

VATT-KESKUSTELUALOITTEITA  
VATT-DISCUSSION PAPERS

96

TEKNOLOGINEN  
KEHITYS JA  
VOIMALAITOSTEN  
SO<sub>x</sub>- JA NO<sub>x</sub>-PÄÄSTÖT  
ERÄISSÄ OECD-MAISSA

Juha Piispala

**ISBN 951-561-135-0**  
**ISSN 0788-5016**

**Valtion taloudellinen tutkimuskeskus**  
**Government Institute for Economic Research**  
**Hämeentie 3, 00530 Helsinki, Finland**

**Painatuskeskus Pikapaino Opastinsilta**  
**Helsinki, kesäkuu 1995**

**Juha Piispala: Teknologinen kehitys ja voimalaitosten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöt eräissä OECD-maissa.** Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 1995. 94 s. (C, ISSN 0788-5016; No 96) ISBN 951-561-135-0.

**TIIVISTELMÄ:** Tutkimuksessa on tarkasteltu voimalaitosten teknologian ympäristöllistä kuormittavuutta rikin ja typen oksidien osalta seitsemässä OECD-maassa. Lisäksi tutkimuksessa on mitattu miten teknologinen kehitys on vaikuttanut voimalaitosten ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen ja päästöihin. Tutkimus liittyy osana "Globaalitalous ja Suomi" -hankkeen taustaksi tehtyihin tutkimuksiin.

Tutkimuksen mukaan voimalaitosten teknologian ympäristöllinen kuormittavuus on kaikkein pienin Ruotsissa ja Japanissa mitä rikin ja typen oksidien päästöihin tulee. Sen sijaan kaikkein korkein se on Isossa-Britanniassa ja USA:ssa. Teknologinen kehitys on vaikuttanut eniten ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen Ruotissa ja 1980-luvun lopussa myös Länsi-Saksassa. Sen sijaan Isossa-Britanniassa ja USA:ssa, ja typpipäästöjen kohdalla myös Suomessa, kehitys on ollut hitainta.

Tutkimuksen mukaan lainsäädäntö on merkittävä syy miksi eräät maat ovat selvästi muita edellä teknologian ympäristöllisessä kuormittavuudessa ja teknologisessa kehityksessä ympäristöystävällisemmäksi. Maissa, joissa on tiukemmat päästönormit, voimalaitosten kuormittavuus on pienin ja lisäksi kuormittavuuden pieneneminen on ollut nopeinta.

**ASIASANAT:** ympäristöllinen kuormittavuus, teknologinen muutos, voimalaitokset, rikin oksidit, typen oksidit, ilmansuojelu

**Juha Piispala: Teknologinen kehitys ja voimalaitosten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöt eräissä OECD-maissa (Technological Change and SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> Emissions from Power Stations in Certain OECD Countries).** Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 1995. 94 s. (C, ISSN 0788-5016; No 96) ISBN 951-561-135-0.

**ABSTRACT:** This study analyses environmental loading of power stations for sulphur and nitrogen oxides in seven OECD countries. The study also reveals how technological change has improved the environmental loading of power stations and influenced their emissions. This research is a part of the project "Global Economy and Finland" published by VATT in February.

According to the results, the environmental loading for sulphur and nitrogen oxides is smallest in Sweden and Japan. The UK and the USA, on the contrary, have highest environmental loading of power stations. Technological improvement has reduced the environmental loading fastest in Sweden and in the late 1980s in F.R.G. In the UK and the USA for both sulphur and nitrogen oxides, as well as in Finland for nitrogen oxides, the technological improvement has been slowest.

Legislation is an important reason why some countries are clearly ahead the rest in both the environmental loading and the technological change. The environmental loading of power stations is smallest, and its reduction has been fastest in those countries that have adopted stricter emission standards.

**KEYWORDS:** environmental loading, technological change, power stations, sulphur oxides, nitrogen oxides, air protection





# SISÄLTÖ

	Sivu
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
1.1 Tutkimusmenetelmä	9
1.1.1 Eri tekijöiden vaikutusten mittaaminen	12
1.2 Tutkimuksen rakenne	13
<b>2 RIKKI- JA TYYPPIPÄÄSTÖISTÄ</b>	<b>15</b>
2.1 Rikkipäästöt	15
2.2 Typpipäästöt	17
<b>3 VOIMALAITOSTEN PÄÄSTÖT JA TUOTANTO</b>	<b>22</b>
3.1 Voimalaitospäästöt	22
3.1.1 Osuus kokonaispäästöistä	22
3.1.2 Päästöjen kehitys	23
3.2 Tuotannon kasvu ja rakenteelliset muutokset	27
3.2.1 Tuotannon kehitys	27
3.2.2 Panoskäytön rakenne	28
3.2.3 Päästöjä aiheuttavien energiapanosten käyttö	32
<b>4 OMINAISPÄÄSTÖJEN JA HYÖTYSUHTEN KEHITYS</b>	<b>34</b>
4.1 Ominaispäästöt	34
4.2 Hyötysuhde	36
<b>5 YMPÄRISTÖLLINEN KUORMITTAVUUS JA TEKNOLOGINEN MUUTOS</b>	<b>38</b>
5.1 Voimalaitosten teknologian ympäristöllinen kuormittavuus	38
5.2 Teknologinen muutos ympäristöystävällisemmäksi	39
5.3 Teknologiseen kehitykseen vaikuttaneet tekijät	45
5.4 Kehityksen vaikutus päästöihin	50
5.4.1 Rikkipäästöt	51
5.4.2 Typpipäästöt	53
5.5 Yhteenveto ja näkymiä 1990-luvulle	55
<b>6 ENERGIATALOUDEN SO<sub>x</sub>-PÄÄSTÖT SUOMESSA</b>	<b>65</b>
6.1 Rikkipäästöjen kehitys	65
6.2 Energian kulutuksen kehitys	66
6.2.1 Teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankäytön kehitys	66
6.2.2 Energiatalouden kehitys	67
6.3 Ympäristöllinen kuormittavuus ja teknologinen muutos	68
6.4 Voimalaitosten teknologisesta kehityksestä ympäristöystävällisemmäksi	70
6.5 Yhteenveto	71

<b>7</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>72</b>
7.1	Tulokset	72
7.2	Menetelmä	74
<b>Liitteet:</b>		
<b>Liite 1. Energiatalouden SO<sub>x</sub>-päästöt ja teknologian ympäristöllinen kehitys</b>		<b>76</b>
8.1	Energiatalouden päästöt	76
8.2	Teollisuuden ja muiden sektoreiden energian käytön kehitys	77
8.3	Energiatalouden energian kulutus	79
8.4	Ympäristöllinen kuormittavuus ja teknologinen muutos	82
8.5	Teknologisen muutoksen vertailu voimalaitoksissa ja energiataloudessa	83
<b>Liite 2. Käytetyt tilastot ja niiden soveltamisesta</b>		<b>85</b>
<b>9</b>	<b>PÄÄSTÖTILASTOT</b>	<b>85</b>
9.1	Voimalaitospäästöt	85
9.2	Energiatalouden päästöt	86
<b>10</b>	<b>ENERGIATILASTOT</b>	<b>86</b>
10.1	Voimalaitokset	88
10.2	Polttoaineiden poltto	88
10.3	Lisähuomautuksia	88
<b>Liite 3. Teknologiat</b>		<b>89</b>
<b>English Summary</b>		<b>91</b>
<b>Lähteet</b>		<b>93</b>

## 1 JOHDANTO

Ympäristönormit ovat useissa maissa kiristyneet viime vuosina voimakkaasti. Usein tuotannollisesta toiminnasta syntyy haitallisia päästöjä tai saasteita hyödyllisten tuotosten ohella. Hyvänä esimerkkinä on energiantuotanto, joka synnyttää haitallisia rikkidioksidi- ( $\text{SO}_2$ ), typen oksidi- ( $\text{NO}_x$ ), hiilidioksidi- ( $\text{CO}_2$ ) yms. päästöjä sekä ydinvoiman tapauksessa radioaktiivista jätettä.

Kiristyvien päästönormien myötä yritysten on pyrittävä sopeutumaan uusiin, tiukempiin määräyksiin, jolloin usein ainoa keino on siirtyä sellaisiin tuotantokombinaatioihin, joilla yritys kykenee päästönormit alittamaan. Toinen vaihtoehto on sopeuttaa tuotanto alemmalle tasolle. Yleensä yritykset muuttavat mieluummin tuotantomenetelmään kuin sopeuttavat tuotannon tasoaan. Aiheutuneista lisäkustannuksista huolimatta toiminta on yleensä niin kannattavaa, että sitä kannattaa jatkaa.

Tiukentuvat ympäristönormit ovat merkittävä yritysten ympäristöinvestointeja ohjaava tekijä. On tosin myös mahdollista, että yritykset vapaaehtoisesti ryhtyvät ympäristöinvestointeihin. Lisäksi ympäristöystävällisyys voi monessa tapauksessa tulla 'vahingossa', jonkin sellaisen toimen 'sivutuotteena', joka ei suoranaisesti ole ollut ympäristölähtökohdista lähtöisin.

Monesti yrityksillä on valittavanaan useita mahdollisia teknologiakombinaatioita, joilla se voi päästönsä pienentää sallitun rajan alle. Erityisesti silloin kun rakennetaan uutta kapasiteettia, valinnan mahdollisuudet ovat runsaat verrattuna tilanteeseen, missä jo käytössä oleva tuotantokapasiteetti pitää muuttaa puhdistusvelvoitteiden saavuttamiseksi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää miten voimakkaasti eri maiden voimalaitoksissa on otettu käyttöön ilman kannalta puhtaampia teknologioita. Voimalaitokset käsittävät sähkö-, lämpö- ja kaasuvoimalat. Tarkasteltavana ovat Ruotsi, Länsi-Saksa, Hollanti, Iso-Britannia, USA, Suomi ja Japani. Pääasiallinen vertailu tehdään viiden ensiksi mainitun maan kesken, koska päästötiedot näistä maista on parhaiten vertailukelpoisia keskenään. Japanin ja Suomen päästötiedot ovat jonkin verran vajaavaisempia kuin muiden viiden maan. Kuitenkin niiden valitseminen tähän tutkimukseen on siinä mielessä perusteltua ja mielekästä, että ne antavat tiettyä syvyyttä ja mielenkiintoa tarkasteluun. Japani on ilmansuojelun alueella eräs maailman edistyneimmistä maista ja Suomi kiinnostaa meitä jo sinällään. Joukko sisältää sekä maailman suurimpia talouksia että pieniä, avoimia talouksia. Lisäksi maiden suhtautuminen ilmansuojeluun on ollut jossain määrin erilaista: Japani, Länsi-Saksa ja Ruotsi ovat maailman edistyneimpiä maita ilmansuojelussa, kun taas USA ja erityisesti Iso-Britannia ovat toimineet ilmansuojelussa viime vuosikymmeninä varsin vastakoisesti.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Isoa-Britanniaa on usein kutsuttu 'Euroopan likaiseksi mieheksi'. USA:n osalta mm. Rion ympäristökoukus vuonna 1992 ja sen yhteydessä allekirjoitettu YK:n ilmastopöytäkirja aiheutti närää useilla tahoilla.

