 28 %, ja öljyn kulutus on pienentynyt 22 %, mikä muodostuu siten, että liikenteeseen käytetyn öljyn määrä on kasvanut 40 % ja sähkön ja lämmön tuotantoon käytetyn pienentynyt 45 %.

Energiahuolto perustui Suomessa vuonna 1970 suurelta osin uusiutuviin energialähteisiin, puupolttoaineeseen ja vesivoimaan niiden osuuden ollessa tuolloin yli 70 %. Energiakulutuksen kasvaessa öljyn osuus nousi 1970-luvulla yli 50 %:n. Öljykriisien myötä öljy osuus pieneni ja sähköntuotannossa siirryttiin hiilivoimaan ja ydinvoimaan. Myös kaukolämpövoiman rakentaminen vähensi öljyn käyttöä. Turpeen ja maakaasun käyttö ovat edelleen vähentäneen öljyn osuutta energiankulutuksessa.

Vuonna 1995 primäärienergian kokonaiskulutus oli noin 1 280 PJ, josta uusiutuvien energiamuotojen osuus oli 25 %, fossiilisten polttoaineiden (turve mukaan luettuna) 53 % ja muiden energiamuotojen (ydinenergia, tuontisähkö, jätelämpö) 22 %. Taulukossa 1 esitetään primäärienergiamuotojen kulutusosuudet vuonna 1995. Sähkön tuotanto vastaavana vuonna Suomessa oli 60,5 TWh eli 218 PJ, ja sähkön nettotuonti oli 8,5 TWh.

Uusiutuvan energian osuus kokonaisenergian kulutuksesta on teollisuusmaissa pysynyt viimeiset 15 vuotta melko vakiona. EU-maissa keskiarvo on noin 6 %, USA:ssa ja

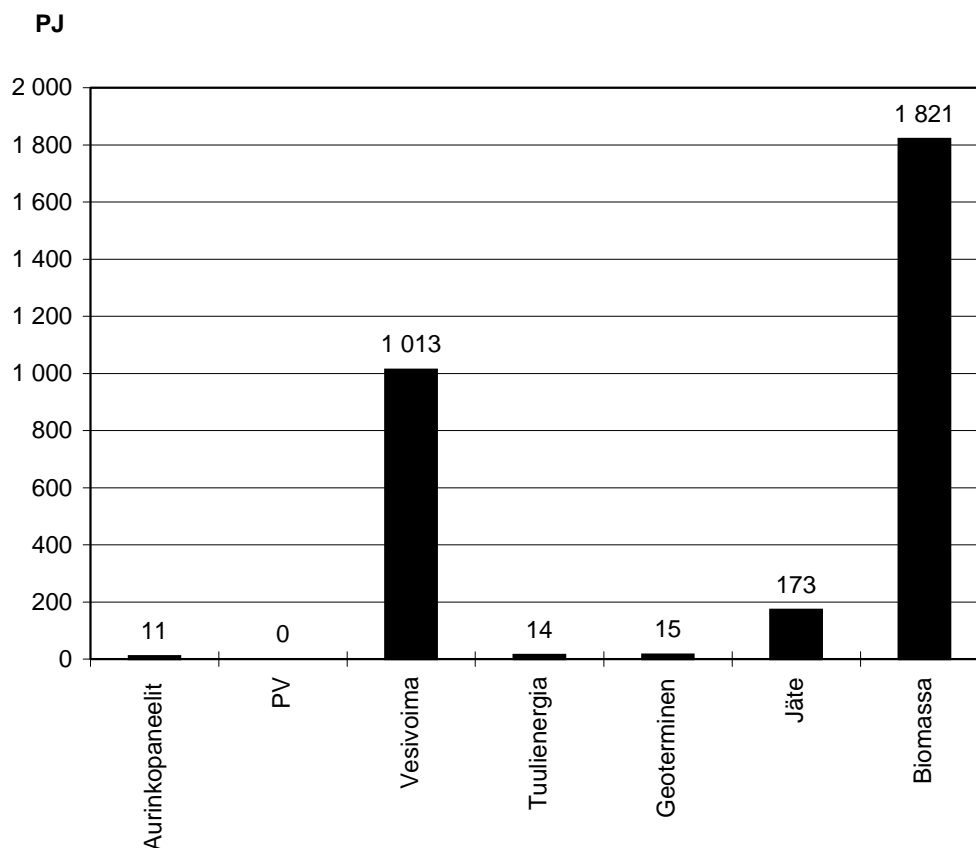


Kuva 4. Uusiutuvien energialähteiden osuus kokonaisenergiankulutuksesta ja sähkön-tuotannosta EU-maissa vuonna 1995. Päälähteet Eurostat ja IEA.

Kanadassa noin 7 % ja Suomen siis noin 20 %. Erot maiden välillä voivat kuitenkin olla suuria, kuten kuva 4 osoittaa. EU-maista Itävalta ja Ruotsi sekä myös Norja tuottavat energiaa enemmän uusiutuvista lähteistä kuin Suomi suuren vesivoimamääränsä takia.

Uusiutuvien energialähteiden osuus eri maiden sähköntuotannossa on pääsääntöisesti suurempi kuin kokonaisenergiankulutuksessa kuten kuva 4 soittaa. Suomessa uusiutuvien osuus sähkön tuotannossa on noin 30 %, ja tätä suurempi arvo on Euroopassa vain Norjalla, Itävallalla ja Ruotsilla.

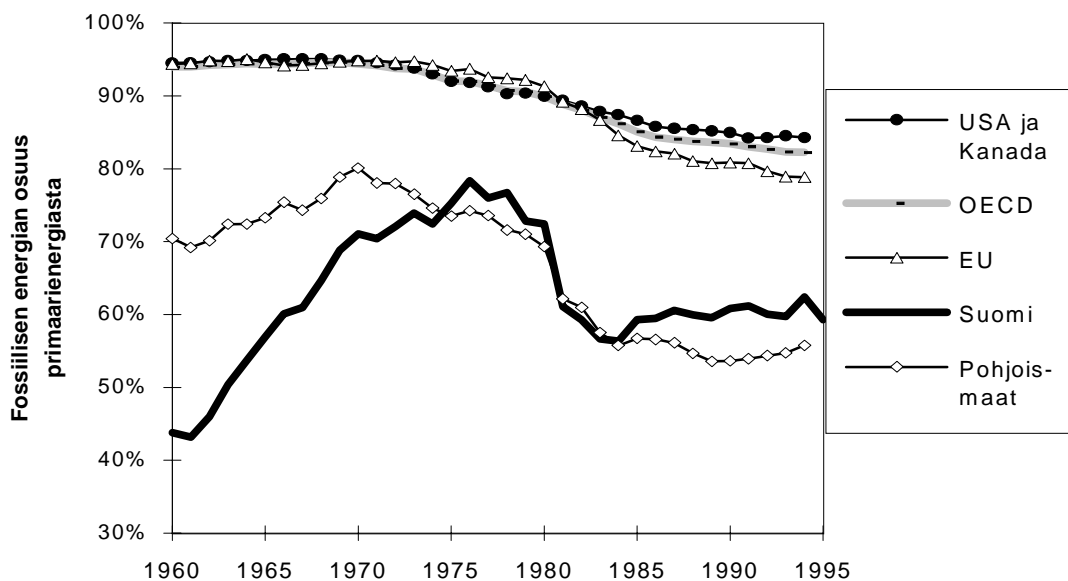
Uusiutuvat energiamuodot sisältävät useita erityyppisiä energialähteitä. Kuitenkin vain biomassalla ja vesivoimalla on tällä hetkellä merkitystä energian kokonaistaseisiin. Kuvassa 5 esitetään erilaisten uusiutuvien energiamuotojen käyttömäärät EU-maissa yhteensä. Biomassan, johon luetaan puun energiakäyttö, kaatopaikkakaasu, viemäriete ja eräät maatilaenergiat, energiatuotto on 1 800 PJ, kun vesivoiman määrä on 1 000 PJ.



Kuva 5. Uusiutuvien energialähteiden käyttö EU-maissa vuonna 1995 (Eurostat 1997).

Suomessa bioenergian osuus energian kokonaiskulutuksesta on noin 15 %, mikä on OECD-maiden korkein. Ruotsissa bioenergian osuus on tosin lähes yhtä suuri.

Fossiilisten polttoaineiden kulutuksen kehitys Suomessa ja vertailu muihin maihin esitetään kuvassa 6. Suurimmillaan 1970-luvun lopulla fossiilisten polttoaineiden osuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta lähenteli 80 %:a, mutta mm. ydinvoiman käyttöönoton myötä laski nopeasti alle 60 %:n. Nykyään osuus on, kun turve luetaan fossiiliseksi polttoaineeksi, noin 55 %, muualla teollistuneessa maailmassa osuus on 80 - 90 %.



Kuva 6. Fossiilisten polttoaineiden osuus Suomen ja eri vertailuryhmien primäärienergian kulutuksesta.

3.2 Päästöt

Energiantuotannon korkea hyötysuhde ja fossiilisten polttoaineiden vähäinen osuus merkitsevät kansainvälisesti katsoen poikkeuksellisen pieniä sähköntuotannon ominaispäästöjä. Tehtyjen vertailujen mukaan esimerkiksi Suomen hiilidioksidipäästöt vuonna 1990 olivat noin 200 g(CO₂)/kWh, kun keskimääräiset päästöt EU:n jäsenmaissa olivat 440 g/kWh. Jos sähkön kulutuksen kasvu peitetään fossiilisiin polttoaineisiin tai turpeen perustuvalla laudevoiman tuotannolla, Suomen päästöt kasvavat tulevaisuudessa. EU-maissa keskimäärin odotetaan ominaispäästöjen vähenevän lähemmäksi Suomen tasoa. Näillä perusteilla arvioidaan vuonna 2005 sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen olevan Suomessa 320 g/kWh ja EU:ssa keskimäärin 370 g/kWh.

Hiukkaspäästöjä on Suomessa alennettu erilaisilla tekniikoilla jo kauan, ja nykyään ilmaan pääsee esimerkiksi kivihiilivoimalaitoksista tyypillisesti 0,1 - 0,3 % savukaasujen hiukkasista. Suomen voimalaitosten hiukkaspäästöt ovat yhteensä noin 20 000 tonnia kokonaispäästöjen ollessa 50 000 tonnia.

Rikkidioksidipäästöt ovat Suomessa alentuneet nopeasti vuoden 1980 tasolta. Nykyisellään rikkipäästöt ovat alle 20 % verrattuna 80-luvun alun arvoihin. Rikkidioksidin kokonaispäästöt olivat vuonna 1995 noin 96 000 tonnia, josta energiantuotannon osuus oli 62 000 tonnia. Rikkidioksidipäästöjen pieneneminen johtuu sekä polttoaineiden rikkimäärien pienenemisestä että tehokkaammasta savukaasujen puhdistuksesta.

Typen oksidien päästöt ovat olleet kasvussa, mikä selittyy liikenteen kasvulla. Kansainvälisten sopimusten mukaan Suomen pyrkimyksenä on kuitenkin typpipäästöjen alentaminen selvästi vuoden 1987 tasoon verrattuna. Päästöjen vähentämistä on saavutettu erityisesti energiasektorilla. Typen oksidien kokonaispäästöt NO₂:ksi laskettuna olivat vuonna 1995 noin 260 000 tonnia. Tästä energiasektorin osuus oli 66 000 tonnia.

Kasvihuonekaasuista merkittävin on hiilidioksidi, jota syntyy kaikessa polttamisessa. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä tai niiden kasvun hidastamisessa ainoat keinot ovat energiantuotantojärjestelmän muutokset ja energian käytön tehostaminen. Suomen hiilidioksidin kokonaispäästöt fossiilisista polttoaineista ja turpeesta olivat vuonna 1995 noin 55 miljoonaa tonnia. Energiantuotannon osuus tästä oli 43 miljoonaa tonnia. Muista kasvihuonekaasuista energiajärjestelmä aiheuttaa merkittäviä määriä metaani- ja dityppioksidipäästöjä. Lisäksi typpioksidien aiheuttaman laskeuman seurauksena maaperässä muodostuu jonkin verran dityppioksidia. Suomen energiantuotannosta aiheutuva metaanipäästö määrä arvioidaan vuonna 1994 olleen 0,3 milj. CO₂-ekv-tonnia, kun kokonaispäästö oli noin 23 milj. CO₂-ekv-tonnia. Kokonaismetaanipäästöistä noin kaksi kolmannesta vapautuu luonnonvaraisista soista. Dityppioksidin päästö määrä vuonna 1994 oli noin 6,4 milj. CO₂-ekv-tonnia, josta energiantuotannon osuus oli 1,5 milj. CO₂-ekv-tonnia. Hiilidioksidiekvivalentit on laskettu käyttäen luvun 6.2.2 mukaisia sadan vuoden tarkastelujaksoa vastaavia kertoimia.

3.3 Suomen luontoa kuormittavan laskeuman alkuperä

Rikin ja typen oksidit voivat kulkeutua ilmakehässä tuhansia kilometrejä. Suomeen tuleva vasta rikkilaskeumasta suurin osa tulee itäisestä Euroopasta, ja vain runsas 10 % Suomen kokonaislaskeumasta on peräisin kotimaisista päästölähteistä.

Typpilaskeuma voi esiintyä ilmakehässä monina erilaisina yhdisteinä ja olla peräisin eri lähteistä. Pääasiassa liikenteestä ja energiantuotannosta peräisin oleva nitraattityppi vii-pyy ilmakehässä kauemmin ja leviää laajemmalle alueelle kuin ammoniumtyppi. Suo-

men nitraattityppilaskeumasta suurin osa tulee kaukokulkeutumana Länsi-Euroopasta. Vain alle 20 % on peräisin kotimaisista päästölähteistä.

Taulukossa 2 esitetään Suomen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin ja typpioksidien laskeuma Suomeen sekä vastaavasti kokonaislaskeuma parina viime vuonna.

Taulukko 2. Rikin ja typen oksidien laskeumien alkuperä Suomessa vuosina 1990 ja 1993.

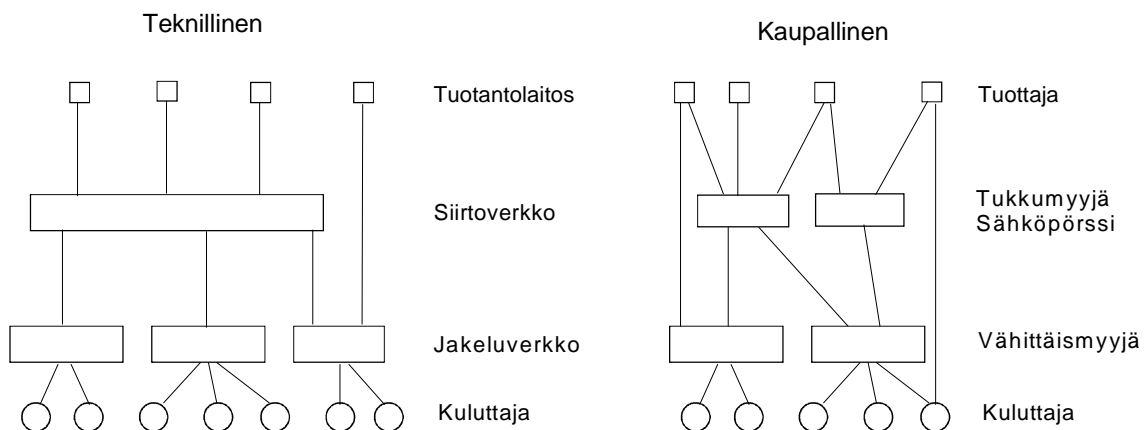
	Kotimaisten päästöjen laskeuma		Kokonaislaskeuma	
	v. 1990	v. 1993	v. 1990	v. 1993
SO ₂ (kt-S)	32	12	153	107
NO _x (kt-N)	11	10	66	56

4. Sähköntuotantojärjestelmän piirteet ympäristölaadun kannalta

4.1 Sähköntuotannon ja sähkömarkkinoiden toiminta

Sähköjärjestelmälle asetettavat yleiset vaatimukset liittyvät sähkön tekniseen laatuun ja sähköntoimituksen luotettavuuteen. Kuluttajan ottamalla sähköllä tulee olla tietty jännite ja taajuus ja kuluttajan tulee saada verkosta kulutuksensa suuruinen teho sopimusten puitteissa. Toinen sähköjärjestelmän toimintaan liittyvä tekninen piirre on, että sähköä ei käytännössä voida varastoida, vaan tuotannon on joka hetki vastattava kulutusta.

Sähköjärjestelmän ylläpito edellyttää paitsi sähkön tuotantoa ja siirtoa kuluttajille, informaation kulkua ja käsittelyä sekä tarvittavia ohjaustoimenpiteitä järjestelmän toimivuuden varmistamiseksi. Kuvassa 7 esitetään sähköjärjestelmän (tuotantovaiheesta kuluttajalle) toiminnalliset osat. Teknillisiä osia ovat tuotantolaitokset, siirtoverkko ja jakeluverkko sekä kuluttajalaitteet. Kaupalliselta kannalta sähkön myyjät välittävät tuotetun sähkön kuluttajille. Suurkuluttajat voivat ostaa sähkönsä suoraan tukkumyyjiltä tai tuottajilta. Kaikki sähkökaupan osapuolet ovat omalta osaltaan vastuussa järjestelmän toimivuudesta. Päävastuu tilanteen nopeiden muutosten hallinnassa on siirto- ja jakeluverkkojen haltijoilla. Kysynnän ja tarjonnan tasapainosta pitemmällä aikavälillä vastaavat lähinnä sähkön tuottajat ja myyjät. Myös kuluttajien on vastattava omasta osuudestaan, johon kuuluu mm. siitä huolehtiminen, että sähkön ostosopimuksissa on määritelty sähkön toimitusvarmuutta koskevat vaatimukset.



Kuva 7. Sähköjärjestelmän ja -markkinoiden teknillinen ja kaupallinen rakenne.

Suomen sähkömarkkinoiden perusajatuksia ovat, että kuluttaja voi hankkia sähkönsä keneltä sähkön välittäjältä hyvänsä ja että jakeluverkon haltijan on välitettävä sähkö alueellaan oleville kuluttajille jakeluverkon kautta. Tämän avoimen toimintamallin

lähtökohtana on, että kuluttajalla on sähkön hankintasopimus, jossa määritellään jonkin-
tasoiset rajat sähkön hankinnalle, ja sähkönmyyjä vastaa puolestaan toimittamansa
sähkön hankinnasta. Sähkönmyyjä voi hankkia kuluttajilleen tarvitsemansa sähkön
omilta sähköntuotantolaitoksilta tai sopimusten mukaan markkinaoperaattorilta, mikä
voi olla toinen välittäjä tai sähköpörssi. Avoimen toimintamallin peruseriaate on myös,
että jokainen sähköntoimittaja voi toimittaa sähköä verkon kautta kuluttajille täytettyään
tiedut tekniset ehdot.

Sähkön kuluttajan tekemät sähkönostosopimukset asettavat tietyt rajat tehon ja energian
määrille, mutta tarkkaa kulutusmäärää ei sopimuksissa voida määrätä, vaan periaatteena
on, että kuluttaja ottaa verkosta tarvitsemansa sähkön. Kuluttaja voi kuitenkin tehdä
useitakin sopimuksia, joista yksi on määrältään avoin ja muut kiinteitä. Koko sähköjär-
jestelmän toimivuudesta on järjestelmävastuu valtakunnallista siirtoverkkoa ylläpitäväl-
lä Suomen Kantaverkko Oy:llä, jolla on oikeus asettaa tarvittavia vaatimuksia järjestel-
mään liitetyille voimalaitoksille ja alemman tason sähköverkoille. Järjestelmävastuu-
seen sisältyy huolehtiminen kysynnän ja tarjonnan hetkellisestä tasapainosta ja siitä, että
tähän tehtävään on aina käytettävissä riittävästi varatehoa.

Koska sähkön tulevaa kulutustasoa ei voida tarkoin ennakoida, eivät sähkön myyjien ja
ostajien väliset kaupat täysin vastaa niihin myöhemmin perustuvaa sähkön käyttöä. Osa
poikkeamasta liittyy edellä mainittuun hetkellisen tasapainon saavuttamiseen, mutta tätä
suuremmat poikkeamat ennakoituista määristä hoidetaan tuntitasolla tasesähkökauppa-
na. Vastuu tasesähkökaupasta annetaan kantaverkon haltijalle. Eri sähköntuottajien
omistamien voimalaitosten käytöstä taseen ylläpitoon tarvittavan säätösähkön tuottami-
seen sovitaan tasesähköyksikölle tehtyjen tarjousten pohjalta. Sähkönmyyjät eivät
useimmissa tapauksissa selvitä tasettaan suoraan tasesähköyksikön kanssa, vaan välilli-
sesti ns. avoimen toimittajan kautta. Kullakin avoimella toimittajalla on oltava oma
avoin toimittajansa, ylimmällä tasolla tasesähköyksikkö hoitaa tämän tehtävän.

Kunkin sähkön ostajan ja myyjän sähkötaseen avulla selvitetään kuka on kuluttanut
minkäkin verran sähköä ja kuinka paljon kukin tuotantolaitos on tuottanut sähköä. Jos
sähkön välittäjä on myynyt enemmän sähköä kuin on sopimusten mukainen hankinta, on
sähkö tullut avoimen toimittajan kautta ja välittäjän on maksettava siitä avoimen toimi-
tussopimuksen mukainen määrälliseen sopimukseen perustuvaa kauppaa korkeampi hin-
ta. Sähkötaseet kirjataan ja toteutetaan tunnittaisina energiamäärinä. Erityyppisten säh-
köntoimitusten hinnat voivat myös vaihdella tuntitasolla.