Voimalaitosten ohella kappaleessa 6 ja liitteessä 1 on tarkasteltu energiatalouden kehittymistä ympäristöystävällisemmäksi.<sup>2</sup> Tähän on tarvetta sen vuoksi, ettei Suomen kohdalla voimalaitosten rikkipäästöjä ole eritelty omaksi luvukseksi. Jotta saisimme tarkemman kuvan siitä, miten Suomessa on rikkipäästöjen vähentäminen kehittynyt, tarkastellaan myös energiatalouden kehittymistä ympäristöystävällisemmäksi. Liikennettä ei tutkimuksessa ole tarkasteltu.

Ilmansaasteista tarkastellaan rikin ja typen oksidien päästöjä. Tämä johtuu siitä, että eri maiden päästötiedot ovat näiden saasteiden kohdalla melko kattavia ja vertailukelpoisia keskenään. Lisäksi näitä päästöjä on pisimpään ja kattavimmin pyritty lainsäädännöllisesti rajoittamaan. Myös tekniset mahdollisuudet vähentää näitä päästöjä ovat jo varsin pitkälle kehittyneitä. Tarkasteluajanjaksona tutkimuksessa on vuodet 1970, 1975, sekä 1980-1989.

Empiirinen tutkimus siitä, miten puhtaammat teknologiat ovat levinneet yrityksessä, toimialalla tai laajemminkin kansantaloudessa on vielä melko vähäistä. Implisiittisesti ympäristöystävällisyyden kehittymistä on tarkasteltu niissä tutkimuksissa, joissa lähtökohtana on etäisyysfunktio-tarkastelu (engl. *distance function approach*) ja varjohinnat tuotannossa syntyville ei-halutuille tuotoksille (mm. Färe ym., 1993; ja Hetemäki, 1994). Näissä tutkimuksissa on tarkasteltu mm. miten ympäristönsuojelumääräykset vaikuttavat yritysten tai toimialan tuottavuuteen ja kannattavuuteen ja sitä kautta teknologiavalintoihin.

Jonkin verran on myös tehty tutkimuksia, joissa tarkastellaan miten uudet puhtaammat teknologiat vaikuttavat päästöihin pitkällä aikavälillä, kun vanhentuneita, saastuttavia teknologioita korvataan näillä uusilla, puhtaammilla menetelmillä (ks. esim. Cavendish & Anderson, 1994; ja Macchiato ym., 1994). Nämä tutkimukset tarkastelevat siis päästöjen kehittymistä tulevaisuudessa tiettyjen oletusten vallitessa.

Tämä tutkimus on metodiltaan lähempänä näitä 'skenaariotutkimuksia' kuin 'etäisyysfunktio-tutkimuksia'. Tämä tutkimus tarkastelee tulevaisuuden sijasta menneisyyttä, sitä miten faktisesti teknologinen kehitys on vaikuttanut voimalaitosten päästöihin. Päästöjen ja teknologioiden välinen tutkimus on ollut yllättävän vähäistä, ja vertailu eri maiden välillä on ollut erityisen niukkaa. Tämän tutkimuksen tarkoitus on osaltaan täyttää tätä tyhjiötä.

Tämä tutkimus pyrkii valottamaan miten eri maiden voimalaitokset ovat siirtyneet puhtaampiin teknologioihin aggregaattitasolla. Kuten sanottua, tarkastelu on aggregaattitaso-tarkastelu, eikä siten yksittäisten yritysten käyttäytymiseen puututa tässä tutkimuksessa. Tarkastelussa ei keskitytä vain ns. piipunpääteknologioihin, vaan tämä tutkimus selvittää päästörasituksen vähenemistä yleensä voimalaitoksissa. Päästörasitusta voidaan vähentää piipunpääteknologioiden ohella myös mm. energiantuotantoa tehostamalla tai panosvalinnoilla. Esimerkki edellisestä on hyötysuhteen paraneminen ja jälkimmäisestä energiapanoksen valitseminen siten, että päästöjä syntyy vähemmän tuotettua energiaa kohden, kuten vähärikkisemmän kivihiilen käyttö.

<sup>2</sup> Energiataloudella ymmärretään tässä tutkimuksessa voimalaitoksia sekä teollisuuden ja muiden sektorien energiankäyttöä. Nämä muut sektorit käsittävät kotitaloudet, maatalouden, kaupan, julkiset palvelut, yms.

Sen ohella, että tämä tutkimus pyrkii vertailemaan eri maita, se esittää myös yksinkertaisen tavan miten tuotannon muuttumista ympäristöystävällisemmäksi voidaan mitata. Lähtökohtana tutkimuksessa on tarkastella syntyneitä päästöjä ja suhteuttaa ne sopivaan indikaattoriin, jolloin saadaan suhdeluku, joka kertoo teknologian *ympäristöllisen kuormittavuuden* kyseisen saasteen kohdalla. Muutokset tässä luvussa kertovat puolestaan miten puhtaaksi teknologia on muuttunut tarkasteluajanjaksona. Seuraavassa on käyty tarkemmin läpi käytetty tutkimusmenetelmä.

## 1.1 Tutkimusmenetelmä

Aggregaattitasolla voimalaitosten päästöjen voidaan ajatella riippuvan tuotannon suuruudesta sekä käytössä olevasta teknologiasta.<sup>3</sup> Funktiomuodossa tämä voidaan esittää seuraavasti:

$$(1) \quad e = e(Q, T) \quad e_Q \geq 0; e_T > 0.$$

missä  $e$  on päästöt,  $Q$  on tuotanto ja  $T$  ilmaisee *teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden*. Tuotannon kasvaessa päästöt kasvavat kullakin teknologiakombinaatiolla tai voivat pysyä muuttumattomina ( $e_Q \geq 0$ ). Osittaisderivaatta  $e_T > 0$  puolestaan tarkoittaa sitä, että mitä suurempi on teknologian ympäristöllinen kuormittavuus, sitä suuremmat ovat päästöt kullakin tuotannon tasolla. Ts. suurempi  $T$ :n arvo kuvaa suurempaa teknologian kuormittavuutta.

Voimalaitosten tuotannon tasoon vaikuttaa käytetty teknologia, mutta myös käytettyjen panosten määrä. Jos merkitsemme  $I$ :llä voimalaitoksissa käytettyjen *energiapanosten* määrää, voidaan voimalaitosten tuotanto kirjoittaa seuraavasti:

$$(2) \quad Q = I \times \frac{Q}{I} = I \times F$$

missä suhdeluku  $Q/I = F$  on voimalaitosten *hyötysuhde*, ts. se kertoo miten suuri osa käytetyistä energiapanoksista saadaan muutetuksi hyödynnettäväksi energiaksi, kuten sähköksi tai lämmöksi. Se ilmaisee siis käytetyn tuotantoteknologian tehokkuuden.

Teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden voidaan ajatella olevan luku, joka kertoo miten paljon päästöjä syntyy tuotantoyksikköä kohden, eli

$$(3) \quad T = \frac{e}{Q}.$$

Mitä pienempi kyseinen suhdeluku on, ts. mitä vähemmän päästöjä tuotannossa syntyy jokaista tuotettua yksikköä kohden, sitä parempi käytetty teknologia on ympäristön kannalta. Edellä esitetyn perusteella voidaan kaava (1) kirjoittaa muodossa

$$(1') \quad e = e(Q, T) = Q \times T = I \times \frac{Q}{I} \times \frac{e}{Q}.$$

<sup>3</sup> Tarkastelemme tässä voimalaitoksia aggregaattina, emme yksittäisiä voimalaitoksia erikseen.

Siirtämällä termejä yhtälön oikealla puolella voidaan (1') kirjoittaa myös muodossa

$$(1'') \quad e = \frac{1}{Q} \times \frac{e}{I} \times Q$$

missä  $I/Q$  on siis hyötysuhteen käänteisluku ( $1/F$ ) ja  $e/I$  on päästöt per *energiapanosten käyttö*.  $e/I$ :n voidaan ajatella muodostuvan kahdesta tekijästä. Ensimmäinen siihen vaikuttaa se, miten suuri osa käytetyistä panoksista on potentiaalisesti päästöjä synnyttäviä. Toisaalta siihen vaikuttaa myös se, miten paljon päästöjä syntyy päästöjä potentiaalisesti synnyttävien panosten käytöstä. Merkitään  $I_p$ :llä potentiaalisesti päästöjä synnyttävien panosten käyttöä. Tällöin voidaan kirjoittaa:

$$(4) \quad \frac{e}{I} = \frac{I_p}{I} \times \frac{e}{I_p}$$

missä  $I_p/I$  on päästöjä potentiaalisesti synnyttävien energiapanosten osuus kaikista voimalaitoksissa käytetyistä energiapanoksista ja  $e/I_p$  on *ominaispäästöt*, mikä ilmaisee siis syntyneet päästöt päästöjä potentiaalisesti synnyttävien panosten käyttöä kohden. Ominaispäästöt riippuvat hyvin paljon siitä, miten tehokkaasti päästöjä puhdistetaan. Mitä tehokkaampaa päästöjen vähentäminen voimalaitoksissa on, sen pienemmät ovat ominaispäästöt. Toisaalta eri päästöjä aiheuttavien energiapanosten suhteelliset osuudet vaikuttavat ominaispäästöjen suuruuteen. Tietyt polttoaineet synnyttävät enemmän päästöjä kuin toiset.<sup>4</sup> On syytä myös mainita se, että ryhdyttäessä puhdistamaan voimalaitosten päästöjä (esim. kivihiihivoimalan rikkidioksidipäästöjä savukaasupesureilla), voimalan hyötysuhde yleensä alenee, ts. energiatuotannon säilyttämiseksi ennallaan on käytettävä jonkin verran enemmän energiapanoksia, joka lisää päästöjä.<sup>5</sup> Kokonaisuutena päästöt kuitenkin vähenevät.

Liittämällä yhtälöt (1'') ja (4) yhteen saamme päästöille yhtälön

$$(5) \quad e = \frac{e}{I_p} \times \frac{I_p}{I} \times \frac{1}{Q} \times Q$$

Kaavan (5) mukaisesti kokonaispäästöt voidaan jakaa siis neljän tekijän tuloksi. Kokonaispäästöihin vaikuttavat ensinnäkin ominaispäästöt, jotka määräytyvät pitkälti puhdistusmenetelmien ja panosvalintojen mukaan. Toiseksi päästöihin vaikuttaa se, miten suuri osa käytetyistä energiapanoksista on potentiaalisesti päästöjä aiheuttavia. Aggregaattitasolla tämä on myös monesti poliittinen päätös. Esimerkiksi Suomessa on vesi- ja ydinvoiman lisärakentaminen toistaiseksi hyllytetty eduskunnassa, jolloin energiantuotantoyhtiöiden on valittava muita energiamuotoja lisäkapasiteettia rakennettaessa. Luonnollisesti myös eri panosten suhteelliset hinnat vaikuttavat mitä energiapanosta kukin voimalaitos käyttää energiantuotannossaan.<sup>6</sup> Kolmanneksi tuotantoprosessin hyötysuhde vaikuttaa päästöihin. Hyötysuhteen kasvattaminen suurin hyppäyksin on vaikeaa ja energiantuotannon rakenteella on vaikutusta aggregaattihyötysuh-

<sup>4</sup> Esimerkiksi hiilen, jonka rikkipitoisuus on kolme prosenttia  $SO_2$ -päästökerroin on 1929 mg/MJ, 1-prosenttisen hiilen 643 mg/MJ ja jäteöljyn (S-pit. 3 %) 1395 mg/MJ (Ks. liite 3).

<sup>5</sup> Tämä käy hyvin ilmi myös liitteen 3 taulukoista.

<sup>6</sup> Todettakoon kuitenkin, että käytettävän energiapanoksen vaihtaminen toiseen on lyhyellä aikavälillä hyvin rajoitettua. Esimerkiksi kivihiihivoimalassa ei voida yhtäkkiä ryhtyä käyttämään maakaasua sähkön tuottamiseen.

teeseen, sillä hyötysuhde riippuu paljon myös voimalaitostyyppistä.<sup>7</sup> Lisäksi, päästöjen vähentämistoimet usein huonontavat hyötysuhdetta jonkin verran (ts.  $I/Q$  kasvaa). Neljäs tekijä, tuotanto, on paljolti riippuvaista kysynnästä, joka määräytyy mm. markkinoilla vallitsevan energian (kuten sähkö) hinnan mukaan.<sup>8</sup>

Energiantuotannosta ja -kulutuksesta aiheutuvia päästöjä voidaan vähentää edellä esitetyn mukaisesti neljällä tavalla: säästämällä energiaa ( $Q$  pienenee), muuttamalla energiantuotannon rakennetta 'puhtaammaksi' ( $e/I_p$  ja/tai  $I_p/I$  pienenee),<sup>9</sup> käyttämällä ja kehittämällä teknisiä ratkaisuja, joiden avulla päästöt vähenevät ( $e/I_p$ :n tai  $I/Q$ :n pienentäminen),<sup>10</sup> tai jollain edellisten yhdistelmällä. Energian säästötoimenpiteet (ts.  $Q$ :n pienentäminen) liittyvät lähinnä energian loppukäytön tehostamiseen ja säästämiseen.

Mikäli liitämme aikaan viittaavan alaindeksin  $t$  kuhunkin tekijään yhtälössä (5), voidaan voimalaitosten aggregaattipäästöt kunakin ajanhetkenä ilmaista seuraavasti:

$$(5') \quad e_t = \left[ \frac{e}{I_p} \right]_t \times \left[ \frac{I_p}{I} \right]_t \times \left[ \frac{I}{Q} \right]_t \times Q_t.$$

Yhtälön (3) mukaan voimalaitosten teknologian ympäristöllinen kuormittavuus määriteltiin  $T = e/Q$ . Yhtälön (5') perusteella voidaan voimalaitosten teknologian ympäristöllinen kuormittavuus ilmaista kunakin ajanhetkenä  $t$  seuraavasti

$$(3a) \quad T_t = \frac{e_t}{Q_t} = \left[ \frac{e}{I_p} \right]_t \times \left[ \frac{I_p}{I} \right]_t \times \left[ \frac{I}{Q} \right]_t.$$

Tuotantomenetelmien ympäristöllinen kuormittavuus riippuu siis vain rakenteellisista ja teknisistä tekijöistä. Jos mitään rakenteellisia tai teknisiä muutoksia ei tuotannossa ajan myötä tapahdu, pysyy luku  $T$  muuttumattomana.

Kun vertaamme  $T$ :n arvoa tietyllä hetkellä jonkin toisen vuoden  $T$ :n arvoon voimme mitata miten paljon teknologian ympäristöllinen kuormittavuus on kehittynyt näiden kahden vuoden välillä, ts. voimme mitata *teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden muutoksen nopeuden*. Voimme mitata tätä muutoksen nopeutta seuraavasti:

$$(6) \quad \tau_{t,u} = \left[ \frac{T_t}{T_u} \right]^{\frac{1}{t-u}} - 1 \text{ (% p.a.)}$$

missä alaindeksi  $t$  viittaa tarkasteltavaan vuoteen ja alaindeksi  $u$  perusvuoteen eli vuoteen johon vuotta  $t$  verrataan. Oheinen kaava antaa meille muutoksen keskimäärin prosentteina vuodessa (*per annum*, p.a.). Oheisella kaavalla  $\tau$ :n arvoksi tulee negatiivinen luku, mikäli tuotanto on muuttunut puhtaammaksi (ts.  $T_t < T_u$ ). Ottamalla kyseisestä luvusta sen vastaluku eli  $-\tau$ , voidaan tuotannon muuttumista puhtaammaksi esittää positiivisena lukuna.  $-\tau$  ilmaisee kuinka nopeasti tuotanto on puhtaammaksi muuttunut. Käytämme siitä nimitystä *teknologinen muutos ympäristöystävällisemmäksi*, joka on siis

<sup>7</sup> Vrt. liite 3.

<sup>8</sup> Miten paljon sähkön hinnan muutokset vaikuttavat sen kysyntään, riippuvat hintajoustoista. On mahdollista, ettei sähkön hinnan voimakas nousu vähentäisi sen kulutusta paljoakaan. Emme puutu tähän kysymykseen tässä tutkimuksessa kuitenkaan tämän syvällisemmin.

<sup>9</sup> Esim. vähentämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä, käyttämällä vähärikkisempää hiiltä, yms.

<sup>10</sup> Esim. rikinpoistoteknologiat, hyötysuhteen kasvattaminen, jne.

$$(7) \quad -\tau_{t,u} = 1 - \left[ \frac{T_t}{T_u} \right]^{\frac{1}{\epsilon_u}}$$

### 1.1.1 Eri tekijöiden vaikutusten mittaaminen

Tarkastelemalla kahden eri vuoden  $T$ :n arvoja, voidaan myös tarkastella miten suuri vaikutus kullakin eri tekijällä on ollut  $T$ :n muutokseen. Alla on selvitetty miten eri tekijöiden vaikutuksia voidaan mitata.

Merkitään symbolilla  $\Delta$  vuoden  $t$  ympäristöllisen kuormittavuuden suhdetta vuoden  $u$  ympäristölliseen kuormittavuuteen

$$(8) \quad \Delta = \frac{T_t}{T_u}$$

missä alaindeksi  $t$  viittaa tarkasteltavaan vuoteen ja alaindeksi  $u$  vuoteen johon vuoden  $t$  arvoa verrataan. Mikäli teknologian ympäristöllisessä kuormittavuudessa,  $T$ , ei ole tapahtunut muutosta on  $\Delta = 1$ . Mikäli kuormittavuus on pienentynyt on  $\Delta < 1$ , ja jos se on kasvanut on  $\Delta > 1$ .

Otetaan käyttöön myös seuraavat merkitsemistavat:

$$(9a) \quad \alpha = \frac{(e/I_p)_t}{(e/I_p)_u}$$

$$(9b) \quad \beta = \frac{(I_p/I)_t}{(I_p/I)_u}$$

$$(9c) \quad \gamma = \frac{(I/Q)_t}{(I/Q)_u}$$

missä  $\alpha$ ,  $\beta$  ja  $\gamma$  ovat siis ominaispäästöjen suhde, panosrakenteen suhde ja hyötysuhteen käänteisluvun suhde vuosien  $t$  ja  $u$  kesken. Nyt  $\Delta$  voidaan esittää seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$(10) \quad \Delta = \alpha \times \beta \times \gamma$$

Esimerkiksi, jos  $\alpha = \frac{1}{2}$ ,  $\beta = \frac{2}{3}$  ja  $\gamma = \frac{5}{4}$  saamme suhdeluvulle arvon  $\Delta = \frac{5}{12}$ . Huomaamme, että tässä yksinkertaisessa numeroesimerkissä ominaispäästöjen muutos ( $\alpha$ ) on myötävaikuttanut eniten teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden pieneneeseen. Myös panosrakenteen muutoksella ( $\beta$ ) on ollut myönteinen vaikutus  $T$ :n muutokseen, mutta hyötysuhde ( $\gamma$ ) on muuttunut epäedullisemmaksi.<sup>11</sup>

Koska suhdeluvut ovat sinällään ehkä hieman kömpelö tapa tarkastella kunkin tekijän vaikutusta, voidaan kaavasta (10) ottaa myös luonnolliset logaritmit puolittain, jolloin se voidaan kirjoittaa muodossa:

$$(10a) \quad \ln \Delta = \ln \alpha + \ln \beta + \ln \gamma.$$

<sup>11</sup> Esimerkissämme  $\alpha < \beta < 1$ ;  $\gamma > 1$ .



$\ln\Delta$  on nyt  $= 0$ , kun suhdeluku  $\Delta = 1$ , eli kun  $T$  ei ole muuttunut. Kun  $\Delta < 1$  (eli kuormittavuus on pienentynyt, ts.  $T_t < T_u$ ), on  $\ln\Delta < 0$  eli negatiivinen, ja kun  $\Delta > 1$  (kuormittavuus kasvanut eli  $T_t > T_u$ ), on  $\ln\Delta > 0$  eli positiivinen.

Samalla tavalla kun  $\alpha$ ,  $\beta$  tai  $\gamma$  ovat  $= 1$ ,  $< 1$  tai  $> 1$  on niistä otetut luonnolliset logaritmit  $\ln\alpha$ ,  $\ln\beta$  tai  $\ln\gamma = 0$ ,  $< 0$  tai  $> 0$ . Lisäksi mitä enemmän vuoden  $t$  arvo poikkeaa vuoden  $u$  arvosta, sitä enemmän luonnollinen logaritmi poikkeaa nolasta. Numeroesimerkkimme havainnollistaa edellä selostettua:

$$\ln\left(\frac{5}{12}\right) = \ln\left(\frac{1}{2}\right) + \ln\left(\frac{2}{3}\right) + \ln\left(\frac{5}{4}\right) \Leftrightarrow$$

$$(-0,8755\dots) = (-0,6931\dots) + (-0,4055\dots) + (0,2231\dots)$$

Ensinnäkin huomaamme, että ympäristöllinen kuormittavuus on tässä tapauksessa pienentynyt, kuten edellä mainittiin. Tämä näkyy siten, että  $\ln\left(\frac{5}{12}\right) = -0,8755\dots < 0$ .