Jokainen sähkökäyttäjä voi jo nyt tehdä periaatteessa toimitussopimuksen minkä tahan-
sa sähkönmyyjän kanssa. Tällainen sopimus edellyttää kuitenkin sähkönmittausta tunti-
tasolla, jolloin kustannukset ovat pienkuluttajalle toistaiseksi hyötyyn verrattuna suh-
teettomat, mutta laskevat tekniikan kehittyessä. Vuoden 1998 aikana on tarkoitus siirtyä
pienkuluttajille tapahtuvassa kaupassa myyntisopimuksiin, jotka perustuvat nykytyyppi-

seen energianmittaukseen ja kunkin kuluttajaluokan keskimääräistä kulutuksen aika-vaihtelua kuvaaviin kuormituskäyriin. Tämä malli ei periaatteessa sovellu sähkönmyyntiin sellaisille asiakkaille, joiden aiheuttaman kuormituksen ajalliset vaihtelut poikkeavat olennaisesti kyseiselle kuluttajaluokalle laaditusta kuormituskäyrästä. Tällöin joudutaan turvautumaan tuntimittaukseen.

Edellä - monelta osin yksinkertaistetusti - kuvattu sähköjärjestelmän toimintamalli on pääpiirteiltään nykyisen käytännön mukainen, mutta vastaa joiltain osin vielä käsittelyssä olevaa sähkömarkkinalain muutosesitystä. Näiltä osin ei nykytilannetta voida pitää vakiintuneena.

4.2 Sähköntuotannon rakenne

Suomen sähköntuotantojärjestelmää voidaan kuvata muutamalla tuotantoluvulla. Sähköntuotannosta vuonna 1995 noin 34 % tuotettiin yhteistuotantolaitoksilla. Polttoaineilla tuotetusta sähköstä yhteistuotannon osuus oli noin 70 %. Yhteistuotannon hyötysuhde oli kaukolämmön tuotannossa 85 % ja teollisuudessakin noin 80 %. Polttoaineisiin perustuvan sähköntuotannon hyötysuhteen arvioidaan olleen yli 50 %, mikä on Euroopan korkeimpia arvoja.

Taulukossa 3 esitetään sähkön tuotanto tuotantomuodoittain Suomessa vuonna 1996 ja taulukossa 4 sähkön tuotanto primäärienergiälähteittäin vastaavana ajankohtana.

Taulukko 3. Sähköntuotanto Suomessa vuonna 1996 tuotantomuodoittain (Sähkötilasto 1996).

Tuotantomuoto	Sähkön tuotanto TWh	Osuus %
Vesivoima	11,7	16,7
Teollisuuden vastapainevoima	9,7	13,9
Kaukolämpövoima	12,5	17,8
Prosessilauhdevoima	0,5	0,6
Ydinvoima	18,7	26,7
Tavallinen lauhdevoima	13,3	19,0
Kaasuturbiinivoima	0,03	0,05
Tuulivoima	0,01	0,02
Nettotuonti	3,7	5,2
Yhteensä	70,0	100

Taulukko 4. Sähkö tuotanto Suomessa vuonna 1996 primäärienergiälähteittäin (Finergy 1997).

Primäärienergia	Sähkön tuotanto TWh	Osuus %
Vesivoima	11,7	16,7
Ydinvoima	18,7	26,7
Hiili	14,6	20,9
Öljy	1,5	2,1
Maakaasu	7,2	10,3
Turve	5,8	8,3
Muut kotimaiset polttoaineet	6,9	9,9
Nettotuonti	3,7	5,3
Yhteensä	70,0	100

Sähköntuotantokapasiteettia oli Suomessa vuoden 1996 lopussa hetkellisesti saatavissa käyttöön noin 15 300 MW. Tuntitasolla tuotannon maksimiteho ko. vuonna oli 11 300 MW. Kapasiteetti muodostui eri tuotantomuodoista taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5. Suomen käytävissä oleva hetkittäinen tuotantokapasiteetti vuoden 1996 lopussa (Finergy 1997).

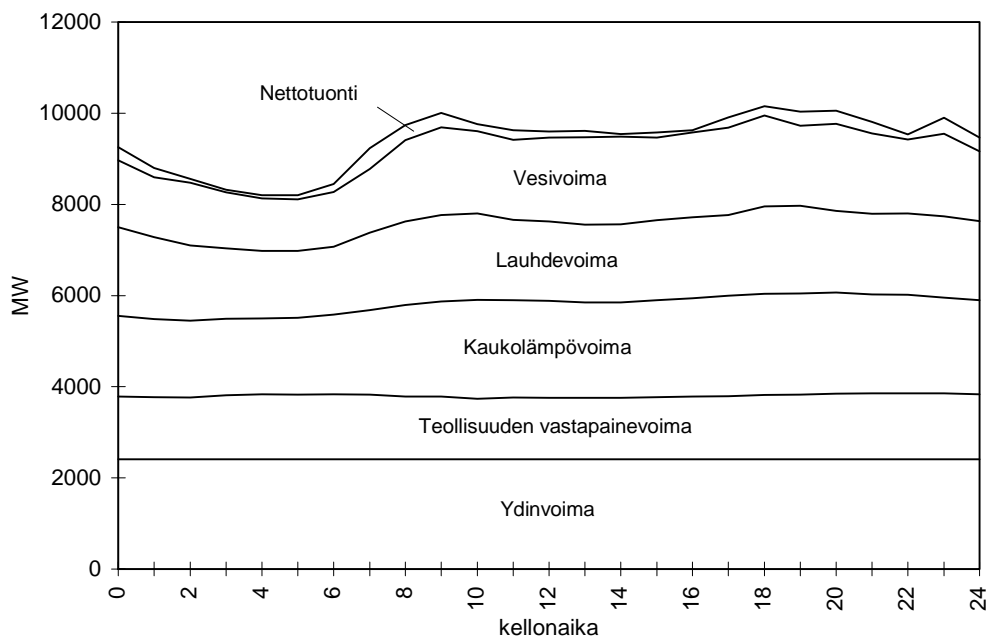
Tuotantomuoto	Kapasiteetti, MW
Vesivoima ¹	2 250
Ydinvoima	2 350
Tavallinen lauhdevoima	3 550
Teollisuuden vastapainevoima	1 530
Kaukolämpövoima	2 740
Kaasuturbiinit (huippuvoima)	1 450
Tuonti ²	1 400
Yhteensä	15 270

¹⁾ Lisäksi 200 MW taajuudensäätö- ja hetkellistä häiriöreserviä

²⁾ Lisäksi 700 MW käytettävissä häiriöissä

Sähköntuotantolaitosten käyttö vuoden aikana määräytyy pitkälti laitosten käyttökustannusten ja primäärienergian saatavuuden mukaan. Ensin käytetään hyväksi vesivirtaamaan liittyvä vesivoima siltä osin kuin sitä ei voida varastoida. Varastoitavissa oleva osa vesienergiasta pyritään käyttämään mahdollisimman suuressa määrin kulutushuipujen aikana. Myös muun käyttökustannuksiltaan halvan energian, kuten tuulivoiman, tuotantomahdollisuudet, hyödynnetään kokonaisuudessaan. Ydinvoiman muuttuvat käyttökustannukset ovat myös edulliset, joten koko ydinvoiman saatavissa oleva teho käytetään miltei poikkeuksetta. Sähkön ja lämmön yhteistuotantomahdollisuudet teollisuuden vastapainevoimana ja kaukolämpövoimana käytetään yleensä lämmön tuotantotarpeen sallimissa rajoissa. Eritasoiset lauhdelaitokset ja erikoistilanteissa kaasuturbiinilaitokset peittävät viimeisenä tuotantoryhmänä kulutusta kuormitusvaihteluiden mukaisesti. Tuontisähkön käyttö riippuu sopimuksista ja hetkittäisestä hinnasta.

Tuotantolaitosten taloudellisesti edullisin käyttöjärjestys vastaa pitkälti ympäristövaikutusten mukaista järjestystä. Käyttökustannuksiltaan kalleimmat laitokset otetaan sähkön- tuotantoon peruskuormalaitosten jälkeen. Polttoaineisiin perustuvassa sähköntuotannossa päästöt korreloivat varsin hyvin käyttökustannusten kanssa. Päästöt vaikuttavatkin vain poikkeustapauksessa välittömästi laitosten käyttöön. Peruskuormalaitosten korkeiden rakennuskustannusten ja riittämättömän säädettävyyden takia joudutaan osa voimalaitoksista rakentamaan perustuen ratkaisuihin, joiden käyttökustannukset ja usein myös

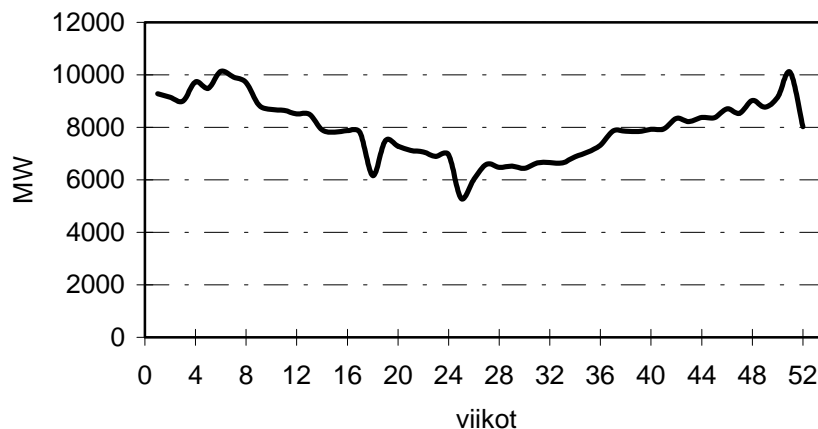


Kuva 8. Sähkön kysyntä ja tuotanto talvipäivän aikana (16.1.1997). Lauhdevoima sisältää myös 0 - 20 MW kaasuturbiinitehoa.

päästötaso ovat korkeammat, mutta säädettävyys parempi.

Kuvassa 8 on esimerkki sähkön tuottamisesta talvipäivän kuormitustilanteessa. Kuormituksen vuorokausivaihtelu on lähes 1 900 MW. Vaihtelun vaatimasta tuotannon säädöstä vastaa ensisijaisesti vesivoima, mutta myös tuonti ja lauhdevoima. Ydinvoiman sekä yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon tehot ovat yöllä vain hieman päivää alhaisemmat. Marginaalikuorman tuottaja eli kustannuksiltaan kallein käytössä oleva laitostyyppi kyseisessä kuormitustilanteessa on tavanomainen lauhdevoima ja pieneltä osin kaasuturbiinivoima. Mahdollinen lisäsäätötarve kohdistuu täten ensisijaisesti lauhdevoimaan.

Vuorokausivaihtelun ohella kuormitus vaihtelee vuodenajan mukaan, kuten kuvassa 9 oleva viikkotason kulutuskäyrä vuodelta 1996 osoittaa. Ero helmikuun viikon 6 ja kesäkuun viikon 25 keskitehon välillä on 4 835 MW. Kuormituksen vaihteluiden takia sähkön tuotantolaitosten käyttö ja erityisesti marginaalitehon tuottajan tuotantomuoto, polttoaine ja päästöt vaihtelevat merkittävästi vuoden aikana ajanhetken mukaan.



Kuva 9. Sähkön kysyntä vuonna 1996 viikkotaisina keskitehoina.

4.3 Sähköntuotannon kehittyminen

Sähköntuotannon teknistaloudellinen kilpailukykyvaatimus, energian säästötavoitteet ja ympäristövaikutusten huomioonottaminen ovat vaikuttaneet siihen, että voimalaitostekniikka on kehittynyt ja kehittyä edelleen voimakkaasti. Uusien tekniikoiden pitkä kehitysprosessi ja laitosten usein yli 20 - 30 vuoden käyttöikä vaikuttavat kuitenkin siihen, että muutokset vaativat tietyn ajan.

Parinkymmenen vuoden aikana voimalaitosten polttotekniikassa on siirrytty arinapoltoista ympäristöystävällisempään ja paremmin uusiutuville polttoaineille soveltuvaan leiju-

polttotekniikkaan. Suurimmissa hiilikattiloissa käytössä oleva pölypolttotekniikka on niinkään kehittynyt. Kattilalaitosten toimintaolosuhteita muuttamalla on voitu parantaa sähköntuotannon hyötysuhdetta lauhdekäytössä 36 - 38 %:sta 40 %:iin ja parhaimmillaan 43 %:iin. Uusilla maakaasukäyttöisillä kombivoimalaitoksilla tullaan pääsemään jo 58 %:n sähköntuotantohyötysuhteeseen. Tukipolttoaineiden, lähinnä öljyn, käyttöä on voitu pienentää alle 2 %:iin kiinteän polttoaineen kattiloissa ja monipolttoainekäytön mahdollisuus (esim. hiili/puu) on parantunut.

Yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa sähköntuotannon polttoainetarve on vain noin puolet erillistuotannon tarpeesta. Tuotetun sähkön ja lämmön suhdetta (ns. rakennusastetta) on onnistuttu nostamaan niin teollisuuden vastapainetuotannossa kuin kaukolämmöntuotannossakin, jossa sähköntuotanto voi parhaimmillaan jopa ylittää lämmöntuotannon. Tämä kehitys sekä laitostekniikan parantaminen ovat tuoneet tuntuvia energiansäästöjä yhteistuotantolaitoksilla. Vastaavasti myös päästöt pienenevät yhteistuotannossa. Kun esimerkiksi hiililauhutusvoiman aiheuttama hiilidioksidipäästö on noin 760 - 950 g CO₂/kWh, on yhteistuotannossa vastaava päästö sähkön osalle noin 400 g CO₂/kWh. Yhteistuotannon mahdollisuudet on Suomessa jo pääosiltaan hyödynnetty. Yhteistuotannossa lämmön tuotanto määrää sähköntuotantotehon, ja esimerkiksi kaukolämmön tuotannossa huipun käyttöaika on 2 700 - 3 000 tuntia vuodessa, mikä painottuu erityisesti talvikauteen.

Kaupalliseen käyttöön odotetaan tulevaisuudessa tulevan ns. IGCC-laitosten (Integrated Gasification Combined Cycle), joissa maakaasun sijasta voidaan kombiprosessissa käyttää ensimmäisessä kehitysvaiheessa hiiltä ja myöhemmin mahdollisesti puupohjaisia polttoaineita. Tällöin kiinteän polttoaineen laitoksella voitaisiin saavuttaa rakennusaste 0,8 ja lähes 90 %:n kokonaishyötysuhde yhteistuotannossa. Tavanomaisessa hiililämmitysvoimalaitoksessa vastapainetuotannon rakennusaste on 0,48 - 0,58 ja maakaasulla toimivassa kombilaitoksessa noin 1. Vaikka pilottilaitoksia onkin jo rakennettu, on IGCC-tekniikan, samoin kuin muiden vastaaviin suoritusarvoihin pystyvien ratkaisujen, täysimittaisen kaupallistamisen aikataulu vielä avoin. Niiden osuus tuotannosta ei missään tapauksessa tule olemaan suuri vielä 10 - 15 vuoteen.

Ydinvoimalaitoksia on Suomessa kehitetty kohottamalla laitosten turvallisuutta ja tehoa sekä varmistamalla korkea käytettävyyttä ja pitkä käyttöikä. Suomen ydinvoiman käyttökerroin on noin 0,9, kun se maailmassa on keskimäärin hieman yli 0,7. Käynnissä olevat tehonkorotushankkeet merkittävistä yhteensä noin 300 MW:n lisäystä ydinvoimatehon suhteellisen edullisin kustannuksin ja vähäisin ympäristövaikutuksin. Suomessa seurataan tiiviisti kansainvälistä kehitystä ydinturvallisuuden alalla ja otetaan uusia entistä parempia menettelyjä käyttöön siltä osin kuin ne soveltuvat Suomen nykyisiin laitoksiin. Ydinjätteen käsittelyn ja loppusijoituksen osalta kehitetään, osin kansainvälisenä yhteistyönä, maamme olosuhteisiin soveltuvia ratkaisuja, mm. ydinpolttoaineen suoraa loppusijoitusta kallioperään.

4.4 Uusiutuvat energialähteet

4.4.1 Puu

Sähkön tuotannossa Suomi on EU-maista selvästi suurin biopohjaisten energialähteiden käyttäjä. Merkittävimmät polttoaineet ovat metsäteollisuuden kierrätysainekset ja muut puuperäiset jätteet, joista tuotetaan sähköä noin 6 000 GWh vuodessa. Toisella sijalla on Itävalta, jossa niin ikään puupohjaisista jättepolttoaineista saadaan noin 2 700 GWh sähköä. Kolmannella sijalla on Ruotsi. Jos myös yhdyskuntajätteet rinnastetaan biopolttoaineisiin, niin tällä hetkellä Saksa olisi toisella sijalla noin 3 000 GWh:n sähkömäärällä.

Suomen metsäteollisuus käyttää vuosittain 50 - 55 milj. m³ kotimaasta ja ulkomailta hankittua puuta (Puun energiakäyttö 1993). Suurin kestävä hakkuukertymä Suomen metsissä on nykyisellään noin 70 milj. m³. Sen arvellaan kasvavan kymmenisen prosenttia vuoteen 2010 mennessä (Helynen & Nousiainen 1996).

Teollisuuden prosessien sivutuotteena syntyy puuperäistä ainesta, joka poltetaan. Energiantuotantoon tulevan sivutuotepuun aineksen koostumus on talukon 6 mukainen.

Taulukko 6. Metsäteollisuuden energiantuotantoon tuottama sivutuotemäärä (puukiinto-m³) (Puun energiakäyttö 1993).

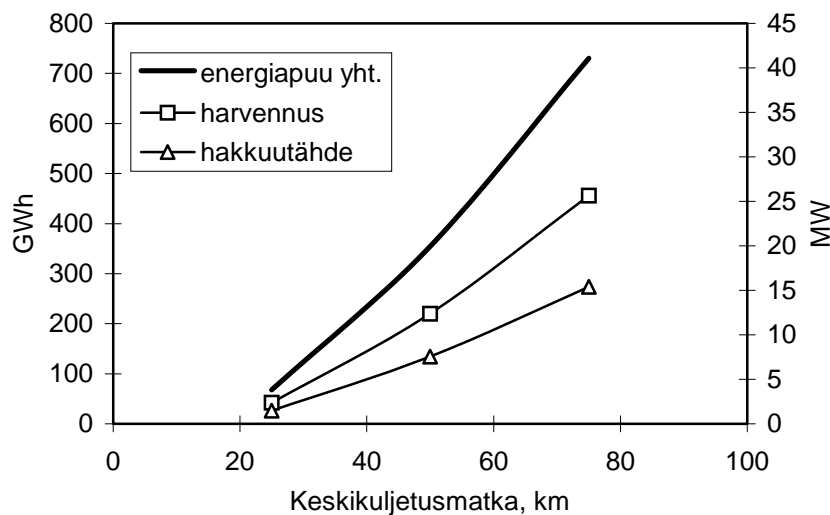
Puuaines	Määrä milj.m ³	Energiasisältö Mtoe
Kuori	5,0	0,9
Puru	0,7	0,1
Selluteollisuuden mustalipeä	14,3	2,6
Teollisuuden muu jätepuu	1,0	0,2
Yht. sivutuotepuun energiakäyttö	21	3,8

Raaka-ainekäytön ohessa metsissä on tarjolla huomattava määrä hukkarunkopuuta, latvusmassaa ja pieniläpimittaista kokopuuta, jotka voitaisiin periaatteessa hyödyntää energiantuotannossa. Hakkuutähteiden määrän arvioidaan olevan 10,7 milj. m³ vuodessa ja siitä kerättävissä energiantuotantoon 3,7 milj. m³. Tämä vastaa tehollisena energiana 0,65 Mtoe. Ensiharvennuksissa korjattavissa olevaksi polttopuumääräksi arvioidaan 3,6 milj. m³, mikä vastaa 0,6 Mtoe:n energiamäärää.

Energiapuun hankinta voimalaitokselle edellyttää, että käytettävissä on riittävä metsäpinta-ala ja hankintaan liittyy huomattava kuljetustarve. Kuvan 10 avulla nähdään, kuinka suuri energiamäärä on kerättävissä tietyn keskimääräisen kuljetusmatkan puitteissa. Esimerkiksi 75 km:n kuljetusetäisyydeltä voidaan kerätä kokopuuta 450 GWh vastaava vuotuinen puumäärä harvennushakkuun yhteydessä tai 270 GWh:n energiamäärä uudistushakkuun hakkuutähteenä, yhteensä 720 GWh. Yhteismäärä vastaa 40 MW:n sähkötehon ja 80 MW:n kaukolämpötehon tuotantolaitosta. Kuvan oikeanpuoleisella akselilla on nähtävissä laitoksen sähkötehon suuruus.

Metsiä käytetään raaka-ainepuun lisäksi polttopuuna. Sen käyttömäärä on nykyisellään noin 5,6 milj. m³ eli energiamäärältään 1,1 Mtoe.