Toisaalta havaitaan, että sekä ominaispäästöjen että panosrakenteen muutokset ovat myötävaikuttaneet ympäristöllisen kuormittavuuden kehittymiseen suotuisasti, sillä molemmista luvuista otettujen luonnollisten logaritmien etumerkki on negatiivinen. Lisäksi ominaispäästöjen vaikutus on ollut suurempi, sillä sen luonnollisen logaritmin itseisarvo on suurempi. Koska hyötysuhteen muutoksen logaritmi on positiivinen, voidaan päätellä, että hyötysuhde on muuttunut teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden kannalta epäsuotuisammaksi tässä numeroesimerkissämme.

## 1.2 Tutkimuksen rakenne

Edellä on esitetty se metodi, jolla tässä tutkimuksessa tutkitaan voimalaitosten tuotannon muuttumista ympäristöystävällisemmäksi, sekä miten kunkin yksittäisen tekijän vaikutuksia kokonaisvaikutuksesta voidaan tarkastella.

Kappaleessa 2 käydään lyhyesti läpi rikki- ja typpipäästöjen kehittyminen kussakin tarkasteltavassa maassa, sekä näiden päästöjen vähentämiseksi tehdyt kansainväliset sopimukset. Kappaleet 3-5 tarkastelevat yksityiskohtaisemmin voimalaitoksia. Kappaleessa 3 tarkastellaan voimalaitosten päästöjen ja tuotannon kehittymistä sekä tuotannon rakennetta. Kappale 4 keskittyy voimalaitosten ominaispäästöjen ja hyötysuhteen kehittymisen analysointiin. Kappaleessa 5 lasketaan edellä esitetyn metodin avulla voimalaitosten teknologian ympäristöllinen kuormittavuus sekä sen muutos eri aikoina. Laskelmat tehdään erikseen sekä rikki- että typpipäästöjen osalta. Lisäksi kappaleen 5 jaksossa 5.3 analysoidaan eri tekijöiden vaikutuksia teknologian ympäristölliseen kehitykseen. Jaksossa 5.4 pohditaan miten teknologinen kehitys on vaikuttanut päästöihin. Jakso havainnollistaa miten päästöt olisivat kehittyneet ilman minkäänlaisia teknologian ympäristöllistä paranemista. Jakso 5.5 tekee yhteenvedon aikaisemmista kappaleista, sekä pohtii myös hieman näkymiä tarkastelujaksomme jälkeiseltä ajalta (vuoden 1989 jälkeinen aika) kussakin maassa.

Koska Suomen osalta tietoja voimalaitosten rikkipäästöistä ei ole saatavilla, kappaleessa 6 tarkastellaan peruseriaatteiltaan samoin menetelmin Suomen energiatalouden kehittymistä ympäristöystävällisemmäksi rikkipäästöjen osalta. Liitteessä 1 on tehty vastaavat laskelmat myös muille tarkasteltaville maille, Japania lukuun ottamatta. Kappaleen 6 ja liitteen 1 perusteella voimme tehdä myös jotain karkeita päätelmiä koskien Suomen voimalaitosten kehittymisestä ympäristöystävällisemmäksi.

Kappale 7 esittää tutkimuksen johtopäätökset. Liitteessä 2 on esitetty tutkimuksessa käytetyt tilastot sekä miten niitä on tässä tutkimuksessa hyödynnetty tarvittavissa laskelmissa. Siinä lisäksi esitetään huomioitavia seikkoja, joilla voi olla vaikutuksia tutkimuksen tuloksiin. Liitteessä 3 on esitetty havainnollistava taulukko eri voimalaistyyppien ympäristö- ja tehokkuusominaisuuksista.

## 2 RIKKI- JA TYPPIPÄÄSTÖISTÄ

Tässä kappaleessa selvitetään tarkasteltavien seitsemän maan (USA, Länsi-Saksa, Iso-Britannia, Hollanti, Japani, Suomi ja Ruotsi) rikki- ja typpipäästöjen kehitystä, sekä kahta kansainvälisesti merkittävää ilmansuojelusopimusta, Helsingin rikki-pöytäkirjaa ja Sofian typpipöytäkirjaa. Tässä kappaleessa päästöistä tarkastellaan kunkin maan *kokonaispäästöjä*, ja voimalaitoksiin siirrytään vasta kappaleessa 3.

### 2.1 Rikkipäästöt

Ilmaan joutuvat rikkipäästöt ovat pääosin peräisin polttoaineiden sisältämästä rikistä, mutta päästöjä syntyy myös prosessiteollisuudessa, jossa rikin lähteinä voivat olla raaka-aineet tai prosessikemikaalit. Rikkipäästöt voivat olla rikkidioksidina (SO<sub>2</sub>) tai haihtuvina orgaanisina yhdisteinä (VOC).<sup>12</sup> Tässä tarkastelussa keskitytään rikin oksidipäästöihin (SO<sub>x</sub>).

Maa	Allekirjoitus- status	Tavoite	SO <sub>x</sub> -päästöjen muutos vuodesta 1980 ao. vuoteen, %:		
			1989	1990	1991
USA	-	-	-9,5	-11,4	-12,8 <sup>a</sup>
Länsi-Saksa	x	-60 % (1993)	-69,9	-70,6	n.a.
Iso-Britannia	-	-	-24,1	-22,8	-27,2
Hollanti	x	-50 % (1995)	-58,2	-58,6	-59,4 <sup>a</sup>
Ruotsi	x	-65 % (1995)	-68,1	-73,8	-78,3
Japani	-	-	-30,6	n.a.	n.a.
Suomi	x	-50 % (1993)	-58,2	-55,5	-66,8

a) Etukäteistieto

x = allekirjoittanut, - = ei allekirjoittanut (eikä siten vähentämistavoitetta)  
n.a. = ei tietoa

Taulukko 1. Helsingin rikki-pöytäkirjan allekirjoittaminen ja rikkipäästöjen muutos vuodesta 1980

Huomattava osa kaikista ihmisen toiminnasta aiheutuneesta rikkidioksidipäästöistä on peräisin energiantuotannosta. OECD-maiden energiantuotantoperäisistä päästöistä puolestaan 80 % on OECD:n arvion mukaan peräisin hiilen poltosta ja loput öljyn poltosta.<sup>13</sup> Rikin oksidit aiheuttavat terveyshaittoja, ovat keskeisenä syynä happamassa

<sup>12</sup> Kulmala (1992, 16); Ympäristöministeriö (1991, 19).

<sup>13</sup> OECD (1989, 26)

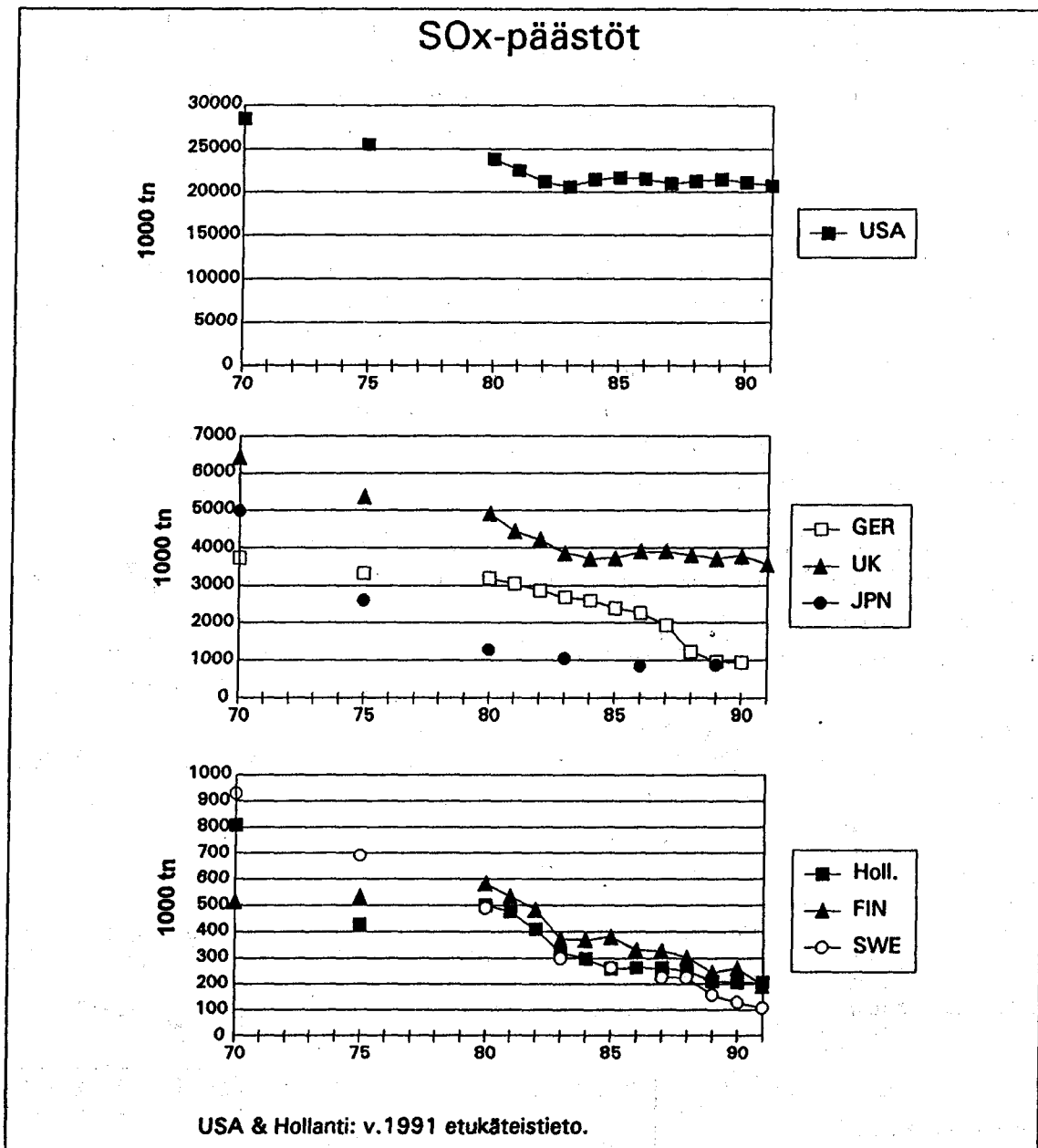
laskeumassa ja näin vaurioittavat kasvillisuutta, metsiä, rakennuksia sekä vesien ekosysteemejä. Fossiilisista polttoaineista mm. hiili, öljy ja turve sisältävät rikkiä. Maa-kaasu sen sijaan ei sisällä rikkiä käytännössä juuri lainkaan.

Keskustelu rikkipäästöjen vähentämisestä oli vilkkaimmillaan 1980-luvun alussa. Tämän seurauksena kaksikymmentä Euroopan maata ja Kanada allekirjoittivat Helsingissä vuonna 1985 rikkipäästöjen vähentämistä koskevan pöytäkirjan ja se astui voimaan syyskuussa 1987. Pöytäkirjan allekirjoittaneet maat sitoutuivat vähentämään rikkipäästöjä tai valtiosta toiseen kulkeutuvaa rikkivuota 30 % vuoden 1980 tasosta vuoteen 1993 mennessä. Eräät allekirjoittaneet lupautuivat vähentämään päästöjään vähintään 50 prosentilla vuoteen 1993 tai 1995 mennessä. Taulukko 1 kertoo tässä tutkimuksessa tarkasteltavien seitsemän maan osalta sen allekirjoittivatko ne pöytäkirjan, minkälaisen tavoitteen ne asettivat itselleen sekä miten paljon ne ovat päästöjään kyenneet vuodesta 1980 lähtien vähentämään.

Taulukon perusteella voidaan havaita, että pöytäkirjan allekirjoittaneet maat ovat pystyneet vähentämään päästöjään vuodesta 1980 lähtien selvästi enemmän kuin ei-allekirjoittaneet maat. Lisäksi nämä neljä allekirjoittanutta maata ovat pystyneet alittamaan tavoitteensa jo useita vuosia ennen määräaikaa.

Kuviossa 1 on esitetty graafisesti maiden  $SO_x$ -päästöjen kehitys vuodesta 1970 lähtien. USA:n päästöt ovat selvästi suurimmat, reilut 20 miljoonaa tonnia vuosittain. Vuodesta 1970 vuoteen 1991 laskivat USA:n päästöt noin 7,7 miljoonalla tonnilla. Keskimmaisessä kaaviossa on esitetty Länsi-Saksan, Ison-Britannian ja Japanin päästöt. Niidenkin rikkipäästöt ovat olleet useita miljoonia tonneja vuosittain, mutta sekä Japani ja Länsi-Saksa ovat saaneet painettua päästönsä jo alle miljoonaan tonniin vuodessa. Iso-Britannia on USA:n jälkeen siten selvästi toiseksi suurin  $SO_x$ :n emittoija seitsemän maan joukossa: vajaa 4 miljoonaa tonnia vuosittain. Kuvioista näkyy selvästi, että Japanin ja Länsi-Saksan päästöt erkanivat toisistaan selvästi 1970-luvun lopulla, mutta nyttemmin ero on kutistunut olemattomiin.

Suomen, Ruotsin ja Hollannin päästöt ovat kulkeneet 1980-luvun alusta lähtien hyvin samaa tahtia. 1970-luvun alussa Suomen päästöt olivat selvästi Hollannin ja Ruotsin päästöjä pienemmät, mutta Suomen päästöjen lisääntyessä 1970-luvulla ja Ruotsin ja Hollannin päästöjen laskiessa on Suomen päästöt 1980-luvulla olleet näistä kolmesta maasta suurimmat. Suomen ja Hollannin  $SO_x$ -päästöt olivat 1990-luvun alussa noin 200.000 tonnia vuodessa. Ruotsi on saanut painettua ne jo noin 100.000 tonniin.



Kuvio 1. Kokonaisrikkipäästöt (SO<sub>x</sub>) 1970-1991, 1000 tn. (Lähde: OECD, 1993a)

## 2.2 Typpipäästöt

Typhen oksidit muodostuvat korkeassa lämpötilassa polttotapahtuman yhteydessä ja ne ovat peräisin pääosin paloilman sisältämästä typestä, joka hapettuu prosessissa.<sup>14</sup> Matalissa polttolämpötiloissa typhen oksideja muodostuu vähemmän, mutta tämä saattaa aiheuttaa muiden päästöjen, kuten ilokaasun (N<sub>2</sub>O) eli typpioksiduulin, lisääntymisen.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Kulmala (1992, 16); Ympäristöministeriö (1991, 22).

<sup>15</sup> Ilokaasu on eräs kasvihuonekaasu. Se ei sinällään ole myrkyllinen, mutta hiilidioksidin tavoin se vaikuttaa osaltaan kasvihuoneilmioon.

Typen oksideja syntyy siis aina palamisen yhteydessä riippumatta siitä, onko alkupe-  
räinen polttoaine sisältänyt typpeä vai ei. Korkeat typen oksidipitoisuudet aiheuttavat  
terveys- ja ympäristöhaittoja. Ne ovat osatekijöinä happamassa laskeumassa ja alail-  
makehän otsoninmuodostuksessa. Typellä on vaikutusta myös vesien rehevöitymi-  
seen.

OECD:n arvion mukaan 75 % kaikista typen oksidipäästöistä on ihmisen toiminnasta  
aiheutuvia.<sup>16</sup> Suurimmat typen oksidien päästölähteet ovat liikenne ja energiantuotan-  
to. Koska typen kohdalla päästölähteet ovat hajanaisia (vrt. liikenne), on typpipäästö-  
jen rajoittaminen lainsäädännöllisesti ja hallinnollisesti vaikeampaa kuin esimerkiksi  
rikkipäästöjen.<sup>17</sup> Lisäksi tekniset mahdollisuudet typen poistamiseen ovat vähäisempiä  
ja kalliimpia. Erään saksalaisen tutkimuksen mukaan voimalaitosten rikkidioksidin-  
poisto maksaisi saksalaisissa voimaloissa noin 1200 Saksan markkaa tonnilta, kun  
typen oksidien poisto maksaisi peräti 3200 DM/t.<sup>18</sup>

Myös typpipäästöjen vähentämisestä on allekirjoitettu kansainvälinen pöytäkirja. Se  
allekirjoitettiin Sofiassa 25 Euroopan talouskomission (ECE) maan toimesta marras-  
kuussa 1988 ja se astui voimaan helmikuussa 1991. Allekirjoittaneet sitoutuivat sii-  
hen, ettei typen oksidien päästöt tai rajan yli kulkeutuva typen oksideista aiheutuva  
vuo 31.12.1994 jälkeen ole suurempi kuin kalenterivuoden 1987 päästöt tai vuo. Li-  
säksi osapuolet sitoutuivat viimeistään kaksi vuotta pöytäkirjan voimaantulon jälkeen  
ottamaan käyttöön ns. parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan perustuvia kan-  
sallisia päästömääräyksiä. Pöytäkirjan lisäksi 12 maata allekirjoitti samassa yhteydes-  
sä julistuksen päästöjen vähentämisestä noin 30 % vuoteen 1998 mennessä. Lähtöta-  
son voi kukin maa valita vuosien 1980-1986 väliltä.

Taulukossa 2 on esitetty tarkasteltavien maiden pöytäkirjan ja julistuksen allekirjoitta-  
misstatus sekä päästöjen muutos vuodesta 1980. Kokonaisuutena ovat typpipäästöjen  
vähennykset olleet huomattavasti pienempiä kuin rikkipäästöjen, ja päästöt ovat joi-  
denkin maiden kohdalla itse asiassa kasvaneet. Lisäksi yhtä selvää jakoa päästöjen  
vähentämisen onnistumisessa ei voi tehdä allekirjoittaneiden ja ei-allekirjoittaneiden  
maiden kesken kuin rikkipäästöjen kohdalla. Tietysti moni asia vaikuttaa näihin ha-  
vaintoihin. Ensinnäkin typpipäästöjen vähentäminen on teknisesti vaikeampaa kuin  
rikkipäästöjen vähentäminen. Toisaalta esimerkiksi kaasun lisääminen energiantuotan-  
nossa ei vähennä yhtä tehokkaasti typpipäästöjä kuin rikkipäästöjä. Lisäksi typpipöy-  
täkirja on myöhemmin allekirjoitettu ja astui myös myöhemmin voimaan kuin rikki-  
pöytäkirja, joten taulukon 2 perusteella on ennen aikaista sanoa mikä vaikutus pöytä-  
kirjalla tulee olemaan eri maiden päästöjen kehittymiseen.

<sup>16</sup> OECD (1989, 26).

<sup>17</sup> Kun tässä tutkimuksessa puhutaan typpi- tai rikkipäästöistä, tarkoitetaan niillä nimenomaan typen  
oksideja ( $\text{NO}_x$ ) ja rikin oksideja ( $\text{SO}_x$ ), ellei toisin ole mainittu. Monet muutkin ilmaan joutuvat yhdisteet  
voivat sisältää typpeä tai rikkiä (kuten em.  $\text{N}_2\text{O}$ ). Niitä ei ole tässä tutkimuksessa selvitetty.

<sup>18</sup> Wirl & Hoffmann (1993, Table 2).

Maa	Allekirjoitus- status		NO <sub>x</sub> -päästöjen muutos vuodesta 1980 ao. vuoteen, %		
	Pöytäkirja	Julistus	1989	1990	1991
USA	x	-	-18,1	-17,7	-20,4 <sup>a</sup>
Länsi-Saksa	x	x	-8,7	-11,5	n.a.
Iso-Britannia	x	-	16,9	17,5	16,2
Hollanti	x	x	-0,2	-3,3	-3,7 <sup>a</sup>
Ruotsi	x	x	-4,7	-6,6	-8,3
Japani	-	-	-7,1	n.a.	n.a.
Suomi	x	x	7,6	9,8	8,3

a) Etukäteistieto

x = allekirjoittanut, - = ei-allekirjoittanut  
n.a. = ei tietoa

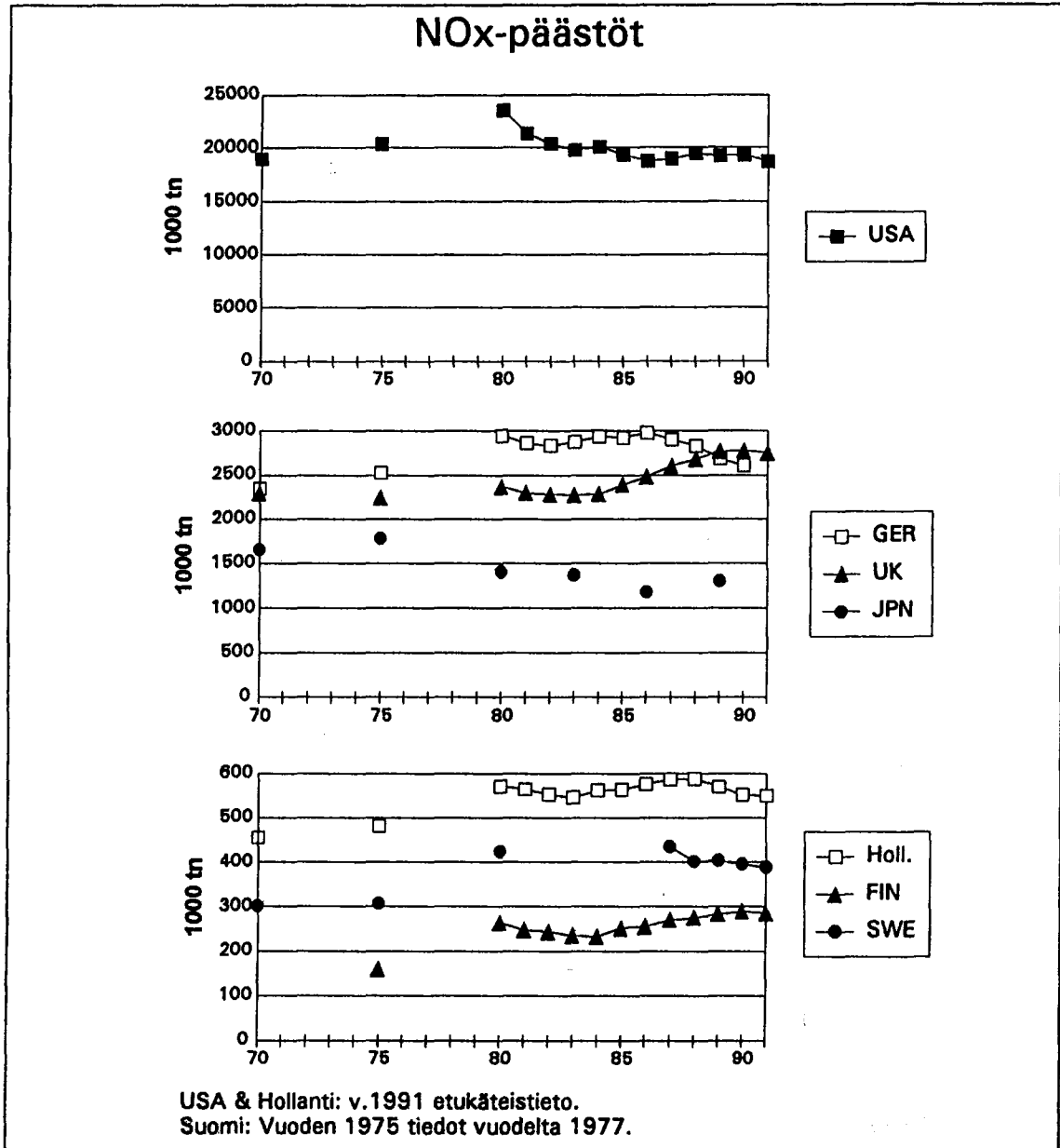
**Taulukko 2.** Tyypipöytäkirjan ja -julistuksen allekirjoittaminen ja päästöjen muutos vuodesta 1980