Päästöt puun poltossa riippuvat polttolaitteiden kokoluokasta ja puhdistuslaitteista. Kun pienpoltossa hiilimonoksidi, hiilivety-, pöly- ja PAH-päästöt ovat merkittävän suuria, voimalaitoskokoluokassa erot tasaantuvat esimerkiksi hiilipolttoon verrattuna, vaikkakin ovat puulle isommat. Rikkiä polttopuu sisältää tuskin lainkaan ja raskasmetallipäästötkin ovat alle hiilipoltton arvojen. Puun poltto ei myöskään lisää kasvihuonevaikutusta, kun otetaan huomioon koko polttoainekierto.



Kuva 10. Kuljetusmatkan vaikutus energiapuun hankintaan.

4.4.2 Vesivoima

Vesivoimalla tuotettiin vuonna 1996 sähköä 11,7 TWh eli 17 prosenttia maan kokonais-tarpeesta. Pääosa eli yli 90 % vesivoimasta tuotettiin yli 10 MW:n laitoksilla. 1 - 10 MW:n vesivoimalaitoksissa tuotettiin 1 TWh ja alle 1 MW:n laitoksilla 0,1 TWh. Vesivoiman kokonaisteho oli 2 800 MW.

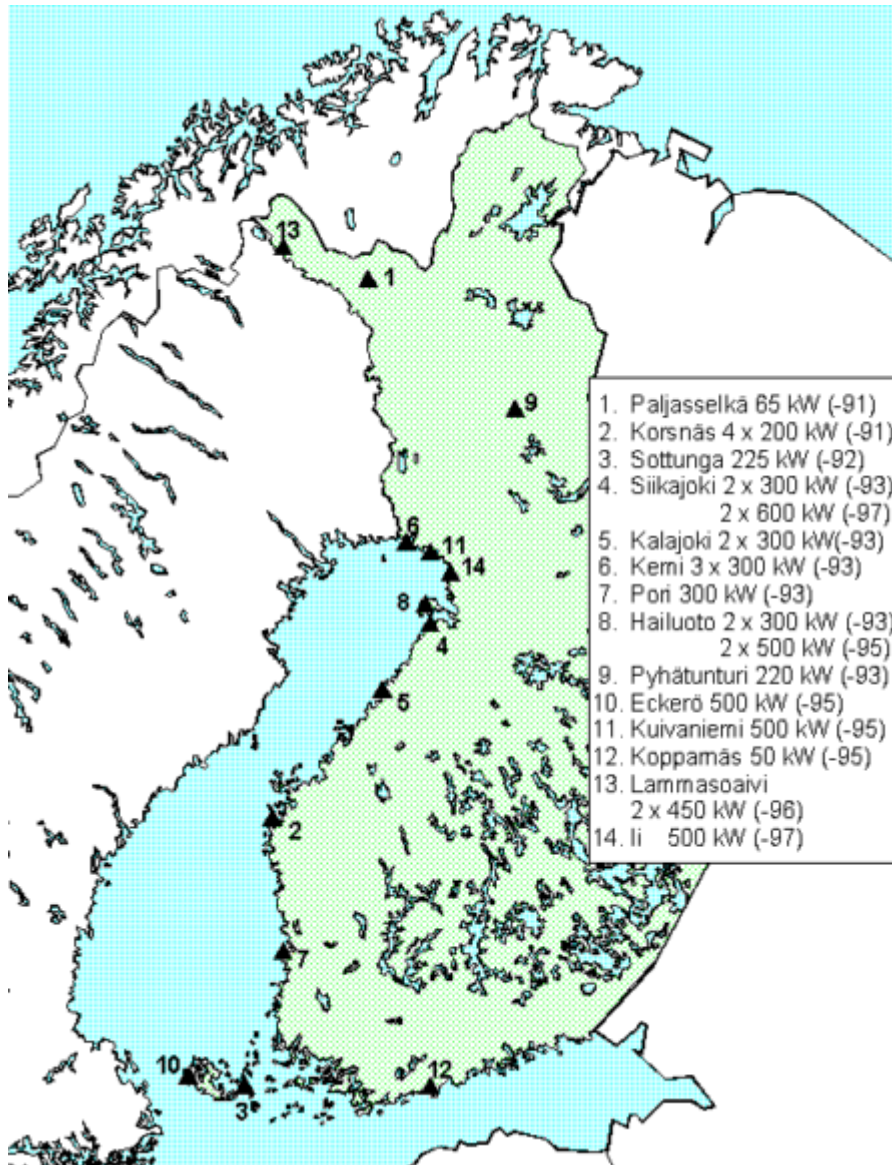
Vesivoimalla on tärkeä merkitys sähkön toimitusvarmuuden turvaajana ja tehonsäädön aiheuttamien kustannusten pienentäjänä perustuen vesivoimalaitosten hyvään säädettävyyden ja energian varastoitavuuteen. Kemijoen vesivoima on tärkein säätöenergian lähde, mikä johtuu kokonaistehon, 1 000 MW, suuruudesta. Oulujoen vesivoima, 495 MW, on hyvin säädettävää tehoa. Virtaamia koskevat säännökset mm. Vuoksen vesistöissä sekä voimalaitostehoa suuremmat tulva-ajan virtaamat erityisesti Kemijoessa rajoittavat säätömahdollisuuksia.

Alueellisesti suurimmat vesivoimavarat ovat Lapissa (33 % vesivoimasähköstä), Pohjois-Pohjanmaalla (17 %), Etelä-Karjalassa ja Kymenlaaksossa sekä Kainuussa. Yli 10 MW:n vesivoimalaitoksia ei juurikaan enää voi rakentaa, koska suurin osa potentiaalista on jo rakennettu ja merkittävimmät jäljellä olevat vapaat kosket ovat suojelluissa vesistöissä. Pienvesivoimalaitoksien osalta on jonkin verran vapaata potentiaalia.

4.4.3 Tuulivoima

Tuulivoimaa tuotettiin Suomessa vuonna 1996 noin 11 GWh. Tuotantokapasiteettia oli tuolloin käytettävissä 8 MW 13 sijoituskohteessa. Ajankohtaa 31.5.1997 vastaavat tuulivoimalaitokset ja niiden rakentamisajankohdat esitetään kuvassa 11. Vuoden -97 aikana arvioidaan rakennettavan 3 MW lisä tuulivoimakapasiteettia. Uusien tuulivoimalaitosten koko on 500 - 600 kW. Suomessa toimii tällä hetkellä tuulivoimalaitoksia 11 paikalla rannikolla ja kolmella Lapissa. Vertailun vuoksi taulukossa 7 esitetään kuuden Euroopan suurimman tuulivoimamaan kapasiteetti vuoden 1996 lopussa.

Sähköjärjestelmän kannalta tuulivoimalla on eräitä erityispiirteitä. Sähkön tuotanto riippuu tuulesta. Ns. huipun käyttöaika vaihtelee paikallisista olosuhteista riippuen suuresti, ja on Suomen nykyisillä laitoksilla keskimäärin vajaat 2 000 tuntia. Keskimääräinen teho on täten noin 20 % kapasiteetista. Tuulienergia tarvitsee tuekseen sähköjärjestelmän, joka korvaa puuttuvan tuotantotehon kaikissa tuuli- ja kulutustilanteissa. Kuvassa 12 esitetään esimerkki tuulivoiman pysyvyykäyrästä Suomen olosuhteissa. Tuulivoima lisää muun tuotantokapasiteetin kuorman vaihteluita, joten järjestelmään on sisällytettävä enemmän säätövoimaa ja ajasta riippumattoman pohjakuorman osuus pienenee.



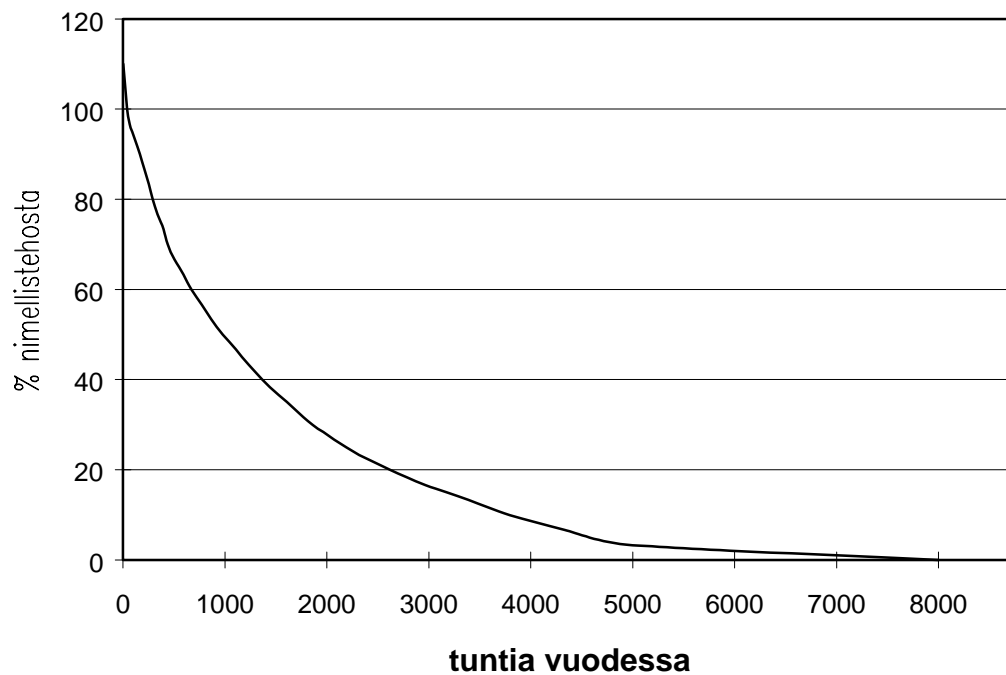
Kuva 11. Suomen tuulivoimalaitokset toukokuussa 1997.

Tuulivoiman ympäristövaikutuksia pidetään yleisesti vähäisinä. Laitoksen rakentamisen, asennuksen ja käytön jälkeisten purkutoimien vaatima energiantarve arvioidaan vastaavan puolen vuoden sähköntuotantoa laitoksella. Maa-alan tarve tuulifarmilla on tuulioloista riippuen 0,04 - 0,1 km²/MW (10 - 25 MW/km²) laskettuna nimellistehon perusteella. Alueesta suurta osaa voidaan kuitenkin käyttää tietyin rajoituksin myös muuhun toimintaan, kuten viljelyyn. Muita ympäristövaikutuksia ovat mm. melu, visuaalinen vaikutus, vaikutus lintuihin jne.

Taulukko 7. Tuulivoimakapasiteetti Euroopan suurimmissa tuulivoiman tuottajamaissa vuoden 1996 lopussa.

Maa	Kapasiteetti MW
Saksa	1545
Tanska	857
Alankomaat	299
UK	270
Espanja	249
Ruotsi	105

Tuulivoimatehon pysyvyys



Kuva 12. Esimerkki tuulivoimalaitoksen pysyvyyskäyrästä. Käyrä kertoo, kuinka monena tuntina vuodessa tunnin keskiteho ylittää annetun osuuden nimellistehosta.

4.4.4 Muita uusiutuvia energiavaroja

Energiaa voidaan tuottaa yhdyskuntajätteistä monella eri tavalla. Katsotaanko jätteisiin perustuva energiantuotanto uusiutuvaksi ja luetaanko se bioenergiaan, vaihtelee tapauksesta ja luokittelijasta riippuen. Joka tapauksessa on jätteiden käyttö energiantuotantoon taloudelliselta, ympäristönsuojelulliselta ja yleiseltä yhteiskunnalliselta merkitykseltään ensi sijassa jätehuoltoratkaisu ja vain toissijaisesti energiantuotantoa.

Bioenergiaksi katsotaan yleisimmin kaatopaikkakaasu, joka voidaan kerätä talteen ja tuottaa sillä sähköä ja lämpöä. Suomessa on muutama tällainen laitos toiminnassa ja niiden kokonaisteho on 15 MW sähköä. Kaatopaikkakaasun tuotantokapasiteetti muodostaa maksimissaankin vain hyvin pienen osan sähköntuotannosta, sillä koko potentiaalisi on arvioitu 100 MW.

Monissa tilastoissa luetaan lajiteltu yhdyskunta, maatalous- ja teollisuusjäte myös uusiutuviksi energiavaroiksi. Suomessa toimii tällä hetkellä yksi jätteenpolttolaitos ja joitain kokeiluja on menossa jätteen poltosta muiden polttoaineiden, esimerkiksi turpeen, ohella pienehköissä laitoksissa. Polttokelpoisen jakeen erottaminen jätteistä vaatii usein tapauskohtaista kehitystyötä, joka onkin monissa kohteissa käynnissä. Poltettavaksi pyritään täten saamaan erityisesti pakkausmateriaaleja ja jättepuuta sisältäviä jakeita. Jätteenpolton sijasta tai sitä bioperäisten jättejakeiden osalta täydentävää energiaa on saatavissa jätteistä sähkön ja lämmön tuotantoon anaerobisen prosessoinnin avulla. Prosessissa tuotetaan kaasua, josta noin puolet on metaania ja siten energiaksi muutettavissa. Näitä laitoksia on Suomessa tällä hetkellä vain yksi, teholtaan puolisen megawattia.

Aurinkosähkön tuottaminen on Suomessa rajoittunut toistaiseksi kesämökeille ja muihin kiinteän verkon ulkopuolisiin pienitehoisiin kohteisiin. Sen soveltaminen laajemmin sähkön tuotantoon Suomessa edellyttää vielä olennaisia kehitysaskelaita tutkimuksessa ja tuotekehityksessä. Yleiseen sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkön arvoa heikentää olennaisesti se, että auringonsäteilyä saadaan Suomessa eniten juuri niinä ajankohtina, joina sähkön tarve on pienimmillään.

Peltobiomassan tuotanto sähköntuotannon polttoaineeksi Suomen olosuhteissa on myös vasta tutkimusasteella.

4.5 Laitosten käytettävyyssarvo sähköjärjestelmässä

Sähkön eri tuotantomuotojen ja -laitosten arvo sähköjärjestelmän kannalta määräytyy niiden käytettävyyssominaisuuksien kautta. Laitoksen tuotantokapasiteetti ei ole sataprosenttisesti saatavissa käyttöön joka hetki. Laitoksen käytettävyyssarvo riippuu ns. tekni-

sestä käytettävyydestä, säädettävyydestä sekä tuotantotehon ennustettavuudesta ja samanaikaisuudesta kulutuksen kanssa.

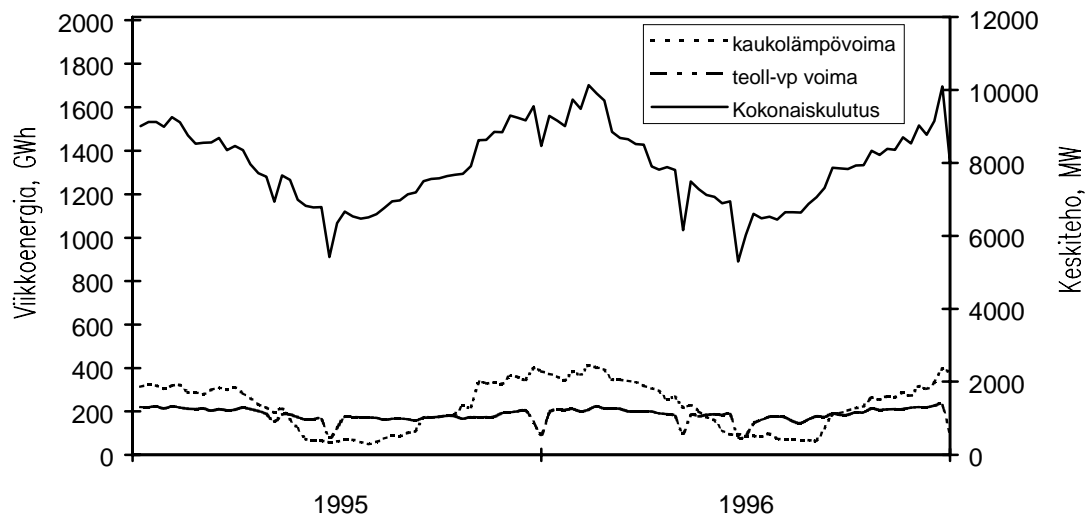
Jos polttoaineen saanti ei aseta rajoituksia, on tavanomaisten voimalaitosten teknillinen käytettävyys 80 - 95 %. Epäkäytettävyys sekä laitoksen hitaus reagoida tehonmuutostarpeeseen on korvattava muilla tuotantolaitoksilla. Säädettävän vesivoiman käyttötekniset ominaisuudet ovat erityisen hyvät. Sen käytettävyysarvo on siten korkea. Myös polttoainepohjaiset erillistuotantolaitokset, kuten lauhdelaitokset ovat järjestelmälle tärkeitä, koska ne ovat suhteellisen nopeasti ja luotettavasti saatavissa toimintaan. Lauhdevoimalaitosten säädettävyys riippuu teknisestä toteutuksesta. Jatkuvaan tuotantoon suunniteltujen peruskuormalaitosten hyötysuhde on mahdollisimman hyvä, mutta niiden säädettävyys on heikohko. Hyvää säädettävyttä ei voida saavuttaa tinkimättä hieman hyötysuhteesta. Investointikustannuksiltaan peruskuormalaitokset ovat kalliimpia kuin samantehoiset säätövoimalaitokset.

Joillakin tuotantomuodoilla käytettävyysarvo riippuu teknisen käytettävyyden ohella olennaisesti tuotantotehon ennustettavuudesta ja samanaikaisuudesta kulutuksen kanssa. Tällaisia tuotantomuotoja ovat pakkovesivoima, vastapainevoima, tuulivoima jne, joilla sähköntuotanto riippuu jostain ulkopuolisesta tekijästä.

Pakkovesivoima eli se osa vesivoimasta, jota ei voida säätää tai jota ei saa säätää, riippuu sateista ja vaihtelee vuodenaikojen ja vuosien mukaan. Suurimmat tehot eivät muodostu yleensä samanaikaisesti sähkön kulutushuippujen kanssa. Pakkovesivoima on kuitenkin lyhyellä aikavälillä hyvin ennustettavaa. Pitkällä aikavälillä on sähköntuotannossa kuitenkin varauduttava mm. vähävetisiin vuosiin.

Sähkön ja lämmön yhteistuotannon tuotantoteho riippuu lämmön kulutuksesta, joka on joko kaukolämpöä tai teollisuuden höyryn tai lämmön tarvetta. Vastapainesähkön käytettävyysarvo on varsin hyvä, kuten voidaan päätellä myös kuvasta 13, joka esittää parin vuoden ajalta kaukolämpö- ja teollisuusvastapainesähkön tuotannon sekä myös sähkön kokonaiskulutuksen viikkoenergiona ja keskitehoina. Kaukolämpövoiman vaihtelu vastaa varsin hyvin sähkönkulutuksen vuodenaikavaihtelua ja se on melko hyvin ennustettavissa, mihin vaikuttaa osaltaan se, että vastapainelaitoksilla ei pyritä tuottamaan koko lämmönkulutusta vaan käytetään ns. huippulaitoksia lämmön kulutushuippujen tuottamiseen. Teollisuuden vastapainevoima on tasaista ja ennustettavaa, lisäksi lämmön ja sähkön tarve teollisuudessa ovat samanaikaisia. Yhteistuotantolaitokset eivät kuitenkaan osallistu kovin merkittävästi vuorokausisäätöön.

Ydinvoimalaitokset ovat tyypillisiä peruskuormalaitoksia. Niiden tuotantoteho on tasainen ja siten ennustettavissa. Hyvän ennustettavuuden ja korkean teknisen käytettävyyden ansiosta ydinvoiman käytettävyysarvoa voidaan pitää hyvänä, vaikkakaan ydinvoimalaitosten tehoa ei kannata yleensä juurikaan säätää.



Kuva 13. Vastapainevoiman tuotannon sekä kokonaiskulutuksen vaihtelu kahden vuoden aikana.

Tuulivoiman käytettävyyttä rajoittavat lähinnä tuulet, joiden vaihtelu on pääosin riippumaton sähköntarpeen vaihteluista. Keskimääräinen tuotanto on Suomessa noin 20 % nimellistehosta, ja tuulivoimalaitos on huomattavan osan ajasta täysin poissa tuotannosta. Tuulivoimalaitokset tuottavat kuitenkin tietyllä todennäköisyydellä sähköä niinä hetkinä, joina tuotantokapasiteetin riittävyys olisi muutoin uhattuna suuren kuorman ja muiden hankintalähteiden häiriöiden johdosta. Tästä johtuen niilläkin on oma arvonsa kapasiteettitarpeen täyttäjinä, mutta tämä arvo on paljon nimellistehoa alhaisempi, laskelmien mukaan kuitenkin lähellä keskimääräistä tehoa.

Tuulivoimaan liittyvän muun sähköntuotantojärjestelmän kokonaiskapasiteetin tulee olla jonkin verran suurempi suhteessa tuotettuun energiamäärään kuin se olisi ilman tuulivoimaa. Lisäys kohdistuu säätövoimaan, kun taas perusvoimakapasiteetti jää optimoitussa tuotantorakenteessa alhaisemmaksi. Koska säätövoima on tuotantokustannuksiltaan perusvoimaa kalliimpaa, nostaa tuulivoiman käyttöönotto muun sähkönhankinnan kustannuksia. Tämä lisäkustannus on otettava huomioon laskettaessa tuulivoimalla tuotetun sähkön arvoa. Tuulivoiman vaihtelevuudesta aiheutuva kustannuslisä tekee oikeutetuksi tavanomaista korkeamman hinnan perimisen sähköstä, joka toimitetaan nimenomaan täydentämään tuulivoimaan perustuvia sähköntoimituksia.