Kuvio 2 seuraavalla sivulla kertoo miten NO<sub>x</sub>-päästöt ovat kehittyneet tarkasteltavissa seitsemässä maassa 1970-luvun alusta lähtien. Typen oksidipäästöt pääsääntöisesti kasvoivat näissä maissa vuodesta 1970 vuoteen 1980. 1980-luvulla päästöt olivat joko lievässä laskussa tai lievässä nousussa. Itse asiassa typen oksidipäästöjen kehitys 1980-luvulla näyttäisi useimmissa maissa muodostavan selviä syklejä ja vieläpä keskenään samansuuntaisia syklejä. 1980-luvun alussa päästöt olivat laskussa ja 1980-luvun puolivälin jälkeen ne kasvoivat. Tähän on olemassa yksinkertainen selitys: Taloudellinen taantuma ja toinen öljykriisi 1980-luvun vaihteessa johtivat päästöt lasku-uralle. 1980-luvun loppupuoli oli puolestaan nopeamman taloudellisen kasvun aikaa. Kuten jo edellä todettiin, suurimmat typen oksidien aiheuttajat ovat energiantuotanto ja liikenne, jonka 'peruspanos' myös on energia. Sekä energiantuotannon ja liikenteen kasvu usein myötäilevät yleistä taloudellista kasvua. Kuvion 2 käyrien taustalla onkin siten energian, erityisesti fossiilisten polttoaineiden kasvukäyrät.

Edellä esitetty tarkoittaa karkeasti ottaen sitä, että kun fossiilisten polttoaineiden käyttö kasvaa, myös tyypipäästöt kasvavat. Luonnollisesti typen poistamiseen tarkoitettuihin tekniikoihin voidaan syntyviä päästöjä vähentää. Tästä huolimatta erityisesti liikenteen jatkuva kasvu tekee typen oksidien vähentämistoimet vaikeiksi.

USA on huomattavasti suurin typen oksidien emittoija. Sen päästöt olivat 1990 luvun alussa noin 19 miljoonaa tonnia eli samalla tasolla kuin vuonna 1970. USA:n päästöt ovat laskeneet 1980-luvun huippuluvuista muutamalla miljoonalla tonnilla, mikä oli 1980-luvulla suhteellisesti selvästi eniten tarkasteltavista maista (ks. taulukko 2).<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Todettakoon, että USA on pystynyt vähentämään erityisesti liikenteen aiheuttamia typen oksidipäästöjä. Tähän on päästy autojen katalysaattoripakolla ja autojen tiukoilla pakokaasumääräyksillä, jotka ovat monissa osavaltioissa olleet maailman tiukimpia (mm. Kalifornia). Sen sijaan energiantuotannosta aiheutuvia NO<sub>x</sub>-päästöjä ei USA ole kyennyt tehokkaasti vähentämään, kuten tässä tutkimuksessa käy hyvin ilmi.



**Kuvio 2.** Typen kokonaispäästöt (NO<sub>x</sub>) vuosina 1970-1991, 1000 tn. (Lähde: OECD, 1993a)

Länsi-Saksan, Ison-Britannian ja Japanin tyypipäästöt ovat muutamia miljoonia tonneja vuosittain. Länsi-Saksan päästöt olivat pitkään selvästi Ison-Britannian päästöjä suuremmat, mutta alittivat ne 1980-luvun lopussa. Kummankin maan päästöt olivat 1990-luvun alussa reilut 2,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Japani on ainoa maa, jonka typen oksidien päästöt olivat selvästi pienemmät 1990-luvun vaihteessa kuin 1970-luvun alussa. Japanin päästöt ovat painuneet alle 1,5 miljoonaan tonniin.

Hollannin, Ruotsin ja Suomen tyypipäästöt ovat useampia satoja tuhansia tonneja vuosittain ja selvästi pienemmät kuin muissa neljässä maassa. Suomen päästöt olivat 1990-luvun alussa vajaa 300.000 tonnia vuodessa, Ruotsin päästöt olivat noin 400.000 tn ja Hollannin reilut 500.000 tn. Myös näillä kolmella pienellä maalla on ollut vaikeuksia vähentää tyypipäästöjään ja erityisesti Suomessa tyypipäästöt kasvoivat suhteel-



lisesti ottaen melko nopeasti 1980-luvun lopussa. Tosin suhteellisesti mitattuna vielä enemmän kuin Suomessa, kasvoivat typpipäästöt Isossa-Britanniassa 1980-luvun lopussa.

### 3 VOIMALAITOSTEN PÄÄSTÖT JA TUOTANTO

Tässä kappaleessa tarkastellaan voimalaitosten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen kehitystä ja voimalaitosten tuotannon kehitystä sekä panoskäytön rakennetta. Voimalaitokset käsittävät sähkön-, lämmön- ja kaasuntuotantoon tarkoitettut voimalaitokset (ks. tarkemmin liite 2).

#### 3.1 Voimalaitospäästöt

##### 3.1.1 Osuus kokonaispäästöistä

Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, suuri osa syntyvistä rikin ja typen oksideista on peräisin energiantuotannosta. Voimalaitokset ovat siten merkittävässä asemassa näiden päästöjen synnyttämisessä, kuten taulukosta 3 käy ilmi. Taulukkoon on listattu voimalaitosten rikki- ja typpipäästöjen osuus kaikista kyseisen maan rikki- ja typpipäästöistä. Voimalaitokset ovat yleensä merkittävä sekä rikki- että typpipäästöjen lähde, vaikka erot maittain ovat suuret.

Erityisesti USA:ssa, Isossa-Britanniassa ja Länsi-Saksassa ovat voimalaitokset olleet merkittävä rikkipäästöjen lähde. Tosin Länsi-Saksassa voimalaitosten osuus vuonna 1989 oli jo alle 35 % kaikista rikkipäästöistä kun se vuosikymmen aikaisemmin oli lähes 60 %. Sen sijaan Hollannissa ja Japanissa vain noin viidesosa rikkipäästöistä johtui voimalaitoksista. Ruotsissa voimalaitosten osuus oli marginaalinen.<sup>20</sup>

Maa	Voimalaitosten SO <sub>x</sub> -päästöt % kaikista			Voimalaitosten NO <sub>x</sub> -päästöt % kaikista		
	1970	1980	1989	1970	1980	1989
USA	55,5	66,7	68,2	23,4	27,0	35,6
Länsi-Saksa	45,5	58,8	34,8	26,2	27,2	18,0
Iso-Britannia	45,3	61,4	71,0	36,5	37,2	27,8
Hollanti	18,1	38,6	20,5	12,9	14,5	13,5
Ruotsi <sup>b</sup>	n.a.	7,6	3,2	n.a.	2,4	1,2
Japani	n.a.	27,5	21,9	n.a.	16,7	15,4
Suomi	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	28,1 <sup>a</sup>	32,0

a) Vuodelta 1977.  
b) Ei sisällä keskuslämmityksen päästöjä.  
n.a. = ei tietoa

**Taulukko 3.** Voimalaitosten osuus ko. maan kaikista SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöistä, %. (Lähde. OECD, 1993a)

<sup>20</sup> Ruotsissa voimalaitosten päästöt eivät tosin sisällä keskuslämmityksen päästöjä. Tämä pätee sekä rikki- että typpipäästöihin.

Typpipäästöistä huomattavasti pienempi osuus on peräisin voimalaitoksista. Suurin se on USA:ssa, Isossa-Britanniassa ja Suomessa, joissa osuus on noin 30 prosentin paikkeilla. Länsi-Saksassa, Hollannissa ja Japanissa voimalaitokset aiheuttivat alle 20 % kaikista typpipäästöistä vuonna 1989. Ruotsissa voimalaitosten osuus myös typpipäästöistä on vähäinen.

Useimmissa maissa voimalaitosten osuus kokonaispäästöistä on laskenut. Tosin USA:ssa ja Isossa-Britanniassa voimalaitosten osuus rikkipäästöistä ja USA:ssa ja Suomessa niiden osuus typpipäästöistä on kasvanut.