Varavoima on sähköjärjestelmässä yhteistä koko järjestelmälle. Eri tuotantomuodot tarvitsevat sitä suhteellisesti erisuuruisia määriä, ja varavoiman käyttömäärät ja tuotanto-

muodot vaihtelevat kuormitusilanteen mukaan, mutta tuotanto jää yleensä vuositasolla hyvin vähäiseksi. Tästä johtuen varsinaiset varavoimalaitokset ovat yleisesti rakennuskustannuksiltaan mahdollisimman halpoja kaasuturbiinilaitoksia, joiden käyttökustannukset voivat olla muihin laitoksiin verrattuna moninkertaiset alhaisen hyötysuhteen ja kalliin polttoaineen takia. Varavoimalaitoksina voidaan käyttää myös jatkuvasta käytöstä poistettuja lauhdevoimalaitoksia, joiden hyötysuhteet ovat uusia laitoksia huonompia ja ympäristövaikutukset suurempia. Osaa laitoksista käytetään tilanteesta riippuen joko säätö- tai varavoimalaitoksina.

4.6 Tuotetun ja kulutetun sähkön ympäristövaikutustase

Sähkön tuotantoprofiili valtakunnan tasolla eli Suomen sähköverkkoa syöttävien sähköntuotantolaitosten muodostama teknillinen kokonaisuus vaihtelee – kuten edellä esitettiin – kuormituksen vuorokausi-, viikko- ja vuodenaikavaihteluiden vuoksi. Lisäksi sähköntuotantoon aiheuttavat vaihteluita yhteistuotannossa lämmönkulutuksen vaihtelut, vesivoiman vaihtelut, säätövoiman käyttö ja erilaiset käyttö- ja ohjaustoimenpiteet (tuotanto-optimointi, huollot jne). Sähköjärjestelmän tuotantoprofiilin vaihteluiden takia myös sähkön keskimääräinen ympäristövaikutusprofiili vaihtelee jatkuvasti. Tätäkin enemmän vaihtelee marginaalikuorman tuotantoprofiili ja vastaavasti ympäristöprofiili. Esimerkiksi Suomen sähköntuotannon keskimääräinen hiilidioksidipäästö on keväällä 200 - 250 g CO₂/kWh ja kesällä 100 - 120 g CO₂/kWh, mutta jos rajakuormaa tuottava laitos on hiililauhdelaitos, on sen päästö 800 - 900 g CO₂/kWh.

Valtakunnallisen tuotantoprofiilin tavoin voidaan puhua yksittäisen sähkön välittäjän (sähkölaitoksen) tuotantoprofiilista ja vastaavasta tuotannon ympäristövaikutusprofiilista. Tuotantoprofiili voidaan määrittää hetkittäisesti tuotantolaitosten tehon jatkuvan mittauksen avulla ja ympäristöprofiili voidaan ajatella voitavan laskea myös hetkittäisiä tilanteita varten. Hetkittäisen tuotantotilanteiden ja ympäristökuormitusilanteiden perusteella voidaan muodostaa eripituisille ajanjaksoille, esim. vuoden jaksolle, ajallisesti keskimääräisiä tuotanto- ja ympäristövaikutusprofiileita.

Analogisesti sähkön tuotannon profiilien kanssa voidaan tarkastella kulutetun sähkön tuotanto- ja ympäristöprofiilia. Suomen sähköjärjestelmällä eli kulutuksen näkökulmasta sähköverkolla on joka hetki tietty keskimääräinen tuotantoprofiili ja tuotannosta aiheutuva ympäristöprofiili. Myös pitempiaikaisia ajallisia keskiarvoja voidaan laskea Suomen sähköjärjestelmälle molempien suureiden osalle.

Yksittäisen kuluttajan sähköverkosta ottaman sähkön ympäristöprofiilia jäljitettäessä tarkastellaan ensin tapausta, jossa kuluttaja ostaa sähkön yhdeltä sähkölaitokselta, joka tuottaa myymänsä sähkön itse. Tällöin kuluttajan ottama sähkö on sähkölaitoksen hetkellisen tuotantoprofiilin mukaista sähköä. Samoin on myös kulutetun sähkön ympä-

ristöprofiili. Eri pituisten aikajaksojen aikana kulutetun sähkön ympäristöprofiili saadaan siten tuotantopuolen hetkittäisistä arvoista laskemalla.

Jos edellisessä tapauksessa sähkön kuluttajalle myyvä sähkölaitos ostaa oman tuotannon lisäksi sähköä toiselta sähkölaitokselta, on ensin mainittu sähkölaitos kuluttajan asemassa tähän toiseen sähkölaitokseen nähden.

Yksityiskohtana tarkastellaan vielä tapausta, jossa kuluttaja ostaa sähkölaitokselta tietystä laitoksessa – esimerkiksi tuulivoimalaitoksessa – tuotettua sähköä, ja halutaan selvittää sähkön ympäristöprofiili. Oletetaan ensin, että kuluttaja käyttää tiettyyn tarkoitukseen kaiken sähkön ko. tuotannosta eikä enempää. Tällöin kulutetun sähkön ympäristöprofiili on ko. tuotannon ympäristöprofiili. Sähkölaitoksen muu hetkittäinen tuotanto- ja ympäristöprofiili muodostuvat jäljellä olevista laitoksista.

Jos edellisessä tapauksessa kuluttajan ottama sähköteho ylittää ajoittain ko. laitoksen tuotantotehon eli edeltäpäin tehdyn sopimuksen, määräytyy ylimenevän tehon ympäristövaikutus marginaalituotannossa olevan laitoksen päästöjen mukaan. Jos kuitenkin kuluttajan tehonotto ajoittain alittaa ko. laitoksen tuotannon ja esimerkiksi vuoden jaksolla energiataseet tasapainottuvat, voidaan marginaalilaitoksen sijasta ylimenevä tehonotto korvata kyseessä olevan sähkölaitoksen muun tuotannon keskimääräisellä tuotantoprofiililla ja vastaavasti ympäristövaikutusprofiililla.

Koska tietyn sähkölaitoksen myymän sähkön keskimääräinen ympäristöprofiili voi poiketa olennaisesti marginaalihankinnan profiilista, ei yleensä voida yksikäsitteisesti määrittellä kunkin kuluttajan hankkiman sähkön profiilia. Asiaa monimutkaistavat edelleen kyseisen sähkön myyjän ja muiden sähkön myyjien hankintojen vaikutukset toisiinsa. Yksikäsitteiseen tulokseen päästään vain siinä erittäin harvinaisessa tapauksessa, että kuluttajan sähkönhankinta vaikuttaa suoraan tiedossa olevien voimalaitosten tuotannon määrään.

Edellä esitetty sähkön ympäristöllisen laadun muodostuminen tuotannossa ja sen siirtyminen kuluttajalle vastaa tehoperusteista määrittämistä. Toinen tapa tarkastella on energiaperusteinen. Siinä tuotantoa ja kulutusta tarkastellaan vuotuisen energiataseen perusteella ja siitä johdetaan vastaava ympäristövaikutusprofiili.

5. Sähköntuotannon ympäristöä kuormittavat tekijät

Seuraavassa luetellaan sähköntuotantomuotoihin liittyvät ympäristöä kuormittavat tekijät ja arvioita niiden suuruudesta. Käsiteltävät kuormittavat tekijät liittyvät sähköntuotannon uusiutumattomien ja uusiutuvien luonnonvarojen käyttöön, maankäyttöön sekä päästöihin. Päästöistä käsitellään savukaasu- ja hiukkaspäästöjä ilmaan, raskasmetalleja, päästöjä veteen sekä sähköntuotannon sivutuotteita ja kiinteitä jätteitä.

5.1 Luonnonvarojen käyttö

Luonnonvarojen käyttöön on sisällytetty sähkön tuottamiseen käytetyt polttoaineet hiili, öljy, maakaasu, turve ja uraani (taulukko 8), puuperäiset polttoaineet sekä arvio tuotantomuotojen maa-alan tarpeesta. Vaikka erot erilaisten tuotantolaitosten rakentamiseen tarvittavan raaka-aineen (lähinnä betoni ja teräs) määrissä saattavat olla suuria, ovat määrät kuitenkin suhteellisesti pieniä verrattuna polttoainemääriin. Niiden käsitteilyä ei siksi nähdä tässä yhteydessä olennaiseksi.

Taulukko 8. Uusiutumattomien primäärienergiälähteiden kokonaiskulutus Suomen sähköntuotannossa ja energiantuotannossa sekä energialähteiden kokonaiskulutus maailmassa vuonna 1995. Luvut ovat Energiatilaston 1995 tai vahvistetun tilaston 1995 (Lindström 1997) mukaisia, .

	Sähköntuotanto Suomessa	Energian kokonaiskulutus Suomessa	Energialähteiden kokonaiskulutus maailmassa	Suomen osuus energian koko- naiskulutuksesta
	1 000 toe	1 000 toe	1 000 toe	%
Hiili	1 600	3 261	2 211 000	0,1
Öljy	180	8 637	3 227 000	0,3
Maakaasu	910	2 917	1 884 000	0,2
Turve	890	1 645	24 000 ^{a)}	7
Uraani	4 530	4 532	596 000	0,8

a) Lähde WEC 1995

Vesivoimalla tuotettiin sähköä vuonna 1995 noin 12 800 GWh (3,2 Mtoe) (Energiatilastot 1995). Puuperäisiä polttoaineita käytettiin Suomessa vuonna 1994 yhteensä 4,56 Mtoe. Erillisessä sähköntuotannossa puuta käytettiin 1,7 Mtoe (Forsström et al. 1997). Muiden biopolttoaineiden käyttö oli hyvin pieni, alle 0,1 Mtoe.

Sähköntuotannon maa-alan tarve Suomessa on bioenergian tuotantoa ja tuulivoimaa lukuun ottamatta suhteellisen pientä. Taulukossa 9 on esitetty ruotsalainen (Livscykelanalys för... 1996), muutamasta esimerkkitapauksesta laskettu arvio tuotantomuotojen maa-alan tarpeesta (käyttövuotta kohti). Arvioon on syytä suhtautua varauksella, koska yksikäsitteisten arvioiden tekeminen ei liene mahdollista.

Taulukko 9. Sähköntuotantomuotojen maa-alan tarve ruotsalaisen arvion mukaan.

	m ² /GWh _e
vesivoima	360
ydinvoima	2,2
biopolttoaine kaukolämpövoimalaitos	85 000
tuulivoima	15 000
maakaasukombi	82

Taulukossa ydinvoiman maa-alan tarve muodostuu lähinnä polttoaineen tuotantoon (1,1 m²/GWh_e) ja voimalaitoksen käyttöön (1,0 m²/GWh_e) tarvittavan maa-alan suuruudesta. Tuulivoiman maa-alantarve sisältää 300 metrin suoja-alueen. Maakaasukombin maa-alantarve syntyy lähinnä polttoaineentuotannossa (81 m²/GWh_e). Maakaasuputkien tarvitsemaa maa-alaa ei ole sisällytetty yllä olevaan lukuun. Se on arvioitu noin 13 m²/GWh_e:n suuruiseksi. Voimalaitosten alan tarve ei ole poltettavilla energialähteillä merkittävä, se on suuruusluokkaa 1m²/GWh_e.

Suomalaisten kokemusten perusteella tehdyt arviot biopolttoaineiden tuotannon vaatiman maa-alan suuruudesta ovat pienimmilläänkin moninkertaisia ruotsalaisiin arvioihin verrattuna ja vaihtelevat riippuen tuotantoratkaisuista.

Sähköverkon vaatimista ilmajohdoista siirtojohdot vievät maa-alaa Suomessa 580 km² ja niiden reuna-alueet 400 km². Jakelujohtojen vaatima maa-ala on noin 1 500 km². Ilmajohdalueista on metsämailla hieman vajaa puolet (46 %). (Vähävihi ym. 1996.)

5.2 Päästöt

Päästöt ilmaan

Sähköntuotannon arvioitavissa olevat päästöt on esitetty taulukossa 10. Vertailun vuoksi taulukkoon on otettu mukaan myös Suomen ihmistoiminnasta aiheutuneet kokonais-

päästöt. Tavoitetasot on määritelty kansainvälisten ja kansallisten sitoumusten perusteella, sulkuihin on merkitty tavoitteen saavuttamisen takaraja.

Taulukko 10. Sähkön- ja energiantuotannon päästöt ja Suomen ihmistoiminnasta aiheutuneet kokonaispäästöt vuonna 1995 sekä joitakin tavoitetasoja.

	Sähkön- tuotanto ^{a)}	Energian- tuotanto ^{b)}	Suomi yhteensä	Tavoite- tasot
	1 000 t	1 000 t	1 000 t	1 000 t
SO ₂	21	66	96 ^{c)}	116 (v. 2000) ¹⁾
NO _x (NO ₂)	25	257	259 ^{b)}	206 (v. 1998) ²⁾
Hiukkaset	3,1	49 ^{c)}		
CO ₂	12 700	55 000	56 000 ^{b)}	
CO		424	434 ^{c)}	
NMVOC		121	182 ^{c)}	
N ₂ O	0,7	6	18 ^{c)}	
CH ₄	1,1 ³⁾	16	241 ^{c)}	

Huomautus:

- 1) Perustuu Oslon kokouksessa 1994 vahvistettuun 80 %:n vähentämistavoitteeseen vuoden 1980 tasosta.
- 2) Perustuu Sofian kokouksessa 1988 yksipuolisena julistuksena ilmoitettuun 30 %:n vähentämistavoitteeseen vuoden 1980 tasosta ja Suomen ympäristökeskuksen uuteen arvioon vuoden 1980 päästöistä.
- 3) Ei sisällä Lokan ja Porttipahdan tekojärvien arvioituja päästöjä.

Taulukon lähteet:

- a) Heikkinen Arto. 1997. Imatran Voima Oy.
- b) Finland's Second Report under the Framework Convention on Climate Change. Ministry of the Environment 1997.
- c) Energiatilastot 1995, energiantuotannon ja kulutuksen sekä teollisuusprosessien päästöt vuonna 1995.

Suomen rikkidioksidipäästöt ovat pienentyneet merkittävästi 1980-luvun määristä, sillä voimalaitosten savukaasuja on puhdistettu tehokkaasti. Rikkidioksidipäästöjen vuodelle 2000 asetettu alentamistavoite onkin saavutettu jo vuonna 1994. Typen oksidien päästöjä ei sen sijaan ole Suomessa onnistuttu vähentämään tavoitteiden mukaisesti. Merkittävä osa typen oksideista on peräisin hajanaisista lähteistä, mikä hankaloittaa niiden rajoittamista. Suurissa voimalaitoksissa päästöjä on pystytty pienentämään polttotekniikkaa kehittämällä. Kasvihuonekaasujen kansainvälisistä päästötavoitteista ei ole vielä sopimusta. Suomen osalta alustavaksi EU:n sisäiseksi neuvottelutavoitteeksi on esitetty päästöjen palauttamista vuoden 1990 tasolle vuoteen 2010 mennessä. Suomen kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisvelvoitteet määritettäneen YK:n ilmastosopimuksen kolmannen osapuolikokouksen (COP 3 Kiotossa joulukuussa 1997) jälkeisissä EU:n sisäisissä taakanjakoneuvotteluissa ensi vuonna.

Vesivoiman tuotanto ei yleensä aiheuta merkittäviä päästöjä. Poikkeuksena tästä laajat tekojärvet voivat vaikuttaa kasvihuonekaasujen muodostumiseen allasalueille jääneen biomassan ja turpeen tuottaessa metaania ja hiilidioksidia enemmän kuin luonnonvaraisessa tilassa. Hiilen sitoutuminen järvien pohjasedimenttiin voi myös poiketa luonnonvaraisilla soilla tapahtuvasta hiilen sitoutumisesta turpeeseen. Vaikka muutosten vaikutus onkin valtaosin ohimenevä, kestää se kuitenkin ainakin vuosikymmeniä. Lokan ja Porttipahdan tekojärvien yhteenlaskettujen metaanipäästöjen on arvioitu olevan 100 vuoden elinkaaren aikana keskimäärin luokkaa 20 000 t CH₄ vuodessa (Martikainen et al. 1996). Muutokset hiilidioksidivirtoihin ovat myös huomattavia, mutta niiden nettovaikutuksesta ilmastoon voidaan kohtuullisen luotettavasti arvioida vain, että se jää merkittävästi pienemmäksi kuin mainitun metaanipäästön, kun sekä lisäävät että vähentävät tekijät otetaan huomioon. Metaaninkin osalta arvioon sisältyy pitkän ajan keskiarvon laskennan osalta vielä huomattavia epävarmuuksia mm. siitä syystä, että päästöjen kehittyminen riippuu ratkaisevasti tarkasteltavan tekojärven rehevyyden muutosnopeudesta. Jos suuri osa turpeesta olisi voitu korjata allasalueelta hyötykäyttöön ennen altaan täyttämistä, jäisivät kasvihuonekaasujen nettopäästöt olennaisesti vähäisemmiksi.

Verrattuna Kemijoen vuotuiseseen sähköntuotantoon on tekoaltaiden metaanipäästöjen kasvihuonevaikutus edellä esitetyn päästöarvion mukaan hiilidioksidiekvivalenttina n. 100 g CO₂-ekv./kWh ja siten murto-osa fossiilisiin polttoaineisiin tai turpeeseen perustuvan erillisen sähköntuotannon päästöistä ja myös vähemmän kuin maakaasun perustuvassa yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Lukuja verrattaessa on otettava huomioon myös, että Kemijoen vesivoima on suurelta osin arvokasta säättövoimaa. Muissa vesistöissä ei saman suuruusluokan päästöjä esiinny.

Raskasmetallit

Raskasmetallilaskeuma on pääsääntöisesti vähentynyt viime vuosina. Pienetkin raskasmetallimäärät voivat kuitenkin olla haitallisia raskasmetallien rikastumistaipumuksen takia. Metalleista haitallisimpia ovat lyijy, kadmium ja elohopea. Sähköntuotannon suorien, savukaasujen ja jätteiden mukana leviävien raskasmetallipäästöjen lisäksi tuotanto voi aiheuttaa välillisiä päästöjä, joiden arviointi on kuitenkin erittäin hankalaa. Välillisiä päästöjä voi syntyä mm. happamoitumisen, tekoaltaiden rakentamisen, maa-aineksien siirron ja ojituksen yhteydessä.

Päästöt veteen

Tuotantolaitosten jäähdytysvedet saattavat aiheuttaa vesistöissä vähäisiä ekologisia vaikutuksia rajatulla alueella johtuen joko lämpötilan noususta purkualueella tai jäähdytysveden ja purkualueen veden laadun eroista. Suomen voimalaitosten ympäristössä edellä mainituilla tekijöillä ei ole kuitenkaan ollut oleellista haitallista vaikutusta veden laatuun.

Sähköntuotannon vesistö päästöjen merkitys on todettu niin pieneksi, että päästöt vesistöihin on rajattu tämän tarkastelun ulkopuolelle. Sähköntuotanto vaikuttaa kuitenkin vesistöihin suoria päästöjä monimutkaisemmin, esimerkiksi happamoitumisen seurauksena tai tiettyjen tuotantomuotojen yhteydessä vesistöjen ja valuma-alueiden muokkaamisen kautta. Vesivoiman säännöstelyaltaat aiheuttavat myös haitallisten aineiden, erityisesti elohopean, pitoisuuden kasvua käyttöönoton jälkeen useiden vuosien ajan sekä itse altaassa että altaan alapuolisissa vesistöissä.

Sähköntuotannon kiinteät jätteet ja sivutuotteet

Sähköntuotannon sivutuotteet ovat valtaosaltaan voimalaitoksilla syntyvää lähinnä hiilen ja turpeen polton tuottamaa tuhkaa, kuonaa ja pölyä. Tämän lisäksi jätteitä voi syntyä merkittävässä määrin energialähteiden louhinnassa sekä välillisesti energiantuotannon materiaalien valmistuksen yhteydessä. Ydinvoimasta keskusteltaessa jätekysymys liittyy lähinnä jätteiden laatuun, ei niinkään niiden määrään. Yhteenvedo jätemääristä on taulukossa 11.

Voimantuotannon sivutuotteista hyödynnettiin 61,7 % vuonna 1996 (Finergy 1997). Tuhkan hyötykäyttökohteet olivat lähinnä maanrakennuksessa, myös hyödynnettävä puolikuiva rikinpoistotuote käytettiin lähes kokonaan maantäyttöön. Kipsi meni lähinnä rakennusteollisuudelle kipsilevyjen valmistukseen. Laajamittaisessa puunpoltossa syntyvä tuhka on mahdollista ja ehkä tarpeellistakin hyödyntää metsämaan lannoituksessa. Yhtenäisten hallinnollisten ohjeiden ja määräysten puute hankaloittaa ja mahdollisesti vähentää voimalaitosjätteiden hyötykäyttöä. Koska suurin osa sähköntuotannon sivutuotteista menee hyötykäyttöön, ei jäteongelmaa käsitellä tässä tarkemmin.

Taulukko 11. Voimantuotannon kiinteän jätteen ja sivutuotteiden kokonaismäärät vuonna 1996 (Finergy 1997).

laji	määrä 1 000 t
kivihiilituhka	760
turvetuhka	199
puolikuiva rikinpoistotuote	69
kipsi	121
yhteensä	1 150

6. Sähköntuotantojärjestelmä ja ympäristöongelmat

Seuraavassa pohditaan keskeisiä, lähinnä maailmanlaajuisia ja alueellisia ympäristöongelmia sähköntuotannon näkökulmasta. Tarkoituksena ei ole kirjoittaa uutta yleisesitystä ympäristöhaitoista. Tällaista tietoa energiantuotannon ympäristövaikutuksista sekä ympäristöongelmista löytyy yleensä monista, esim. elinkaariarviointiin perustuvista selvityksistä. Tarkoituksena on sen sijaan tuoda perustellen esille sellaisia tekijöitä, jotka ainakin jonkin sähköntuotantomuodon osalta ovat niin merkittäviä, että niiden sisällyttäminen ympäristöluokitteluun saattaa olla aiheellista. Edellisen lisäksi käsitellään tiedossa olevia kvantitatiivisia indikaattoreita sekä kunkin haitan arviointiin liittyviä erityispiirteitä.

Tarkasteluun on valittu sähköntuotannon ja nykyisten tuotantoteknologioiden kannalta oleelliset ympäristöongelmat. Käsiteltävien asioiden rajaukset ja luokittelu on tehty valitsevan tiedon ja työlle asetettujen tavoitteiden pohjalta.

On syytä korostaa sitä, että luonnonvarojen väheneminen on yhtä merkittävä tulevaisuuden mahdollisuuksia rajoittava tekijä kuin päästöistä aiheutuvat ekologiset ympäristöongelmat, kuten happamoituminen ja ilmastonmuutos. Sekä luonnonvarojen vähenemisen että ilmiötyyppisten ympäristöongelmien vaikutukset näkyvät samalla aikataululla, muutamien sukupolvien kuluessa, ja niiden vaikutusten arviointiin liittyy samantyyppistä epävarmuutta ja ennakoimattomuutta. Näiden rinnalle nousee tärkeänä kysymyksenä päästöjen vaikutukset ihmisen terveyteen. Mitään ongelmista ei ole syytä nostaa laajassa tarkastelussa yksiselitteisesti toisia tärkeämmäksi, vaan niitä on syytä käsitellä rinnakkain.

Ongelmalähtöinen tarkastelutapa on perusteltua mm. sen vuoksi, että käsiteltävät ympäristöongelmat ovat sekä kansainvälisesti että kansallisesti tunnustettuja. Ympäristöongelmat on valittu lähtökohdaksi myös esimerkiksi taulukossa 12 esiteltävän tilastokeskuksen ympäristöystävällisyysindeksin (Puolamaa et al. 1996) määrittämisessä sekä Suomen ympäristökeskuksen tekemässä metsäteollisuuden ympäristövaikutusanalyysissä (Seppälä ja Jouttijärvi 1997).

Seuraavassa ei tarkastella sähköntuotannon tulonjakoon, työllisyyteen, aluepolitiikkaan tai yhteiskunnalliseen oikeudenmukaisuuteen liittyviä näkökohtia. Myös ammatillinen terveys ja työolot sekä -onnettomuudet on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Edellä mainituilla asioilla, monien muiden lisäksi, on toki mielenkiintoa sähköntuotannon kannalta. Tässä on kuitenkin haluttu keskittyä sellaisiin vaikutuksiin ja ongelmiin, joiden voidaan katsoa olevan ensisijaisesti ekologisia, ihmisen fysiologista terveyttä ja viihtyvyyttä koskevia.

Taulukko 12. Tilastokeskuksen ympäristöystävällisyysindeksin osatekijät. Itse indeksi on painotettu yhdistelmä näistä tekijöistä. (Puolamaa ym. 1996)

Kuormitus	Yhteismitallistamis- kertoimet	Ympäristöongelma
CO ₂ , CO CH ₄ N ₂ O CFC Muut	GWP	Kasvihuoneilmiö
CFC BFC Muut	ODP	Otsonikerroksen oheneminen
SO ₂ NO _x NH ₃ Muut	AP	Happamoituminen
NO _x P NH ₃ Muut	EP	Rehevöityminen
Kemikaalit	ETP	Ekotoksisuus
VOC NO _x	POCP	Foto-oksidantit
Luonnonvarat, jätteet	BDF, ADF	Materiaalitaseet
Maankäyttö	LOF	Biodiversiteetti
Melu	*	Melu
Radioaktiiviset päästöt	*	Radioaktiivisuus

Lyhenteiden ja merkkien selitykset: GWP (Global Warming Potential), ODP (Ozone Depletion Potential), AP (Acidification Potential), EP (Eutrophication Potential), ETP (Ecotoxicity Potential), POCP (Potential for photo-oxidant formation), BDF, ADF (Depletion potential for biotic/abiotic natural resources), LOF (Land Occupation Factor), * ei olemassaolevaa ekvivalenttifaktoria.

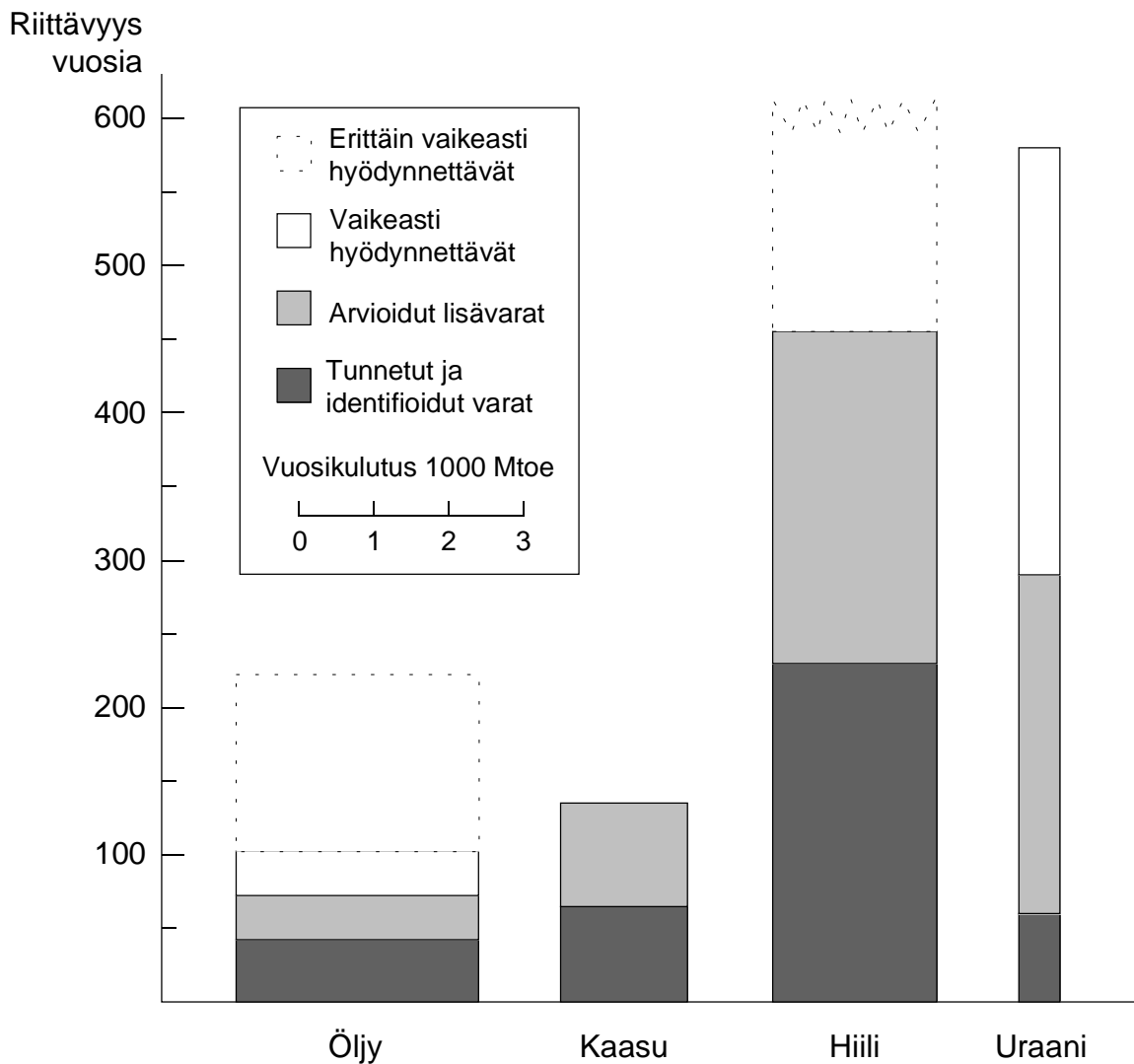
6.1 Luonnonvarojen väheneminen

Luonnonvarojen tehokas ja kestävä käyttö on tärkeä osa kestäväen kehityksen politiikkaa. Tavoitteena on estää luonnonvarojen ehtyminen sekä toisaalta torjua mahdollisuuksien mukaan luonnonvarojen ottamisesta, jalostamisesta ja hylkäämisestä syntyvät haitat. Sähköntuotannon kannalta keskeisiä uusiutuvia luonnonvaroja ovat puu ja muu energia-

biomassa. Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö sähköntuotannossa kohdistuu lähinnä hiileen, öljyyn, maakaasuun, turpeeseen (käsitetään yleisesti uusiutumattomaksi) ja uraaniin. Näiden lisäksi seuraavassa käsitellään sähköntuotannon maankäyttöä.

Uusiutumattomat luonnonvarat

Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymistä voidaan arvioida suhteuttamalla niiden käyttö todettuihin energiavaroihin. Kuva 14 esittää yhteenvedon fossiilisten polttoaineiden ja uraanin varoista sekä niiden riittävyydestä. Kuvassa vaikeasti ja erittäin vaikeasti hyödynnettävät öljyvarat ovat ei-konventionaalisia varoja. Hiilen erittäin vaikeasti hyödynnettävien varojen riittävyys ylittää 2 000 vuotta. Uraanivarat koskevat käyttöä nykyisen tyyppisissä reaktoreissa. Hyötöreaktoreissa riittävyys on kymmeniätuhansia vuosia.



Kuva 14. Tärkeimpien polttoaineiden varat (Forsström ym. 1997). Pylväiden leveydet vastaavat vuosikulutuksia vuonna 1995, pinta-alat varojen suuruuksia ja korkeudet riittävyksiä vuosissa nykykulutuksella.

Turpeen riittävydeksi nykykulutuksella on arvioitu noin 1 300 vuotta (Nieminen 1996).

Minkään maailman mittakaavassa merkittävän polttoaineen varat eivät tule vielä lähimpien 20 - 25 vuoden aikana ehtymään siinä määrin, että olennaiset muutokset niiden käytössä olisivat väistämättömiä. Kuvasta voidaan havaita, että varojen ehtyminen on lähimpänä öljyllä. Tämän jälkeen myös esimerkiksi kaasuvarat ehtyvät asteittain ajanjaksolla 2030 - 2100, ellei kaasun kulutuksen kasvu ole aluksi maltillista ja supistu myöhemmin olennaisesti.

Uusiutuvat luonnonvarat

Uusiutuvien luonnonvarojen käyttö kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti tarkoittaa varojen riittävyyden osalta sitä, että tuotantoalueiden uusiutumiskyky säilytetään. Lisärajoituksia voi tulla muista ympäristönäkökohdista. Uusiutuvien energialähteiden riittävyyttä ei voi siis mitata vuosissa, vaan ylläpidettävissä olevana vuosituotantona. Koska biopolttoaineet ovat paikallisia polttoaineita, ei maailman polttoainevarojen määrä, sijainti ja laatu paljoakaan vaikuta siihen, miten niitä Suomessa voidaan käyttää. Tulevaisuudessa on kuitenkin mahdollista, että biopolttoaineista valmistetaan helpommin siirrettäviä polttoaineita kuten synteettisiä liikennepolttoaineita kansainvälisille markkinoille. Puun ensisijainen käyttö on sen jalostaminen puupohjaisiksi tuotteiksi, minkä vuoksi vain osa vuosituotosta tulee polttoainekäyttöön.

Vanhoihin kasvutietoihin perustuen on arvioitu, että puuta voisi hakata kestävästi noin 70 milj. m³ vuodessa. Metsät ovat vuosina 1986 - 94 kasvaneet Suomessa keskimäärin 77,1 milj. m³ vuodessa (Metsätilastollinen vuosikirja 1996), mikä vastaa noin 13,6 Mtoe/a (käytetty muuntokerroin 0,177). Ennakkoarvio kasvulle vuosina 1990 - 94 on jonkin verran pienempi, 75,4 milj. m³. Poistuma samoille vuosille on arvioitu 53,2 milj. m³:n suuruiseksi. Teoriassa puuvaroja voisi siten hakata vuosittain puuntuotannollisesti kestävästi korkeintaan 12 milj. m³ nykyistä enemmän, mikä vastaisi noin 2,1 Mtoe.

Puupolttoaineiden tuotannon kannalta suurimman potentiaalın muodostavat uudistushakkuualueiden hakkuutähteet ja ensiharvennuksista korjattavissa oleva energiapuu. Biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalit -selvityksessä (Helynen ja Nousiainen 1996) uudistushakkuualueille korjuun yhteydessä jäävien hakkeiden kokonaismääräksi on hakkuusuunnitteiden perusteella arvioitu 10,7 milj. m³. Sen energiasisältö 50 %:n kosteudessa vastaa 1,9 Mtoe/a. Ottamalla huomioon hakkuutähteiden korjuun rajoitteet ja korjuuhävikki, muodostuu hakkuutähteiden tuotantopotentiaaliksi yhteensä 3,7 milj. m³, energiasisältö 0,65 Mtoe/a. Ensiharvennuksista korjattavissa olevan puupolttoaineen tuotantopotentiaaliksi on arvioitu yhteensä 3,6 milj. m³.

Peltoenergian käyttö on nykyään hyvin vähäistä, esim. korjattavissa olevasta olkisadosta käytetään alle 1 % polttoaineena. Peltoenergian hyödyntämispotentiaalin on arvioitu olevan noin 0,2 - 0,5 milj. toe (2 - 5 TWh/a) (Wihersaari 1996). Lähivuosina arvioidaan vapautuvan 0,5 - 1 milj. ha peltoa perinteisestä viljelykäytöstä.

Bioenergiantuotanto muuttaa ekosysteemien ravinnekiertoa. Ravinnekompensaatiotarve pitkällä aikavälillä onkin tiedostettu. Yksi metsätähteiden talteenoton tärkeitä kysymyksiä tulee todennäköisesti olemaan se, miten metsäekosysteemien ravinne- ja mineraalitasapaino säilytetään sellaisena, ettei uusien puusukupolvien kasvu häiriinny. Mineraalien palauttaminen hitaasti hajoavan tuhkan kautta voi olla tarpeellista. Energiapeltojen humuspitoisuuden lasku, esim. käytettäessä olkea energiatarvokseen, voidaan kompensoida mm. kompostilla. Monivuotiset lajit sen sijaan lisäävät humuspitoisuutta perinteiseen viljanviljelyyn verrattuna.

Keskustelu luonnon monimuotoisuudesta ja uhanalaisista lajeista on noussut esille bioenergiantuotannon lisäämispyrkimysten yhteydessä. Tässä yhteydessä on syytä muistaa, että vaikutukset eivät liity yksinomaan bioenergiantuotantoon vaan yleisemmin eri maa-alueiden käyttöön.

Maankäyttö

Sähkötuotannon merkittävimmät vaikutukset maankäyttöön eivät niinkään liity maa-alaa täysin muulta toiminnalta poissulkeviin toimintoihin (esim. voimalaitosalueet) kuin metsä-, ranta- ja suoluonnon moninaiskäyttöön. Eri tuotantomuotojen maa-alan tarpeiden vertaaminen toisiinsa on vaikeaa ensinnäkin siksi, että maa-alan käyttö on tuotantomuotojen yhteydessä erilaista. Vaikka esimerkiksi vesivoiman vaatima säännöstely vaikuttaa suuriin maa- ja vesialueisiin, alueita voidaan edelleen käyttää mm. virkistykseen ja kalastukseen. Toiseksi maankäytön vaikutukset riippuvat pitkälti niiden alueiden herkkyydestä, joihin vaikutukset kohdistuvat.

Yksi oleellisia ongelmia sähkötuotannon maankäyttöön liittyen on luonnon elinympäristöjen sirpaloituminen siirto- ja jakelujohtojen sekä huoltoteiden vuoksi. Elinympäristöjen sirpaleisuus vaikuttaa ekosysteemien ja lajien monimuotoisuuteen. Mitä kauempana tuotanto ja kulutus sijaitsevat toisistaan, sitä enemmän sirpaloittavia rakenteita tarvitaan. Toisaalta jakelujohtojen merkitys elinympäristön sirpaloijina saattaa olla vähäinen.

6.2 Ekologiset vaikutukset

6.2.1 Happamoituminen

Happamoitumisen alkuvaiheessa luonnon sietokyky vastustaa mm. rikkidioksidi- ja typen oksidien päästöjen aiheuttamaa hapanta laskeumaa heikkenee. Vahinkoja alkaa syntyä, kun sietokyky ylittyy. Happamoitumisuhka kohdistuu erityisesti metsiin ja vesistöihin. Tärkeimmät happamoittavat yhdisteet ovat rikkidioksidi (SO₂), typen oksidit (NO_x) ja ammoniakki. Näistä ammoniakki voidaan jättää sähköntuotannosta keskusteltaessa kahta muuta vähäisemmälle huomiolle. Typen oksideista happamoitumisen kannalta merkittäviä ovat typpimonoksidi (NO) ja typpidioksidi (NO₂). Typpilaskeuman happamoittavan vaikutuksen arvioimista hankaloittaa se, että se toimii tiettyyn rajaan saakka lannoitteena. Silloin kun typpilaskeuma on liian suuri, typpi akkumuloituu maaperään. Jos maan neutralointikyky ylittyy, myös typpilaskeuma alkaa lisätä happamoitumista.

Kriittisellä kuormituksella tarkoitetaan sitä luontoon laskeutuvien epäpuhtauksien määrää, jonka ekosysteemit nykytietämyksen mukaan korkeintaan sietävät vaurioitumatta, vaikka kuormitus jatkuisi pitkään. Kunkin alueen kriittinen kuormitus on paikkakohtainen, ekosysteemistä riippuva ominaisuus. Esimerkiksi metsämaiden happamoitumisherkkyys vaihtelee mm. maaperän kalkkipitoisuuden mukaan. Vaikkei kriittisten kuormitusten arviointi olekaan kaikilta osin yksiselitteistä, on arvoja käytetty hyväksi pyrittäessä sellaisiin energiantuotannon ja päästövähennysten ratkaisuihin, jotka kuormittaisivat luontoa mahdollisimman vähän ja jotka olisivat sekä teknisesti että taloudellisesti tehokkaita. Kriittisen kuormituksen arviointia hyödynnetään mm. ympäristöministeriön asettaman happamoitumistoimikunnan työssä.

Happamoittavia päästöjä on pyritty vertaamaan ja yhdistämään niiden happamoittavaa potentiaalia kuvaavan kertoimen (Acidification Potential, AP) avulla. Verrattuna rikkidioksidiin on typen oksidien happamoittavaksi potentiaaliksi määritetty rikki- ja typpihappojen vetyionipitoisuuksien mukaisesti 0,7 kg SO₂-ekv/kg NO₂. Päästöjen vertaamista hankaloittaa kuitenkin sama asia kuin kriittisten kuormitusten arviointia: rikin ja typen oksidien erilainen käyttäytyminen ekosysteemeissä. Kertoimissa tätä ei ole otettu huomioon.

Rikkidioksidi-ekvivalenteiksi laskettuna noin puolet Suomen happamasta laskeumasta aiheutuu tällä hetkellä rikkiyhdisteistä ja toinen puoli typen yhdisteistä. Aiemmin rikkilaskeuma oli selvästi määräävämpi. Luvun 5 päästömääriä käyttäen ovat sähköntuotannon happamoittavat päästöt 38,5 t SO₂ ekv., tästä typen osuus on noin 45 %. Sähköntuotanto muodostaa hieman yli 20 % Suomen rikkidioksidi-ekvivalenteiksi lasketusta kokonaispäästöstä (n. 180 t SO₂ ekv).

6.2.2 Ilmastonmuutos

Ilmakehän kasvihuonekaasut päästävät auringon lyhytaaltoisen säteilyn maahan, mutta eivät pitempiaaltoista säteilyä avaruuteen. Pysäytetty säteily lämmittää ilmakehää. Sen seurauksena ilmakehän lämpötila on korkeampi kuin se olisi ilman näitä kaasuja, mikä tekee nykyisen kaltaisen elämän maapallolla mahdolliseksi. Ihminen on sadan viime vuoden aikana lisännyt toiminnoillaan kasvihuonekaasujen pitoisuutta ilmakehässä. Tämän seurauksena ilmakehän lämpötila nousee, tätä kutsutaan tavallisesti kasvihuoneilmiöksi. Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan ihmistoiminnan aiheuttamaa kasvihuonekaasujen pitoisuuksien muutosta ja sen vaikutuksia maapallon ilmastoon.

Tärkeimmät kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO_2) ja metaani (CH_4). Näiden lisäksi myös dityppioksidilla (N_2O), CFC-yhdisteillä ja alailmakehän otsonilla, jota syntyy typen oksidien (NO_x), hiilimonoksidin (CO) ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (NMVOC) välisissä kemiallisissa reaktioissa ilmakehässä, on vaikutusta ilmastonmuutokseen. Typenoksidien, hiilimonoksidin ja haihtuvien hiilivetyjen nettovaikutuksista ilmaston lämpenemiseen ei ole kuitenkaan varmuutta, joten niiden käsittely kasvihuonekaasuina on vaikeaa.