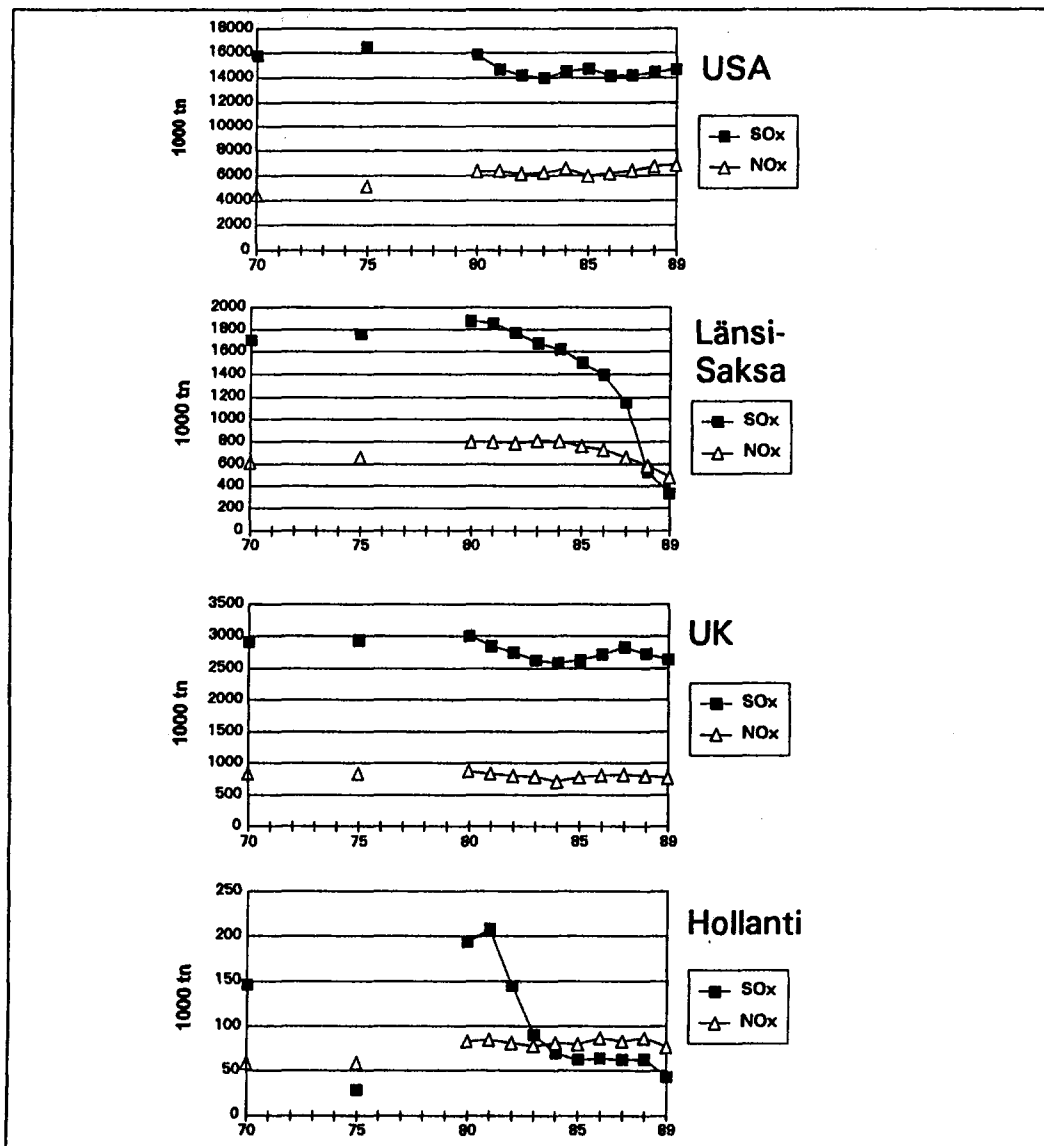
### 3.1.2 Päästöjen kehitys

Kuviossa 3 on esitetty kunkin maan voimalaitosten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen kehitys vuodesta 1970 vuoteen 1989.<sup>21</sup> Suomen osalta on vain NO<sub>x</sub>-päästöt, johtuen siitä ettei voimalaitosten rikkipäästöjä ole tilastoitu erikseen.

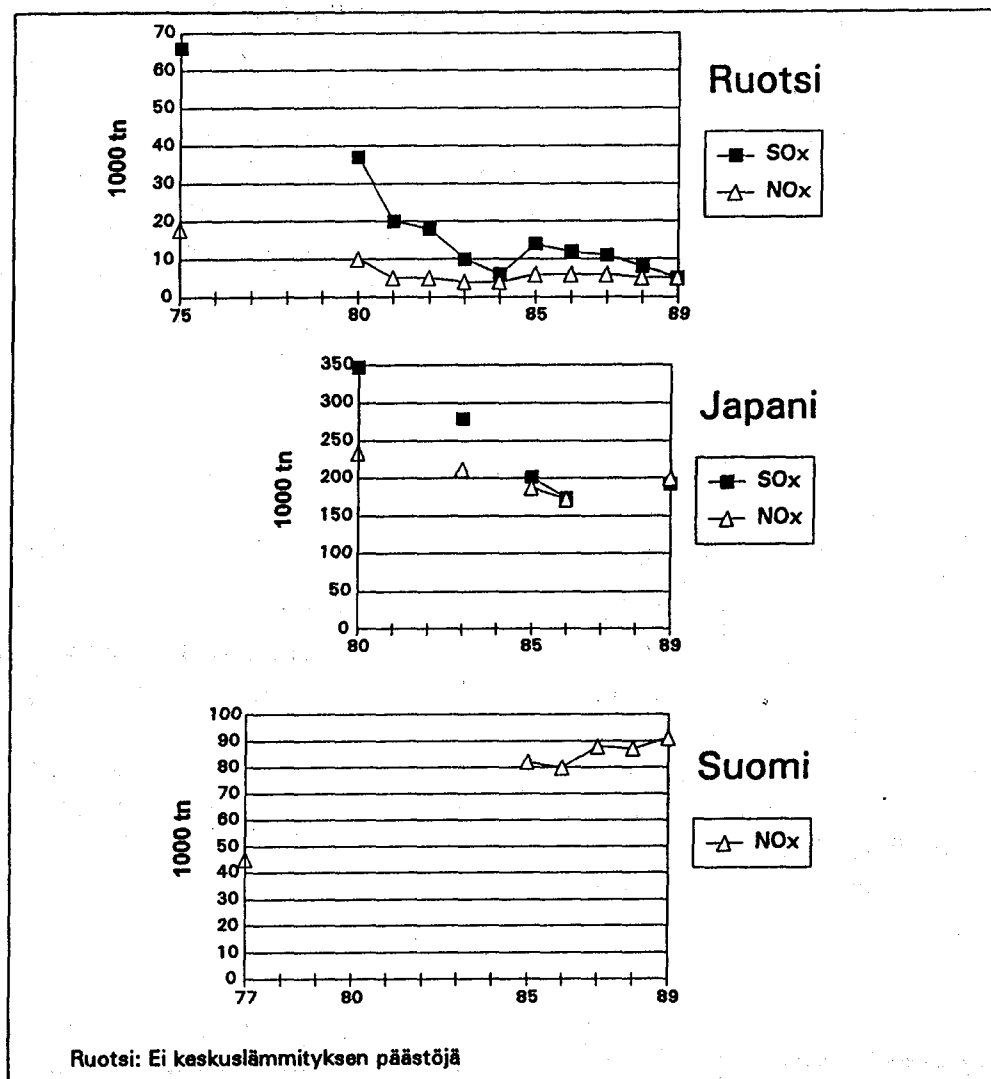
USA:n voimalaitospäästöt ovat selvästi suurimmat. Myös Ison-Britannian ja Länsi-Saksan päästöt ovat olleet huomattavan korkeat. Tosin Länsi-Saksa kykeni 1980-luvun lopussa vähentämään voimaloidensa rikki- ja typpipäästöjä merkittävästi. Muiden maiden päästöt ovat huomattavasti näitä kolmea maata pienemmät.

---

<sup>21</sup> 1970-luvulta ei ole kuin kaksi lukua: vuodet 1970 ja 1975, joidenkin maiden osalta ei näitäkään.



**Kuvio 3.** Voimalaitosten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen kehitys, 1000 tn.  
(Lähde: OECD, 1993a)



**Kuvio 3. (jatk.) Voimalaitosten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen kehitys, 1000 tn.**  
(Lähde: OECD, 1993a)

Yleinen trendi 1970-luvulla oli, että voimalaitosten rikki- ja typpipäästöt kasvoivat vuodesta 1970 vuoteen 1980. 1980-luvulla sen sijaan rikkipäästöjä on saatu vähennettyä, mutta voimalaitosten typpipäästöjä vain harvat maat ovat onnistuneet vähentämään.

Taulukkoon 4 on tehty yhteenveto päästöjen kehityksestä. 1980-luvulla on voimalaitosten rikkipäästöjä kyenneet suhteellisesti eniten vähentämään Ruotsi ja Länsi-Saksa, joiden päästöt vähenivät yli 80 prosentilla vuodesta 1980 vuoteen 1989. Myös Hollannissa päästöt pienenevät lähes yhtä paljon. Japaninkin päästöt lähes puolittuivat, kun taas USA:n ja Ison-Britannian päästöt vähenivät vain vähän 1980-luvulla. 1970-luvulla kehitys oli päinvastainen. Useissa maissa voimalaitosten rikkipäästöt lisääntyivät ja vain USA:ssa ja Ruotsissa rikkipäästöjen väheneminen alkoi jo 1970-luvun puolella.

Myös voimalaitosten typpipäästöt alkoivat pienentyä vasta 1980-luvulla, kun ne edellisellä vuosikymmenellä kasvoivat useimmissa maissa voimakkaasti. Vain Ruotsi on kyennyt vähentämään voimalaitostensa typpipäästöjä jo 1970-luvun puolivälistä lähtien. Myös 1980-luvulla on Ruotsi vähentänyt voimalaitostensa typpipäästöjä suhteellisesti eniten. Ruotsin ohella Länsi-Saksassa ovat typpipäästöt voimalaitoksista pienentyneet merkittävästi. Japanissa, Isossa-Britanniassa ja Hollannissa kehitys on ollut vaatimattomampaa. Sen sijaan USA:ssa voimalaitosten typpipäästöt ovat myös 1980-luvulla kasvaneet, ja erityisesti Suomessa tilanne on huolestuttava: voimalaitosten typpipäästöt kaksinkertaistuivat vuodesta 1977 vuoteen 1989.

Maa	SO <sub>x</sub> -päästöjen muutos (%), voimalaitokset						NO <sub>x</sub> -päästöjen muutos (%), voimalaitokset					
	70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89	70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89
USA	5,0	-4,2	-7,1	-0,4	0,5	7,4	16,4	23,2	-6,0	14,5	43,5	7,7
Länsi-Saksa	3,1	6,9	-19,9	-77,8	10,3	-82,2	7,0	21,8	-4,8	-36,5	30,3	-39,5
Iso-Britannia	1,0	2,2	-12,6	0,5	3,2	-12,2	-0,1	5,1	-11,9	-0,8	5,0	-12,6
Hollanti	-80,1	569,0	-68,0	-30,6	32,9	-77,8	0,0	40,7	-3,6	-3,8	40,7	-7,2
Ruotsi	n.a.	-43,9	-62,2	-64,3	n.a.	-86,5	n.a.	-44,4	-40,0	-16,7	n.a.	-50,0
Japani	n.a.	n.a.	-42,1	-4,5	n.a.	-44,7	n.a.	n.a.	-20,1	7,0	n.a.	-14,5
Suomi	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	82,2 <sup>a</sup>	11,0	n.a.	102,2 <sup>b</sup>

a) 1977-1985. Luku ei ole aivan vertailukelpoinen muiden maiden vastaavien lukujen kanssa.  
b) 1977-1989. Luku ei ole aivan vertailukelpoinen muiden maiden vastaavien lukujen kanssa.

n.a. = ei tietoa

**Taulukko 4.** Voimalaitosten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen kehitys. Muutos, %. (Lähde: OECD, 1993a)

Tarkastelemalla lyhyempiä jaksoja, voidaan tehdä joitakin mielenkiintoisia havaintoja. Ensinnäkin Länsi-Saksa on erityisesti 1980-luvun viimeisinä vuosina kyennyt vähentämään voimalaitostensa rikki- ja typpipäästöjä, jopa Ruotsia nopeammin. Tässä voidaan nähdä selvä suunnanmuutos länsisaksalaisessa ympäristöpolitiikassa, sillä ennen 1980-luvun puoliväliä ei rikki- tai typpipäästöjen väheneminen ollut kovinkaan merkittävää. Juuri tähän murrosvaiheeseen ajoittuvat vihreän liikkeen synty ja voimakas kasvu, sekä haposateet, jotka Länsi-Saksassa saivat tavallisen kuluttajan ja poliittikon huomaamaan ympäristövaurioiden vakavuuden.