Hiilidioksidi on ihmistoiminnan aiheuttamista kasvihuonepäästöistä merkittävin, vaikka muut kasvihuonekaasut ovatkin vaikutukseltaan hiilidioksidia voimakkaampia. Sen osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöjen ilmastovaikutuksista on esimerkiksi vuonna 1995 arvioutu olleen noin 70 % (Finland's Second ... 1997).

Puun energiakäytön ei katsota lisäävän ilmakehän hiilidioksidimäärää, sillä poltossa vapautuva hiilidioksidi sitoutuu kestävässä metsätaloudessa takaisin uuden metsän kasvuun. Turpeen poltossa syntyvät päästöt otetaan nykyisten IPCC:n ohjeiden mukaan huomioon koko maan nettohiilidioksidipäästöjä laskettaessa. Tämä siitä huolimatta, että luonnontilaisiin soihin varastoituu vuosittain merkittävästi hiiltä ja turvetaloudesta poistettu alue voi jälkikäytöstä riippuen jälleen ruveta sitä sitomaan. Turpeen uusiutuminen on kuitenkin erittäin hidasta. Turvetalouden hyväksi voidaan lukea se, että se vähentää toisen kasvihuonekaasun, metaanin, päästöjä suon luonnontilaan verrattuna.

Kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta voidaan tarkastella yhdistämällä kasvihuonekaasujen päästöihin niiden tietyinä ajanjaksona aiheuttamaa säteilypakotetta kuvaava kerroin. Säteilypakotteella tarkoitetaan muutosta, jonka kaasujen pitoisuuksien kasvu aiheuttaa maapallon energiataseessa vähentäessään avaruuteen suuntautuvaa säteilyä. Taulukossa 13 on esitetty hiilidioksidin, metaanin ja dityppioksidin päästöjen lämmitysvaikutus verrattuna hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen eri ajanjaksoina.

Suomen kasvihuonekaasupäästöt ovat 100 vuoden tarkastelujaksoa vastaavien kertomien mukaan hiilidioksidiekvivalentteina noin 80,6 milj. tonnia. Sähköntuotannon

kasvihuonekaasupäästöille vastaava luku on noin 14 milj. tonnia eli noin 17 % kokonaispäästöistä.

Taulukko 13. Kasvihuonekaasujen elinikä ja niiden lämmitysvaikutusta kuvaavat GWP (Global Warming Potential) -kertoimet. Kertoimet on laskettu massayksikköä kohti ja suhteutettu hiilidioksidiin. (Kuusisto ym. 1996.)

Kaasu	Elinikä vuosina	GWP-kerroin eri tarkasteluajoilla		
		20 vuotta	100 vuotta ¹⁾	500 vuotta
CO ₂		1	1	1
CH ₄	12 ± 3	39 - 72	21	4,6 - 8,8
N ₂ O	120	280	320	170
NO _x			40	
CO			3	
NM VOC			11	

1) Lähde: Finland's Second Report under the Framework Convention on Climate Change 1997.

6.2.3 Monimuotoisuuden väheneminen

Luonnon monimuotoisuus eli biodiversiteetti tarkoittaa elävän luonnon kaikenlaista vaihtelua: erilaisten elinympäristöjen määrää, lajien lukumäärää ja lajinsisäistä perinnöllistä vaihtelua. Vaihtelevuutta voidaan pitää luonnon perusominaisuutena, joka takaa elämän jatkuvuuden maapallolla. Biodiversiteetin suojelun taustalla on lisäksi maailmanlaajuinen huoli lajien nopeasti lisääntyneistä sukupuutoista, mikä on pääosin ihmisen toiminnan seurausta.

Sähköntuotanto uhkaa monimuotoisuutta ensisijaisesti ympäristön muokkaamisen kautta. Laajamittainen bioenergiantuotanto ja soiden käyttö turvetuotantoon saattavat vaikuttaa lajien esiintymiseen ja vähentää tiettytyyppisten luonnontilaisten soiden määrää siten, että luonnon moninaisuus pienenee huomattavasti. Päästöjen vaikutusta monimuotoisuuteen on vaikea kaikilta osin arvioida. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen ja happamoitumisen ennustetaan vaikuttavan monimuotoisuuteen kuitenkin merkittävästi. Sähköntuotantorakenteen hajautuminen sekä tuotannon ja kulutuksen sijaitseminen kaukana toisistaan saattavat olla kielteisiä asioita monimuotoisuuden kannalta.

Biodiversiteetin mittaaminen on osoittautunut ongelmalliseksi tehtäväksi, eikä sopivan yleisiä, mutta yksityiskohdissaan luotettavia mittaamenetelmiä ole pystytty kehittämään sen paremmin Suomessa kuin muuallakaan. Luontovaikutusten arvioinnin vaikeutta

lisäävät eri tahojen väliset ja sisäiset arvostuskysymykset erityisesti silloin, kun vaikutukset ovat sekä myönteisiä että kielteisiä luonnolle. Sähköntuotantoon liittyvistä toiminnoista joidenkin, esimerkiksi voimajohtojen ja mahdollisesti hakkuutähteiden keräyksen, voidaan joissain olosuhteissa ajatella vaikuttavan monimuotoisuuteen sekä myönteisesti että kielteisesti. Toisaalta biodiversiteetista näyttääkin muodostuneen pikemminkin poliittinen kuin tarkasti tieteellinen käsite.

6.2.4 Muut ekologiset vaikutukset

Vaikutus vesiin

Vesistöjen säännöstely ja rakentaminen sekä turvetuotanto muuttavat vesistöjä sekä hydrologisesti (esim. virtaamat, vedenkorkeus ja jääolot) että kemiallisesti. Vaikka turvetuotanto on valtakunnallisesti marginaalinen vesistökuormittaja, voi turvetuotannon kiintoaine- ja ravinnekuormitus olla paikallisesti selvästi havaittavissa. Bioenergian tuotannon seurauksena valumaveden määrän ja laadun muutokset, kuten kiintoaine-, humus- ja ravinnepitoisuuden kasvu, saattavat aiheuttaa lisäkuormitusta alapuolisessa vesistössä. Metsäbioenergian tuotannon vaikutus metsätalouden vesistö päästöihin on kuitenkin arvioitu hyvin pieneksi, sillä voi alueittain olla jopa päästöjä vähentävä vaikutus. Bioenergian tuotanto perinteisillä peltoviljelyalueilla vähentää yleensä vesistöjen kuormitusta verrattuna aiempiin tuotantomuotoihin.

6.3 Vaikutukset ihmisen terveyteen

Suomessa kaupunkien pahimpia ilmanlaatuongelmia ovat altistuminen hiukkasille ja typpidioksidille. Pienhiukkasten lisäksi alla olevassa kiinnitetään huomio alailmakehän otsoniongelmaan ja haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin sekä julkisuudessa usein esiin nostettuun ionisoivaan säteilyyn. Käsittelyn tarkoituksena on tuoda esiin joidenkin päästömuuttujien, esim. typen oksidien, aiheuttamien vaikutusten moninaisuutta. Myös maailmanlaajuiset ympäristömuutokset, kuten ilmastonmuutos ja yläilmakehän otsonikato, saattavat tulevaisuudessa muuttaa ympäristöä niin merkittävästi, että niiden vaikutus muuttaa myös kansanterveyden tilaa.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa elintapoihin, kuten tupakointiin ja ruokailutottumuksiin, liittyvien terveysriskien olevan huomattavasti suurempia kuin sähköntuotantoon liittyvien terveysriskien. Yhteiskunnan suhtautumista vakavammin esimerkiksi huonoon kaupunki-ilmaan kuin tupakointiin voidaan perustella sillä, että ensin mainittua kansalaiset eivät voi välttää kuten jälkimmäistä.

Ympäristöperäisen terveysriskin arviointi on mutkikasta, koska altistumisen suuruutta on vaikea arvioida ja se on ajallisesti vaihtelevaa sekä yksilöllisistä ominaisuuksista ja henkilökohtaisesta käyttäytymisestä riippuvaista. Lisäksi altisteita on samaan aikaan lukuisia, mutta pitoisuudet ovat yleensä pieniä. Yksinkertaisimmillaan ympäristöperäistä altistumista voidaan arvioida käyttämällä mittarina päästömäärää ympäristöön.

6.3.1 Pienhiukkaset

Hengitettävän ulkoilman merkittävät pienhiukkaspitoisuudet aiheutuvat teiden ja maaperän pölyämisestä, liikenteen pakokaasuista suorina hiukkaspäästöinä sekä kaasujen muutunnan kautta (Karas 1997a). Lisäksi tutkimuksin on havaittu öljyn ja puun poltossa syntyneitä huomattavia pitoisuuksia. Pienhiukkaspitoisuuksien vaihtelu on hyvin suurta olosuhteiden ja pistelähteiden sijainnin mukaan. Sisäilman pienhiukkaspitoisuus aiheutuu esim. ruoan paistamisesta, ja sen yhteys ulkoilman pienhiukkaspitoisuuteen on vähäisempi.

Terveyshaittoja aiheutunee eniten liikenteen päästöistä, koska ne syntyvät ihmisten välittömässä läheisyydessä ja ovat kemialliselta koostumukseltaan oletettavasti haitallisia. Energiantuotannosta syntyvät suorat hiukkaspäästöt ovat varsin vähäisiä. Energiantuotannon aiheuttamaa hiukkaskuormitusta syntyy lähinnä kaasumaisen rikkidioksidin muutunnan kautta. Nämä muutuntatuotteet leviävät laajalle alueelle, eivätkä yleensä aiheuta esimerkiksi kaupunkiympäristöön merkittäviä hiukkaspitoisuushuippuja. Koska energiantuotannon hiukkaspäästöt ovat suureksi osaksi rikkisulfaattia, ne saattavat olla terveysvaikutuksiltaan keskimääräistä haitallisempia hiukkasia (Karas 1997a.).

Normaaleissa kaupunkiolosuhteissa Suomessa energiantuotannon osuus hengitysilman pienhiukkaspitoisuuksista on arviolta 5 - 15 %, suurimmillaankaan osuus ei luultavasti kasva kuin 10 - 25 %:iin ympäristön pienhiukkaspitoisuuksista (Karas 1997b). Tästä pienhiukkaskuormituksesta noin 50 - 70 % johtuu rikkidioksidin ja typen oksidien muutunnasta hiukkasiksi. Loppuosa on lähinnä lentotuhkaa. Muutunnan merkitys pienhiukkaspitoisuuksien aiheuttajana vähenee rikinpoiston ja polttotekniikan kehittyessä.

WHO:n (1995) selvitysten perusteella pienhiukkaset aiheuttavat vuosittain 1 - 2 % kaikista kuolemantapauksista Euroopan kaupungeissa, saastuneimmissa kaupungeissa jopa 3 %. Pienhiukkasten terveyshaittoja aiheuttava mekanismi tai komponentti on kuitenkin edelleen tuntematon, eikä tällä hetkellä osata vastata siihen, kuinka yleistettäviä tulokset ovat Suomen olosuhteissa. Pienhiukkasten vaikutusten selvittäminen luotettavasti erillään muiden ilmansaasteiden vaikutuksista on hyvin hankalaa, koska ilmansaasteet usein esiintyvät korkeina pitoisuuksina yhtä aikaa. Ilmansaasteilla on myös yhteisvaikutuksia.

6.3.2 Alailmakehän otsoni

Alailmakehän otsoni (O_3) on ns. sekundaarinen yhdiste eli sitä ei sellaisenaan vapaudu päästölähteistä. Otsoni on osittain peräisin yläilmakehästä, alailmakehässä otsonin muodostusta säätelevät pitkälti typen oksidit. Typen oksidien lisäksi sitä muodostuu hiilimonoksidin, metaanin ja muiden haihtuvien hiilivetyjen valokemiallisissa reaktioissa.

Alailmakehän otsonin pitoisuuksia on tutkittu Suomessa sekä mittauksin että malliarvoin. Suomen otsonipitoisuudet ovat keskimäärin korkeita esimerkiksi Keski-Eurooppaan verrattuna. Meillä ei ole kuitenkaan esiintynyt eteläisempien maiden suurkaupungeille tyypillisiä lyhytaikaisia, erittäin korkeita otsonipitoisuuksia. Myös Suomen tiheään asuttujen alueiden päästöistä voi suotuisissa olosuhteissa, etenkin kesällä, muodostua otsonia, mutta merkittävästi maassamme havaittuihin korkeisiin otsonipitoisuuksiin vaikuttaa kaukokulkeutuminen.

Otsonin muodostumisen monimutkaisuuden takia sitä säätelevien päästöjen yhteismitalistaminen ei ole yksiselitteistä. Tietyn toiminnan osuutta otsonin muodostumisongelmaan onkin siksi toistaiseksi tarkasteltu lähinnä suoraan kyseisten aineiden päästöosuuksien perusteella. Tällaisessa tarkastelussa liikenteen osuus otsoniongelmaan on huomattavampi kuin sähköntuotannon. Typen oksidien ja hiilidioksidin osalta myös sähköntuotannolla voi olla merkitystä.

6.3.3 Ionisoiva säteily

Suurin osa suomalaisten saamasta säteilyaltistuksesta on peräisin luonnosta, erityisesti huoneilman radonista. Säteilyturvakeskuksen mittausten ja arvioiden mukaan ionisoivan säteilyn vuosiansa on Suomessa (1995/1996) keskimäärin noin 3,7 mSv ja se jakaantuu taulukon 14 mukaisesti.

Radioaktiivisten aineiden päästöt esimerkiksi Loviisan ydinvoimalaitokselta ovat aiheuttaneet laskennallisesti arvioiden noin 0,001 mSv:n annoslisän laitoksen välittömässä lähiympäristössä asuville ihmisille vuosittain (Hongisto ym. 1997). Tuotantovaiheen lisäksi ydinpolttoaineketjun merkittävimmät radioaktiiviset päästöt liittyvät kaivos- ja rikastusvaiheeseen. Niiden suuruus riippuu pitkälti kaivostoiminnan toteuttamistavasta. Jätteiden loppusijoituksen päästöt ovat Suomeen suunniteltujen ratkaisujen mukaisesti pienempiä kuin päästöt voimalaitoksista.

Välittömästi säteily vaikuttaa terveydentilaan vain silloin, kun säteilyannos on erittäin suuri. Vähäisemmät säteilymäärät lisäävät syövän esiintymistä. Niillä säteilytasoilla, joita ydinvoiman tuotanto normaalisti aiheuttaa, ei vaikutusta syövän syntyyn voida havaita, joten se arvioidaan olettaen vaikutuksen olevan verrannollinen säteilyannokseen.

Suurimmat normaalitoimintaan liittyvät päästöt ovat peräisin polttoaineen jälleenkäsittelystä, jota Suomessa syntyneelle ydinjätteelle ei tehdä. (Tältäkin osin päästöt ovat sangen vähäiset.) Sähköntuotanto Suomessa ei normaalitoiminnassa muodosta ionisoivan säteilyn osalta uhkaa. Tärkein tilanne, jossa säteilyllä voi olla yleistä merkitystä ympäristön ja ihmisen terveyden kannalta, on onnettomuus. Ydinvoimalaonnettomuuksien aiheuttaman lisäsäteilyn odotusarvo on kuitenkin hyvin pieni. Esimerkiksi suomalais-tyyppisessä reaktorissa vakavan reaktorionnettomuuden todennäköisyyden on arvioitu olevan yksi onnettomuus noin sataa tuhatta vuotta kohti. Kahdessa kolmasosassa näistä onnettomuuksista päästöt jäävät kuitenkin voimalaitoksen suojarakenteiden sisään, eivätkä aiheuta vaaraa ympäristölle. Niinpä todennäköisyys ympäristövaikutuksille on vakavan reaktorionnettomuuden riskiäkin pienempi.

Taulukko 14. Ionisoivan säteilyn keskimääräisen vuosiannoksen koostumus Suomessa.

Säteilyn lähde	Keskimääräinen vuosiannos mSv
sisäilman radon	2,0
ulkoilman säteily maaperästä	0,5
kosminen säteily avaruudesta	0,3
luonnon radioaktiivisuus kehossa	0,3
röntgendiagnostiikka	0,5
radioisotoopit diagnostiikassa	0,04
Tshernobyl laskeuma	0,04

6.4 Muut vaikutukset

6.4.1 Viihtyvyyshaitat ja vaikutukset luonnon monikäyttöön

Käsiteltäessä viihtyvyyteen ja luonnon monikäyttöön liittyviä tekijöitä on usein vaikea erotella, milloin on kysymys taloudellisista ja milloin viihtyvyyteen liittyvistä haitoista. Viihtyvyyshaitat rajoittuvat usein voimalaitoksen tai polttoaineen kuljetusreittien välittömään läheisyyteen. Ne on kuitenkin nostettu huolenaiheeksi keskusteltaessa esim. tuulivoimasta. On huomattava, että viihtyvyyshaittojen arviointi on tärkeä osa voimalaitosten lupakäsittelyä. Viihtyvyystekijöistä on seuraavassa valikoitu tarkasteluun maise-ma ja melu. Luonnon monikäyttöön (ulkoilu, marjastus, kalastus, matkailu jne.) vaikuttavana tekijänä poimitaan yksittäisesti esiin vesistöjen säännöstely.

Maisema

Keskusteltaessa keskimääräistä pienemmistä tuotantoyksiköistä on esiin noussut tuotantolaitosten vaikutus maisemaan, sillä erityisesti tuulivoimalle suotuisimmat alueet ovat usein maisemaltaan herkkiä esim. ranta- tai tunturialueita. Myös vesivoiman ja turvetuotannon vaikutus maisemaan voi olla merkittävä. Mitä suurempi on voimalaitoksen yksikkökoko, sitä pienempiä ovat yleensä saman energiamäärän tuotannon kokonaisvaikutukset maisemaan. Hajautetun tuotannon ongelma tulee tässä esiin kuten maankäytön yhteydessäkin.

Sähköntuotannon vaikutukset maisemaan ovat lähinnä paikallisia ja riippuvat mm. ympäröivän maaston luonteesta: sen korkeuseroista, metsäisyydestä jne. Kun vaikutukset ovat lisäksi eri sähköntuotantomuotojen välillä erilaisia, on tuotantomuotojen maisemavaikutusten arviointi ja vertaaminen erittäin hankalaa.

Melu

Melulla tarkoitetaan ääntä, jonka ihminen kokee epämiellyttävänä tai häiritsevänä tai joka on muulla tavoin terveydelle vahingollista tai muulle hyvinvoinnille haitallista. Kattavaa, koko maata koskevaa melutilanteen selvitystä ja tietoja melulle altistumisesta ei toistaiseksi ole käytettävissä. Ympäristömelun ja melulle altistumisen arvioidaan kuitenkin lisääntyvän Suomessa tulevaisuudessa. Liikenteen kasvu ja lisääntyvä erilaisten koneiden käyttö nostavat melutasoa.

Sähköntuotannon tarvitsemien kiinteiden polttoaineiden maantiekuljetusten aiheuttama liikennemelu voi olla paikallisesti merkittävää. Voimalaitosten rakentamisen aikainen melu tulee esille kaikkien sähköntuotantomuotojen yhteydessä. Voimalaitosten käytöstä syntyvä melu on tieliikenteen meluun verrattuna vähäistä. Tuulivoiman yhteydessä meluun on kiinnitetty erityistä huomiota. Tuulivoimalan melu rajoittuu kuitenkin voimalan lähelle, ja suurilla tuulen nopeuksilla, kun voimalan toiminta on äänekkäimmillään, myös taustamelu, kuten tuulen suhina puissa on voimakasta.

Melusta kärsimisen mittaaminen on vaikeaa, sillä melu on subjektiivinen kokemus. Onkin esitetty, että melun aiheuttamasta ja ihmisen kokemasta häiriövaikutuksesta vähäisempi osa johtuu äänen voimakkuudesta, kestosta, toistuvuudesta ja muista fyysikaalisista ominaisuuksista ja suurempi osa henkilökohtaisista asenteista melulähteeseen ja asuinympäristöön. Niinpä pelkät melumittaukset eivät riitä kertomaan melun aiheuttamasta häiriöstä.

Vesistöjen säännöstely

Vesistöjen säännöstelyyn halutaan kiinnittää tässä yhteydessä huomiota siksi, että se poikkeaa selvästi vaikutuksiltaan muista sähköntuotantoon liittyvistä toiminnoista. Sen lisäksi, että vesistöjen rakentamisella ja säännöstelyllä on vaikutusta vesistön hydrologiaan ja vesiluontoon (happamuus, kasvillisuus, kalasto, pohjaeläimet jne.), vesirajan siirtyminen ja vedenkorkeuden vaihtelu vaikuttavat myös moniin rannan käyttömuotoihin, kuten uintiin ja kalastukseen, sekä rannan kauneuteen. Osa vesivoiman tuotannon ympäristövaikutuksista on kompensoitu vesilain mukaisten velvoiteperusteisten tai viime aikoina yhä useammin myös vapaaehtoisten korvausten ja kunnostustoiminnan kautta. Ympäristövaikutuksia ei korvauksilla ja kunnostuksilla kuitenkaan voida täysin poistaa.

Järvissä säännöstelyjen ja jokien lyhytaikaissäätöjen virkistyskäyttö-, elinympäristö- ja kalatalousvaikutuksia on selvitetty laajasti, ja niiden arviointiin on kehitetty erilaisia arviointimenetelmiä (katso esim. Sinisalmi ym. 1996). Menetelmät antavat eväitä hankekohtaiseen vesivoiman ympäristövaikutusten tarkasteluun. Hankkeitten vertaaminen toisiinsa luotettavasti on kuitenkin hankalaa.

6.4.2 Onnettomuudet

Sähköntuotannossa jonkinlainen onnettomuusriski liittyy kaikkiin tuotantomuotoihin. Liikenneonnettomuudet energialähteiden kuljetuksissa ovat mahdollisia, samoin esimerkiksi tuulimyllyn siipien irtoaminen, paineastiaonnettomuudet, maakaasuun liittyvät räjähdykset, patomurtumat ja ydinvoimalaonnettomuudet. Onnettomuusriski on kuitenkin huomattavan pieni verrattuna moniin yksilöiden vapaaehtoisesti ottamiin riskeihin, kuten elämäntapariskeihin. Sähköntuotantomuotojen tarkastelu ja vertaaminen onnettomuusriskien perusteella ei siksi liene järkevää. Vaikka onnettomuusriski voitaisiin määrittää matemaattisen tarkasti, ihmiset kokevat riskin subjektiivisesti. Tämä koskee aivan erityisesti hyvin epätodennäköisiä, mutta seuraamuksiltaan suuria onnettomuuksia kuten ydinvoimalaitosonnettomuuksia. Onnettomuuden todennäköisyyden ollessa hyvin pieni voivat onnettomuuksien pelkoon liittyvät psykologiset ja sosiaaliset seikat muodostua merkittävämmiksi kuin onnettomuuden arvioidut ekologiset tai ihmisten fyysiseen terveyteen kohdistuvat haitat.

Onnettomuuksien todennäköisyyksien ja seurausten arviointiin sekä erityisesti onnettomuusriskin arvotukseen liittyvien ongelmien takia ei onnettomuuksien laajempaa vertausta pidetä tässä yhteydessä perusteltuna.

7. Kriteerien muodostamisessa huomioon- otettavaa

7.1 Ympäristölaatua ohjaavat tekijät

Sähkön ympäristölaadun kriteerien hallitsevana tavoitteena tulee olla entisestään lisätä kestävään kehitykseen pohjautuvaa sähköntuotantoa huomioonottaen sekä sähkön tuotantojärjestelmä että ympäristövaikutusten muodostumisketjut. Kestävän kehityksen saavuttamiseksi ja ylläpitämiseksi on olemassa useita keinoja, jotka voivat olla hallinnollisia tai markkinapohjaisia tai eettisiä ja moraalisia toimintamalleja. Kaikki nämä ohjausmallit ovat jo käytössä, vain niiden tehokkuus ja keskinäinen vaikutusmäärä vaihtelee.

Hallinnollisista keinoista tärkeimmät ovat lupa- ja ohjearvomenettely sekä erilaiset välittömät ja välilliset tuet. Julkinen valta asettaa sähköntuotantolaitoksen rakentamiselle ja käytölle ympäristösuojeluvaatimuksia, rajoituksia, raja-arvoja ja ohjearvoja, joiden tarkoituksena on vähentää pääsääntöisesti yksittäisen laitoksen ympäristövaikutuksia. Hallinnollisesti ohjattua on myös taloudellisen tai muun vastaavan tuen tai veron käyttö haluttujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Ohjauskeinona on varsinkin aiemmin käytetty myös julkisessa omistuksessa oleville tuottajille kohdistettuja välittömiä päätöksiä sähkön tuotannosta ja rakentamisesta. Tähän verrattavissa on myös julkisen vallan sähköyhtiöille antama määräys ostaa tietyt ehdot täyttävien tuottajien tuottamaa sähköä muuta tuotantoa korkeampaan hintaan.

Erilaiset hallinnolliset normit ovat osoittautuneet tehokkaaksi tavaksi vähentää ympäristöhaittoja, kun käytettävissä tai kehitettävissä on teknillisiä ratkaisuja, joiden kustannukset eivät ole kohtuuttomat. Niillä on kuitenkin joitain puutteita. Ehkä vakavin ongelma liittyy eri maiden normien suuriin eroihin. Täten väljiä normeja soveltavan maan tuottajat saattavat saada ansiotonta etua kansainvälisessä kilpailussa. Toinen ongelma liittyy siihen, että normit voidaan yleensä ottaa käyttöön vasta silloin kuin tietty vaatimustaso on saavutettavissa kyllin laajalti. Normeja on myös vaikea määrätä siten, että päästöjen vähentäminen tapahtuisi mahdollisimman kustannustehokkaasti tilanteissa, joissa jo entuudestaan keskimääräistä pienempiä päästöjä voidaan edelleen pienentää edullisesti.

Yritysten vapaaehtoiset toimet ovat muodostaneet ja tulevat varmasti jatkossakin muodostamaan tärkeän hallinnollisia normeja täydentävän keinon ympäristöhaittojen vähentämiseksi. Näiden keinojen käyttöön voi liittyä yritysten tai niiden yhteenliittymien ja viranomaisten välisiä sopimuksia, joiden mukaan joistain normeista tai normien kiristämisestä luovutaan sillä edellytyksellä, että vapaaehtoistoimet tuottavat vastaavan ympäristöhyödyn. Yritykset voivat täten kohdistaa ympäristönsuojelutoimet kustannustehokkaammin, kuin mihin päädyttäisiin kaavamaisia normeja soveltaen. Vapaaehtoistoimien

tehokkuutta edistää Suomessa monia muita maita yhteistyöhakuisempi vuoropuhelu ja ratkaisujen etsintä yritysmaailman ja viranomaisien kesken. Esimerkkinä tästä lähestymistavasta on parhaillaan valmisteilla olevat puitesopimukset energia-alan ja kauppa- ja teollisuusministeriön kesken energiantuotantosektorin energiansäästötoimien edistämiseksi.

Markkinoihin liittyvät ohjaukset tarjoavat kuluttajille sekä välituotteiden jatkojalostajille mahdollisuuden suosia niiden maiden tuotantoa, jotka hoitavat muita vastuullisemmin ympäristöä ilman että turvauduttaisiin kiellettyihin kaupan esteisiin huonommin asiansa hoitavia maita vastaan. Samoin ne tarjoavat kuluttajille mahdollisuuden edistää sellaista tuotantoa, joka on ympäristön kannalta vielä selvästi parempaa kuin mitä normit edellyttävät.

Markkinavoimat eivät ole toistaiseksi juurikaan vaikuttaneet välittömästi sähkön tuotantoon ja rakentamiseen tavoitteena ympäristövaikutuksiltaan edullisempi sähkö. Markkinavoimien edellyttämä kustannustietoisuus vaikuttaa monesti kielteisesti ympäristöystävällisyyteen; ei kuitenkaan aina, sillä esimerkiksi suurempi laitoskoko ja pienemmät yksikkökustannukset merkitsevät yleisesti samalla vähemmän päästöjä ja muita ympäristövaikutuksia suhteessa tuotettuun energiamäärään. Suurissa tuotantoyksiköissä on myös erilaisten ympäristönsuojelutoimien toteuttaminen ollut paljon tehokkaampaa.

Sähkömarkkinoiden uutena ilmiönä on kuluttajien osittainen hyväksyntä sille että ympäristöä vähemmän kuormittava sähkö saattaa maksaa enemmän. Kiinnostus on todettu useissa maissa erilaisilla kyselytutkimuksilla ja myös halukkuus maksaa enemmän on joissain tapauksissa toteutunut ostosopimuksissa. Sähkö on yleensä näissä tapauksissa sovittu tuotettavan uusiutuvilla energialähteillä yleensä tai jollain nimetyllä tuotantotavalla, kuten tuulivoimalla. Ilmiöstä käytetään termiä green pricing, green power, green marketing jne.

Markkinoiden ympäristöperusteinen vaikutus sähkön tuotantomuotoihin voi tulevaisuudessa saada suuremman merkityksen, jos sähkön ympäristölaatu määritellään erilaisille tuotantolaitoksille ja tuotantoyhdistelmille valtakunnanlaajuisesti ja mahdollisesti myös kansainvälisesti. Sähkön tuotantomuotojen ekokilpailu tulee mukaan sähkön markkinoille. Esimerkiksi sähköpörssiessä voitaisiin noteerata hinnat erikseen eri tavoin tuotetuille sähköille sen lisäksi että hinta määräytyy toimitusajankohdan mukaan.

Kolmantena tekijänä ohjaamassa sähkön ympäristövaikutuksia ovat eettiset ja moraaliset tekijät. Nämä vaikuttavat sekä sähkön tuotannosta vastaavien henkilöiden ja organisaatioiden kautta että yleisen mielipiteen ja kansalaisvaikuttamisen kautta. Molemmilla tekijöillä on pitkät perinteet ja suuret ohjaavat vaikutukset sähköntuotannon ympäristövaikutuksiin. Tämä tekijä on ollut erityisen tärkeä ohjatessaan päätöksentekoa monopoliasemassa olevissa organisaatioissa, jotka ovat voineet siirtää lisäkustannukset hin-

toihin. Yrityksen johdon arviointiin ja johdon asemaan on voinut vaikuttaa yhtä lailla johdon vastuuntuntainen suhtautuminen ympäristöön ja yhteiskuntaan kuin yritystaloudelliset näkökohdat.

Edellämainittujen ohjaustekijöiden yhteisvaikutuksesta sähköntuotanto on saanut nykyisen ympäristölaatunsa. Kaikkia näitä tekijöitä tarvitaan, jotta sähkön laatu kokonaisuutena entisestään kehittyisi kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti.

7.2 Ympäristölaadun mittaaminen

Ympäristövaikutusten muodostuminen on monitasoinen tapahtuma ja prosessiketju. Sen määrittämisessä ylimpänä tasona on konseptuaalisesti kestävä kehityksen määrää kuvaava indeksi, ympäristölaatuindeksi. Sen mittaaminen tai laskeminen tai edes sen sisällön yksikäsitteinen määrittäminen on nykytietämyksellä vaikeaa niin että menetelmästä voitaisiin olla laajasti yksimielisiä. Ympäristölaatumäärittäyksessä on tyydyttävä alemman tason vaikutusten tarkasteluun.

Paras tietämys sähkön ympäristölaatuun vaikuttavista tekijöistä on vaikutusketjun ensimmäiseltä tasolta eli teknillisten järjestelmien ja prosessien aiheuttamista ympäristökuormituksista: päästöistä ja muista välittömistä vaikutuksista. Vaikka sähkön tuotantoketjut ovat joissain tapauksissa varsin monivaiheiset ja voivat ulottua maantieteellisesti toiselle puolelle maapalloa, on ketjujen jäljittäminen ja analysointi ainakin teoriasa ja useimmiten käytännössäkin mahdollista. Välittömät ympäristövaikutukset voidaan todentaa prosessimittauksilla, tasemittauksilla ja osittain yleisillä fysikaaliskemiallisilla taseyhtälöillä ja simulointimalleilla. Täydellisiä ja luotettavia tietokantoja ei kuitenkaan vielä ole olemassa, tietämystä ja irrallisempaa datatietoa kylläkin runsaasti. Käyttökelpoisen tietokannan rakentamisessa on tärkeitä osata määrittää ne muuttujat, joilla on merkitystä sähkön ympäristölaatuun, jotta tietomäärä saadaan pidettyä hallinnassa.

Pelkkien kuormitustietojen tunteminen ei kuitenkaan riitä sähkön ympäristölaadun määrittämiseksi. Päästömäärät eivät suoraan määrää vaikutusta kestävä kehityksen indeksiin. On tunnettava päästöjen aiheuttamat vaikutukset ihmiselle ja ympäristölle. Vaikka esimerkiksi kasviuoneilmiön olemassaoloa tai pienhiukkasten haitallisuutta terveydelle ei juuri kukaan enää nykyisin kiistä, on epävarmuus näiden haittojen suuruudesta erittäin suuri. Vielä vaikeampi on yhteismitallistaa näin erilaisia haittoja: kuinka monen ihmisen ennenaikainen kuolema on yhtä suuri haitta kuin maapallon keskilämpötilan nousu kahdella asteella tai polttoaineiden saatavuusrajoituksista aiheutuvat moninaiset sosiaaliset, taloudelliset ja yhteiskunnalliset haitat niin teollisuus- kuin kehitysmaissakin? Yhteismitallistamista on tutkittu mm. monissa kansainvälisissä yhteishankkeissa, joista yksi tuoreimpia ja laajimpia on EU:n piirissä toteutettu ExternE-projekti (European Commission 1995). Yhteisen kannan saavuttaminen niin terveyshaittojen

kuin varsinkin ilmastonmuutoksen haitallisuuden vertaamisesta helpommin rahana ilmaistaviin haittoihin on kuitenkin osoittautunut erittäin vaikeaksi tai ylivoimaiseksi vielä päätösvaiheessa olevan jatkoprojektinkin aikana.

Sähkön ympäristölaadun mittaamisessa on siten vielä tyydyttävä vaillinaiseen tietoon ja jotkut menetelmät perustuvatkin asiantuntijoiden mielipiteisiin. Ongelma helpottuu, jos tarkastellaan vain tietyn tyyppisillä tuotantomuodoilla tuotettua sähköä, esimerkiksi ei-fossiilista lähteistä tuotettua sähköä. Rajaamista voidaan edelleen jatkaa ja tarkastella vaikkapa uusiutuvilla energialähteillä tuotettua sähköä. Jos kuitenkin tarkastellaan sähköverkosta otettua sähköä, vaikuttaa myös muu tuotantojärjestelmä sähkön ympäristölaatuun ja näin ympäristölaadun määrittäminen mutkistuu.

Suuria eroja on myös kunkin sähköntuotantomuodon eri käyttökohteiden kesken. Käytettävän polttoaineen laatu, savukaasujen puhdistustekniikan taso, laitoksen hyötysuhde sekä lukuisat muut yksityiskohdat johtavat suuriin eroihin esimerkiksi eri hiilivoimalaitosten välillä. Näiden erojen mittaaminen sekä tähän perustuva parempaa teknologiaa soveltavan laitoksen suosiminen ja painostus tekniikan parantamiseen voivat vaikuttaa ympäristön tilaan ainakin lyhyellä aikavälillä enemmänkin kuin uusien, toistaiseksi tuotanto-osuudeltaan vähäisempien ratkaisujen edistäminen. Tältä osin on myös löydettävissä kehityslinjoja, joihin ei sisälly samanlaisia ristikkäisiä vaikutuksia kestävä kehityksen eri osa-alueilla kuin monesti polttoaineen vaihdoksiin.

7.3 Sähkön ympäristölaadun kriteerien muodostaminen

7.3.1 Ympäristölaadun suureita

Sähkön ympäristölaatu voidaan periaatteessa määrittää usealla tavalla. Ideaalisesti määriteltynä ympäristölaatu on suure, jolla voidaan kuvata kaikilla tavoilla tuotetun sähkön ympäristölaatu. Suureen yksikkönä on jonkinlainen ympäristölaatuindeksi. Tällaisen jatkuvan kuvauksen helpommin toteutettava muunnos on ympäristölaatuluokittelu. Ympäristölaatu-suure jaetaan luokkiin, joihin eri tavoin tuotettu sähkö voidaan kohdentaa. Kolmantena variaationa laadun määrittämisessä on yhden rajatason asettaminen. Tässä määrittelyssä on tavoitteena luokitella vain se sähkö, joka täyttää tietyn ympäristöindeksin arvon, muu sähkö on luokittelematonta. Tämä määrittelytapa on olennaisesti helpompi toteuttaa kuin muut edellä mainitut. Viimemainittua laatumäärittelyä edustaa ainakin tuloksen esittämisen kannalta mm. ympäristömerkki-periaate. Merkin myöntäminen voi kuitenkin perustua monienkin monimutkaisten indeksien yhdistämiseen.

Ympäristölaatuindeksien määrittämisessä eräs tapa on kriteerien käyttö. Kriteeri on oikeastaan vain havainnollistava nimi ympäristölaatuindeksille. Jos yhtä yleispätevää

ympäristölaatuindeksin yksikköä ei voida määrittää, on käytettävä useita kriteereitä ja vastaavasti useita mittayksiköitä. Parhaimmillaan kriteerit ja niiden yksiköt ovat toisis- taan riippumattomia ja muutenkin yksiselitteisiä ja ympäristölaatua oikein kuvaavia suu- reita. Kriteeristöstä voidaan puhua, kun tarkoitetaan tietyn ympäristölaatuluokan tai ympäristömerkin määrittelevää kriteerien joukkoa.

7.3.2 Kriteerien ominaisuuksia

Vaikka sähkön ympäristölaadun määrittävien kriteereiden aikaansaaminen onkin oma prosessinsa, voidaan kriteereille löytää ominaisuuksia, jotka pätevät sekä yleiseen säh- kön laatuluokitteluun että ympäristömerkkipohjaiseen määrittelyyn. Kriteerien ominai- suudet liittyvät niiden sisältöön ja tarkoitukseen, niiden soveltavuuteen tapauskohtaisiin tarkasteluihin sekä niiden todennettavuuteen erilaisten indikaattoreiden avulla.

Yksittäiselle kriteerille ja kriteeristölle, josta käytetään seuraavassa yleisnimeä kriteerit, pätevät pitkälti saman ominaisuudet, joita ovat mm. seuraavat:

- **Sisältöön ja tarkoitukseen liittyvät**

- Kriteerien tarkoituksena on vaikuttaa sähköntuotannon kehittymiseen kes- tävän kehityksen periaatteiden mukaisesti. Kriteerien määrittelystä tulee selvitä mitä tavoitteita edistetään ja minkä tasoisia tuloksia tavoitellaan.
- Kriteerien sisällön tulee vastata käyttötarkoitusta. Sen ohella, että kriteeri kuvaa oikein ensisijaista kohdettaan, voi olla tarpeen varmistaa, että sen soveltamisella ei ole merkittäviä haitallisia sivuvaikutuksia.
- Määrittelyn pohjana olevista tulkinnoista on vallittava riittävän yksimieli- syyden. Laajoja, monimutkaisia ja vaikeasti määriteltäviä kriteereitä käy- tettäessä tämä voi edellyttää laajapohjaista valmistelutyötä.

- **Soveltavuuteen liittyvät**

- Pohjatiedon kohtuullinen saatavuus ja mitattavuus. Jotta kriteereitä voi- daan soveltaa tapauskohtaisesti erilaisiin tuotantolaitoksiin, tarvitaan luo- tettavia tietoja mm. laitosten toiminnasta ja ympäristökuormituksesta ja niiden vaikutuksista. Taustatiedon hankinta ei kuitenkaan voi jäädä koh- tuuttomasti yksittäisen laitoksen vastuulle.
- Mitattavan ilmiön merkittävyys. Eri sähkön tuotantomuodoilla ympäristö- vaikutukset muodostuvat eri tavalla ja kriteereiden toteutumisen arvioimi- seksi on löydettävä oikeat indikaattorit.

- **Todennettavuuteen liittyvät**

- Kriteereiden uskottavuus ja läpinäkyvyys. Kriteereihin liittyvä arviointimenettely on voitava toistaa ja todeta jälkikäteen olettamuksiltaan oikeaksi.
- Kriteerien sisältämän tiedon luotettavuus ja todennettavuus. Kriteerit rakentuvat erilaiseen tietämykseen ja datatietoon, joiden on oltava riittävän oikeita.
- Selkeys, havainnollisuus ja ymmärrettävyys ovat yleisiä ominaisuuksia hyvillä kriteereillä.

- **Poliittinen ajankohtaisuus**

- Ajankohtainen kriteeri on helpompi saada hyväksytyksi, mutta pitäisikö kuitenkin tähdätä luonnontieteelliseen objektiivisuuteen poliittisen realismin sijasta.

7.3.3 Ympäristölaadun määrittävälle järjestelmälle asetettavia vaatimuksia

Vakuuttavaa ja toimivaa ympäristöluokittelujärjestelmää voivat kuvata mm. seuraavat piirteet.

- yhtenevyys kansallisten lakien ja kansainvälisten sopimusten kanssa
- uskottavuus, luotettavuus ja avoimuus
- riippumattomuus eri intressiryhmistä
- ymmärrettävyys
- eri osapuolten hyväksyntä
- tavoitteellisuus
- osapuolten sitoutuminen järjestelmän toteuttamiseen
- toteuttamiskelpoisuus käytännössä ja toimiminen mahdollisimman vähällä byrokratialla, kustannustehokkuus
- joustavuus.

Se, että järjestelmän tulee olla yhteensopiva kansallisten lakien ja kansainvälisten sopimusten kanssa, lienee otettava koko järjestelmän lähtökohdaksi.

Sekä luokittelujärjestelmän että sen hallinnoinnin uskottavuus syntyy pitkälti sen luotettavuudesta ja toiminnan avoimuudesta sekä siitä, että eri intressiryhmät hyväksyvät sen toiminnan. Sen lisäksi että järjestelmän on oltava luotettava, on myös sen esittämien arvioiden sähkön ympäristöllisestä laadusta oltava tosia ja johdettava sähkön ympäristölaatua valitun tavoitteen mukaiseen suuntaan. Avoimuus vaatii järjestelmältä sitä, että se on valmis antamaan tietoja toiminnastaan ja toimintansa perusteista, niin että sen toiminta on myös ulkopuolisen arvioitavissa.

Järjestelmän tulisi olla helposti ymmärrettävä, niin että kuluttajat tunnustavat sen. Järjestelmän ymmärrettävyyttä voi osaltaan helpottaa se, että sen hallinnointi toteutetaan jollain jo ennalta yleisesti tunnetulla tavalla. Järjestelmän toiminnan ymmärrettävyyden kannalta on oleellista se, että myös ympäristöluokittelun perusteet ovat ymmärrettäviä ja riittävän yksiselitteisiä.

Vaatumukseksi järjestelmälle voitaisiin ottaa myös se, että sen tulee olla tavoitteellinen ja tehokas päätavoitteiden saavuttamisessa. Tavoitteiden on lisäksi oltava selkeät, näkyvät ja yleisesti hyväksytyt.

Järjestelmän tavoitteiden saavuttamisen kannalta olennaista on se, että eri osapuolet sitoutuvat sen toteuttamiseen. Yksi keino eri osapuolten hyväksynnälle ja sitoutumiselle on ottaa osapuolet mahdollisimman laajasti mukaan järjestelmän suunnitteluun.

Järjestelmän täytyy olla toteutettavissa käytännössä ja kustannustehokas eli se ei saa edellyttää laajaa uutta organisaatiota.

Järjestelmän joustavuudella tarkoitetaan sitä, että se soveltuu erilaisille tuotantolaitoksille, erilaisille ja erikokoisille sähköntuotannosta vastaaville organisaatioille. Järjestelmää on voitava kehittää ajan mukana, jos tuotanto-olosuhteet tai tietämys ympäristövaikutuksista muuttuvat.

8. Johtopäätökset ja yhteenveto

8.1 Ohjauskeinot ympäristöhaittojen vähentämiseksi

Energiantuotannon ja erityisesti sähköntuotannon ympäristöhaittoja on 1980- ja 1990-luvuilla onnistuttu vähentämään olennaisesti. Savukaasujen puhdistustekniikka on kehittynyt erityisesti hiukkaspäästöjen ja rikinoksidipäästöjen osalta niin tehokkaasti, että Suomessa toimivat voimalaitokset eivät nykyisin ole näiden päästöjen osalta keskeinen lähde verrattuna ulkomailta tulevaan kaukokulkeutumiseen ja liikenteeseen. Myönteinen kehitys on perustunut tekniseen kehitykseen ja normiohjaukseen, jonka tiukkuus monissa maissa on johtanut alun perin ennakoitua nopeampaan kehitykseen. Onnistuneen teknologiakehityksen ansiosta ei mainittu päästöjen vähentäminen ole myöskään olennaisesti nostanut energian tuotannon kustannuksia, vaikka kaikkien toteutettujen toimenpiteiden kokonaiskustannus onkin hyvin suuri. Alueilla, joilla teknologiakehitys on ollut vaikeampaa, ovat myös tulokset kaikin puolin vaatimattomampia.

Ympäristöhaittojen välittömän vähentämisen kannalta on tärkeintä ja tehokkainta puuttua ympäristön kannalta vahingollisimpiin toimintoihin. Tässä ovat hallinnolliset normit osoittautuneet sängen tehokkaiksi, jos tarvittavat tekniset ratkaisut ovat olleet olemassa tai kehitettävissä. Normien avulla ei kuitenkaan ole helppo edistää erityisen ympäristöystävällisiä tuotantomuotoja. Perinteisesti tällaista kehitystyötä on edistetty erilaisilla tukitoimilla, kuten tutkimusrahoituksella, demonstraatiotoimintaan annettavalla tuella, investointituella ja kaupallisen toiminnan verohelpotuksilla. Yritysten vapaaehtoiset toimenpiteet ovat hyvä ratkaisu haittojen pienentämiseksi siellä, missä se voi helpoiten ja kustannustehokkaimmin tapahtua, vaikka nämä kohteet eivät ylittäisikään kohtuullisia normeja.

Ympäristöluokittelu ja siihen perustuva markkinaohjaus sopii ominaisuuksiensa puolesta parhaiten täydentämään edellä mainittuja keinoja ympäristöystävällisten tuotantomuotojen edistämiseksi. Tämä perustuu ensinnäkin siihen, että markkinoiden tarjoama tietynsuuruinen taloudellinen kokonaispanos vaikuttaa tehokkaimmin, kun se kohdistuu suhteellisen pienivolyymiseen toimintaan. Toinen samaan suuntaan vaikuttava tekijä on se, että ympäristöluokittelun toteuttamiseen liittyvät vaikeudet korostuvat pahimmin, jos niillä pyritään suoraan vaikuttamaan määrällisesti keskeisimpiin tuotantomuotoihin.

Ympäristöluokittelu voi vaikuttaa myös sähkön sekä sellaisten tuotteiden kansainväliseen kauppaan, joiden tuotannossa tarvitaan paljon sähköä. Kansainväliset kauppasopimukset voivat monissa tapauksissa estää tuontimaksujen tai muiden vastaavien toimien kohdistamisen tuotantoon, joka hakee kilpailuetua huonosta ympäristönsuojelun tasosta ja sen alhaisista kustannuksista. Ympäristöluokittelu voi tällöin olla käyttökelpoinen keino ympäristön kannalta vastuullisen tuotannon aseman vahvistamiseksi markkinoilla.

8.2 Luokittelun toteuttaminen ja käyttö

Sähköntuotannon ympäristöluokittelun toteuttamiseen ja sen käyttöön tuotantoa ohjavana tekijänä liittyy monia käytännön pulmia, kuten

- luokittelun harhattomuus eli vaatimus, että luokittelu vastaa todellista edullisuutta ympäristön kannalta
- luokittelun uskottavuus ja läpinäkyvyys sähkön hankintapäätösten tekijöille
- sähkövoimajärjestelmän toiminnan luonne, erityisesti sähkön kulutuksen ja tuotannon ajalliseen vaihteluun liittyvät ongelmat
- luokittelun vaikuttavuus, erityisesti vaatimus että ympäristöystävälliseksi luokitellun sähkön lisääntyvä myynti edellyttää vastaavia muutoksia tuotantoon eikä ainoastaan muutoinkin tapahtuvan tuotannon uutta luokittelua
- luokitellun sähkön myynnin valvontaan liittyvät kysymykset.

Luokitteluperusteet ja niiden harhattomuus

Jos luokittelulla pyritään ilmaisemaan tuotannon kokonaisvaltaista ympäristöystävällisyyttä, muodostuu harhattomuuden saavuttaminen olennaiseksi ongelmaksi. Huomioon on otettava niin luonnonvarojen käyttö, päästöt ympäristöön kuin moninaiset muutkin ympäristövaikutukset, jotka eivät ole sellaisinaan yhteismitallisia. Yleisenä perusteena luokittelulle olisi oltava kestävän kehityksen turvaamisen. Eri osatekijöiden analyysissä joudutaan käyttämään elinkaarianalyysin tyyppistä lähestymistapaa, ei tosin välttämättä kovin yksityiskohtaisena. Tiedon puute vaikeuttaa tällaista analyysia monilta osin, mutta vakavimmat vaikeudet liittyvät painotusten määrittämiseen ja yhteismitallistamiseen. Yhteismitallistamiseen perustuva luokittelu ei voine myöskään olla kaikille uskottava eikä riittävän läpinäkyvä.

Eri ympäristötekijöistä saa tällä hetkellä suurinta huomiota hiilidioksidipäästöjen vaikutus ilmastoon. Sähköntuotannon vaihtoehtojen kannalta voidaan kuitenkin ainakin polttoaineiden riittävyyskysymys rinnastaa ilmastonmuutokseen, sillä molempien näiden tekijöiden odotetaan vaikuttavan merkittävästi ihmiskunnan elämisen ja toiminnan edellytyksiin samalla 50 - 100 vuoden aikataululla.

Ilmastonmuutoksen ja resurssien riittävyyskysymysten suhteellinen painotus ratkaisee, missä määrin haitallisempana pidetään kivihiilen käyttöä suhteessa maakaasuun. Uusiutuvat energialähteet, kuten biomassa ja tuulivoima, samoin kuin uusiutumattomista energialähteistä ydinvoima, ovat kummankin näiden tekijän kannalta kaikkia fossiilisia polttoaineita edullisempia. Biomassan käytön osalta ovat tärkeimpiä ympäristötekijöitä biomassan kasvattamiseen ja keräämiseen liittyvät maankäytölliset ja ekologiset kysymyk-

set sekä biomassan poltosta tulevien päästöjen terveysvaikutukset, jotka ovat pienemmästä laitoskoosta ja muista teknisistä seikoista johtuen ilmeisesti huomattavasti suuremmat kuin tyypillisillä kivihiili- ja maakaasuvoimalaitoksilla. Tuuli- ja vesivoiman käytön ongelmia ovat maankäyttö- ja maisematekijät, mutta sangen erilaisina. Ydinvoiman osalta epäillään turvallisuutta ja jätehuoltoa. Kaikki energiantuotantomuodot vaikuttavat lisäksi ympäristöön monilla muillakin tavoilla, joita tässä julkaisussa on myös kartoitettu.

Kaiken kaikkiaan eri sähköntuotantomuotojen merkittävimmät ympäristövaikutukset ovat luonteeltaan hyvin erilaisia eikä niitä voida yhteismitallistaa millään objektiivisella menettelyllä.

Suurin osa näistä ongelmista voidaan välttää, jos tavoitteena on joidenkin yksittäisten hyviksi arvioitujen tavoitteiden edistäminen ottamatta suoranaisesti kantaa eri vaihtoehtojen kokonaisedullisuuteen. On luonnollisesti olennaista, että valitut tavoitteet ovat järkeviä eivätkä johda ainakaan ympäristön kannalta haitallisiin kokonaisseuraamuksiin, kun epäsuoratkin vaikutukset otetaan huomioon. Tavoitteena voi olla nimetyn sähköntuotantomuodon, kuten tuulivoiman, puupohjaisen biomassan tai kaatopaikkakaasun käytön edistäminen.

Luokitellun sähkön tuotanto Suomen energiajärjestelmässä

Sähköntuotannon on aina turvattava sen hetkistä kysyntää vastaava tarjonta ja tuotantokoneiston on tarjottava voimavarat järjestelmän luotettavuuden ja sähkön hyvän laadun ylläpitämiseen. Tämä edellyttää riittävää ja riittävän nopeasti toimivaa säädettävää kapasiteettia, jonka on selvittävä sekä kulutuksen että muun tuotantokoneiston osin yllättävistäkin vaihteluista. Tässä turvaudutaan osin pohjoismaiseen yhteistyöhön, mutta Suomen on hoidettava oma osansa säädöstä.

Eri tuotantomuodoista säännöstelty vesivoima on edullisin ratkaisu säätöön, mutta Suomen säädettävissä oleva vesivoimapotentialiaali ei yksinään riitä kulutuksen vaihtelujen tasaamiseen, joten tarvitaan muitakin keinoja. Osa kulutuksen vaihteluiden edellyttämästä säädön lisätarpeesta on hoidettava polttoaineisiin perustuvalla erillisellä sähköntuotannolla. Tähän joudutaan valtaosin turvautumaan myös tasattaessa niitä tuotantotehon vaihteluita, joita syntyy tuotantolaitosten käyttökatoista tai muista tehoa rajoittavista tekijöistä, joita esiintyy mm. tuulivoiman tuotannossa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Sama laitos ei voi olla yhtäaikaan optimoitu sekä mahdollisimman edulliseen tasaiseen energiantuotantoon että tehokkaaseen säätöön. Tiukkojen ympäristönormien tyydyttäminen on vaikeampaa ja kalliimpaa säätövoiman tuotannossa. Lisääntyvä säätötarve aiheuttaa täten sekä lisäkustannuksia että myös jonkin verran lisää ympäristöhaittoja.

Sähkön kulutuksen ja tuotannon ajalliseen vaihteluun liittyvät kysymykset vaikeuttavat erityisesti tuulivoiman käsittelyä, koska tuulivoimala tuottaa sähköä suurimman osan ajasta joko hyvin pienellä teholla tai ei lainkaan. Tuotanto on useimmissa tapauksissa vain noin 20 % jatkuvasta nimellisteholla tapahtuvasta tuotannosta ja tuotantoteho voi vaihdella myös nopeasti ja ennakoimattomasti. Kaikessa laajamittaisessa tuotannossa tuulivoimaa käytetään rinnan muun tuotannon kanssa. Tuulivoiman tuotanto vähentää muun sähköntuotannon kokonaismäärää, mutta toisaalta lisää säätövoiman kulutusta.

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto sekä metsäteollisuuden puunhankintaan ja prosesseihin kytkeytyvä sähköntuotanto ovat Suomessa kansainvälisesti ottaen poikkeuksellisen merkittäviä. Molemmat ratkaisut ovat ympäristön kannalta edullisia. Yhteistuotannossa sähköntuotannon hyötysuhde on likimäärin kaksinkertainen verrattuna lauhdevoimaan, joten esimerkiksi fossiilisia polttoaineita käytettäessä hiilidioksidipäästöt ovat vastaavasti pienemmät. Jätepuun ja prosessipolttoaineiden (lähinnä mustalipeän) käyttö sähköntuotantoon ei puolestaan lisää lainkaan hiilidioksidipäästöjä ja toisaalta se tarjoaa taloudellisesti kilpailukykyisimmän tavan käyttää puuta sähköntuotantoon.

Sekä yhteistuotanto että tuotannon liittyminen prosessin toimintaan rajoittavat mahdollisuuksia säätää tuotantoa. Tämä ei kuitenkaan aiheuta vastaavia ongelmia kuin tuulivoiman vaihtelut, koska niin kaukolämmön tarve kuin prosessidonnainen energiantuotantokin ovat suurimmillaan silloin, kun sähköntarvekin on suuri. Lisäksi tuotannonvaihtelut ovat ennakoitavissa sangen hyvin.

Luokittelun vaikuttavuuden kannalta olennainen kysymys on, johtaako sen käyttö todellisiin muutoksiin sähkön tuotannossa vai ainoastaan tuotantoa koskevassa kirjanpidossa ja kaupan järjestelyissä. Jos parhaan ympäristöluokituksen saavaa tuotantoa on luonnostaan enemmän kuin luokitellun sähkön kysyntää, ei merkittävää vaikutusta tuotantoon voine syntyä. Täten vaikuttavuus edellyttää, että tuote on tiukasti rajattu niin kauan kuin kysyntä on vähäistä. Esimerkiksi kaiken uusiutuvaan energiaan perustuvan sähköntuotannon peittävä luokitus antaa tuloksia vain, jos luokitellusta sähköstä kiinnostuneet asiakkaat kuluttavat vastaavan osan kaikesta sähköstä.

Luokittelun soveltaminen sähkökauppaan

Sähkökaupassa joudutaan aina sähkön energiamäärän ohella ottamaan huomioon toimituksen ajoittuminen sekä tähän liittyvä maksimiteho. Sähkön tukkukauppa sekä suurkuluttajakauppa tapahtuvat tuntienergiapohjalla. Muussa vähittäiskaupassa sähkön energiahinta perustuu kullekin kuluttajaryhmälle tyypilliseen keskimääräiseen tuntitehon vaihteluun. Mitä suurempia ovat tehovaihtelut ja mitä suurempi osa sähköstä kulutetaan huippukulutuksen aikaan, sitä korkeampi on sähkön hinta.

Kun myynnissä otetaan huomioon myös sähkön tuottamistapa ympäristöluokittelun perusteella, on samalla verrattava kyseiseen luokitteluun sisältyvän sähkön tuotannon ajoittumista luokiteltuna ostetun sähkön kulutuksen vaihteluihin. Erityisiä lisäongelmia ei ole, jos luokiteltu tuotanto ja luokiteltu myynti vastaavat tuntitasolla toisiaan. Ellei näin ole, on myyntiehtoja määriteltäessä otettava huomioon, kuinka tuotannon ja myynnin ero katetaan. Tällöin on luonnollisin ratkaisu, että kauppa koskee pitemmän jakson kokonaisenergiaa. Muun tuotannon säätötarpeen lisäyksestä aiheutuu kustannuksia, joista joudutaan perimään vastaava lisähinta. Tarve myydä sähkö esimerkiksi vuosienergiانا vaikuttaa erityisen voimakkaasti tuulivoimaan sen poikkeuksellisen suurista ja satunnaisista vaihteluista johtuen.

Luokittelun soveltaminen käyttöön edellyttää valvontajärjestelmää, joka varmentaa sen, että luokitellun tuotannon tuotantomäärät vastaavat kunkin tuottajan luokiteltuna myymiä sähkömääriä ja että sähköä välittävien myyjien taseet ovat vastaavalla tavalla kunnossa. Tähän varmentamiseen on käytettävissä vaihtoehtoisia lähestymistapoja. Yksi, ainakin Ruotsissa käytössä oleva, vaihtoehto on, että hyväksytyt tilintarkastajat käyvät läpi yhtiöiden tilit luokitellun sähkön myynnin ja hankinnan osalta ja näiden tietojen sopusoinnun. Toinen mahdollisuus on, että käyttöön otetaan rekisteri, johon ilmoitetaan luokiteltua sähköä koskevat kaupat. Loppukäyttäjät voivat varmistaa, että heidän tekemänsä kaupat on rekisteröity. Tämän jälkeen rekisterin pitäjä voi varmistaa, että kaikkiin myyntieriin sisältyvät sähkömäärät perustuvat rekisteröityihin hankintoihin tai viime kädessä tilastoituun luokiteltuun tuotantoon.

Lähdeluettelo

- Energiatilastot 1995. Tilastokeskus. Energia 1996:1. 126 s.
- European Commission 1995. ExternE: Externalities of Energy, Vol. 1: Summary, European Commission, DG XII, EUR 16520EN, 179 s.
- Eurostat 1997. Renewable energy sources statistics 1995, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Finergy 1997. Julkaisematon tieto.
- Finland's Second Report under the Framework Convention on Climate Change. 1997. Ministry of the Environment. Helsinki University Printing House. 63 s.
- Forsström, J., Pirilä, P. & Tamminen, E. 1997. Maailman energiavarat. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 18/1997. 78 s.
- Heikkinen, A. 1997. Imatran Voima Oy, julkaisematon tieto.
- Helynen, S. & Nousiainen, I. 1996. Biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalit. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 26/1996. 114 s.
- Hongisto, M., Heikkinen, A., Soimakallio, H. & Järvinen, P. 1997. Energiantuotantovaihtoehtojen ulkoiset ympäristökustannukset päätöksenteon apuneuvona. Lopullinen luonnos 30.5.1997. Imatran Voima Oy. 331 s. + liitt. 28 s.
- Karas, J. 1997a. Voimalaitosten ja muiden päästölähteiden pienhiukkaspäästöt. Imatran Voima Oy. 22 s.
- Karas, J. 1997b. Voimalaitosten savukaasujen muutunta hiukkasiksi. Imatran Voima Oy. 25 s.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. 1996. Ilmastonmuutos ja Suomi. SILMU. Yliopistopaino ja Suomen Akatemia. 265 s.
- Lindström, O. 1997. Sähkön tuotanto ja sen raakaenergian tarve 1995-1996, IVO/SF O. Lindström, 28.2.1997.
- Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion. Sammanfattande rapport. 1996. Vattenfall.

Martikainen, P., Väisänen, T., Heiskanen, M., Niskanen, A., Huttunen, J., Hänninen, P., Hellsten, S., Nykänen, H., Regina, K., Lappalainen, E., Lindqvist, O. & Nenonen, O. 1996. Pohjoisten tekojärvien merkitys kasvihuonekaasujen tuottajina. VTT Yhdyskuntatekniikka, Tutkimusraportti 327, Oulu. 59 s. (julkaisematon).

Metsätilastollinen vuosikirja 1996. Metsäntutkimuslaitos. Maa- ja metsätalous 1996:3.

Nieminen, K. 1996. Maailman energiavarat ja -varannot. Imatran Voima Oy. 36 s.

Puolamaa, M., Kaplas, M., & Reinikainen, T. 1996. Index of Environmental Friendliness, A Methodological Study. Tilastokeskus. Ympäristö 1996:13. Helsinki. 119 s.

Puun energiakäyttö 1993. Työryhmän mietintö. KTM Mietintöjä C:33.

Seppälä, J. & Jouttijärvi, T. 1997. Metsäteollisuus ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 89. Helsinki. 125 s.

Sinisalmi, T. (toim.), Forsius, J., Muotka, J., Riihimäki, J., Soimakallio, H., Vehanen, T. & Yrjänä, T. 1996. Vesivoimalaitosten lyhytaikaissäädön vaikutustutkimukset. Suomen ympäristö 66. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Oulu.

Sähkötilasto 1996. Sähköenergialiitto ry Sener, Helsinki 1997.

Vähävihi, E., Virtanen, Y. & Junttila, V. 1996. Loppukäyttöenergian siirto- ja jakelu. Suomen elinkaaritietokanta - SEEP, osa VI. VTT Tiedotteita 1787. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. 114 s +liitt. 4 s.

WHO, World Health Organization. 1995. Update and Revision of Air Quality Guidelines for Europe - meeting of the working group on 'classical' air pollutants, 11-14 October 1994, Bilthoven, the Netherlands. Report EUR/IPC/EHAZ 94 05/PB01 (EUR/HFA target 21).

Wihersaari, M. 1996. Biopolttoaineet ja ympäristö. Loppuraportin luonnos. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 17/1996. 164 s.

World Energy Council (WEC) 1995. Survey of Energy Resources 1995. 17th Edition. WEC.