Toinen merkillepantava seikka on Hollannin voimalaitosten rikkipäästöjen huomattava väheneminen 1970-luvun alussa. Päästöt kuitenkin vastaavasti kasvoivat 1970-luvun jälkipuoliskolla huomattavasti. Typpipäästöissä vastaava piikki on vähäinen. Syy on se, että kaasun käytössä on tilapäinen piikki vuonna 1975 (ks. kuvio 4 jäljempänä), jolloin voimalaitokset käyttivät huomattavasti runsaammin kaasua panoksenaan kuin vuosina 1970 ja 1980. Tämän vuoksi rikkipäästöt olivat poikkeuksellisen pienet vuonna 1975.

Kolmas kummallisuus on Suomen typpipäästöt. Missään muussa tarkasteltavassa maassa eivät voimalaitosten typpipäästöt ole kasvaneet yhtä voimakkaasti. Tilanteen tekee vielä oudommaksi se, että Suomen ydinvoimakapasiteetin rakentaminen ja käyttöönotto ajoittuu juuri tuolle ajanjaksolle (vrt. kuvio 4). Ydinvoiman lisäämisen olisi voinut olettaa vaikuttavan voimalaitosten typpipäästöihin suotuisasti, mutta näin ei Suomessa näytä käyneen.<sup>22</sup>

Vertaamalla taulukon 4 lukuja taulukoiden 1 ja 2 lukuihin voidaan päätellä, että sekä USA:ssa että Isossa-Britanniassa voimalaitosten rikkipäästöt vähenivät vähemmän kuin maiden kokonaispäästöt vuodesta 1980 vuoteen 1989, kun taas muut maat kykenivät vähentämään voimalaitospäästöjä suhteessa kokonaispäästöjä enemmän. Myös typpipäästöjen kohdalla voidaan tehdä vastaava havainto. Suomessa ja USA:ssa voimalaitospäästöt ovat kehittyneet epäsuotuisammin kuin kokonaispäästöt, kun taas muissa maissa kehitys on ollut päinvastaista. Nämä havainnot selittävät voimalaitospäästöjen osuuden kasvamisen kokonaispäästöistä USA:ssa, Isossa-Britanniassa ja Suomessa taulukon 3 mukaisesti.

## 3.2 Tuotannon kasvu ja rakenteelliset muutokset

### 3.2.1 Tuotannon kehitys

Taulukkoon 5 on listattu voimalaitosten bruttotuotanto Mtoe:ksi<sup>23</sup> muutettuna sekä bruttotuotannon keskimääräinen vuosimuutos eri ajanjaksoina.<sup>24</sup> Voimalaitokset käsittelevät sähkö-, lämpö- ja kaasuvoimalat. Pitkällä aikavälillä tuotanto on useimmissa maissa kasvanut reilut kolme prosenttia vuosittain. Suomessa ja Ruotsissa kasvu oli yli 5 prosenttia keskimäärin vuodessa. Isossa-Britanniassa puolestaan tuotannon pitkän ajan kasvu oli vähäistä.

Tuotannon kasvu oli 1970-luvulla selvästi nopeampaa kuin 1980-luvulla kussakin maassa, Isoa-Britanniaa lukuun ottamatta. Erityisesti 1970-luvun alkupuolisko oli nopean kasvun aikaa useassa maassa. Sen sijaan Suomessa nopein kasvu sijoittuu ajanjaksolle 1975-1980, Isossa-Britanniassa vuosille 1985-1989.

Verrattaessa tämän taulukon lukuja taulukon 4 lukuihin voimme todeta, että voimalaitosten rikkipäästöjä on useassa maassa pystytty vähentämään huomattavastikin tuotannon samanaikaisesti kasvaessa. Myös typpipäästöt ovat kasvaneet hitaammin kuin tuotanto. Tämä tarkoittaa sitä, että teknologinen kehitys on vaikuttanut voimalaitosten päästöihin niitä vähentäen.

<sup>22</sup> Syihin, miksi Suomessa voimalaitosten typpipäästöt ovat kasvaneet ydinvoiman voimakkaasta kasvusta huolimatta, palataan myöhemmin tekstissä.

<sup>23</sup> Mtoe = miljoonaa öljyekvivalenttitonnia.

<sup>24</sup> Voimalaitosten bruttotuotannon laskentatavasta katso liite 2.

Maa	Voimalaitosten vuosituotanto, Mtoe					Tuotannon keskimääräinen muutos, % p.a.						
	1970	1975	1980	1985	1989	70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89	70-89
USA	140,0	173,0	208,8	227,5	256,3	4,3	3,8	1,7	3,0	4,1	2,3	3,2
Japani	34,4	46,0	53,9	61,2	71,6	6,0	3,2	2,6	4,0	4,6	3,2	3,9
Länsi-Saksa	21,8	28,9	35,4	38,1	40,1	5,7	4,2	1,5	1,3	5,0	1,4	3,3
Iso-Britannia	25,0	23,9	24,8	25,5	26,7	-0,9	0,8	0,6	1,2	-0,1	0,8	0,4
Hollanti	3,5	4,7	5,6	5,7	6,6	5,9	3,6	0,4	3,7	4,8	1,8	3,4
Ruotsi	5,3	8,0	9,8	13,1	14,2	8,5	4,0	6,0	2,1	6,3	4,2	5,3
Suomi	2,3	3,0	4,8	6,3	6,6	5,1	10,0	5,8	0,9	7,6	3,6	5,6

**Taulukko 5.** Sähkö-, lämpö- ja kaasuvoimaloiden bruttotuotanto, Mtoe; sekä tuotannon keskimääräinen muutos vuodessa, % p.a. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

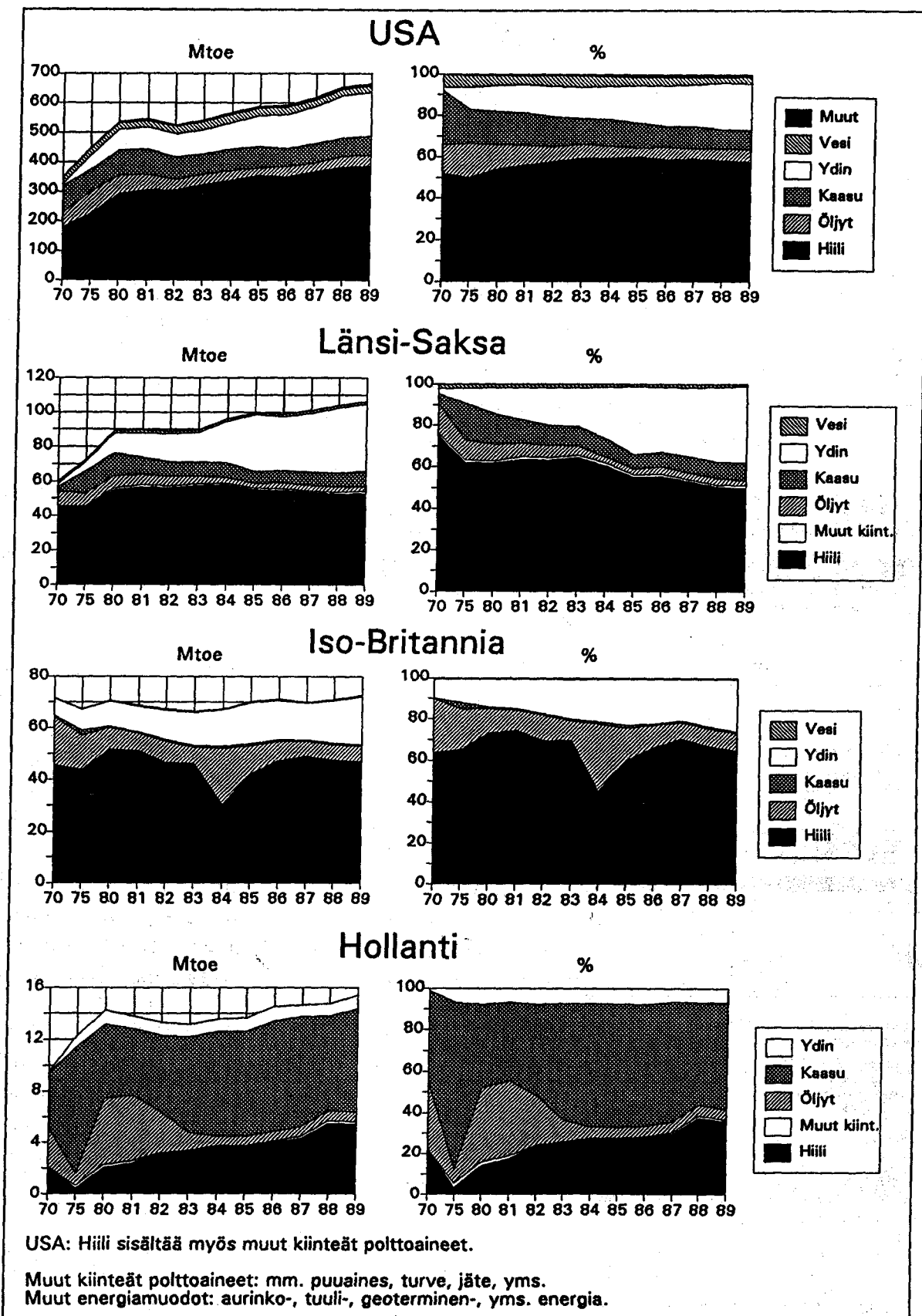
### 3.2.2 Panoskäytön rakenne

Kuviossa 4 on esitetty sekä voimalaitoksissa käytettyjen panosten absoluuttinen käyttö että niiden suhteelliset osuudet.<sup>25</sup> Kuvioista on helppo lukea myös rikki- ja typpipolttoaineiden käyttö kussakin maassa. Rikkipolttoaineiksi on tässä tutkimuksessa laskettu hiili, muut kiinteät polttoaineet sekä öljyt. Typpipolttoaineisiin luetaan edellisten lisäksi myös kaasu.<sup>26</sup>

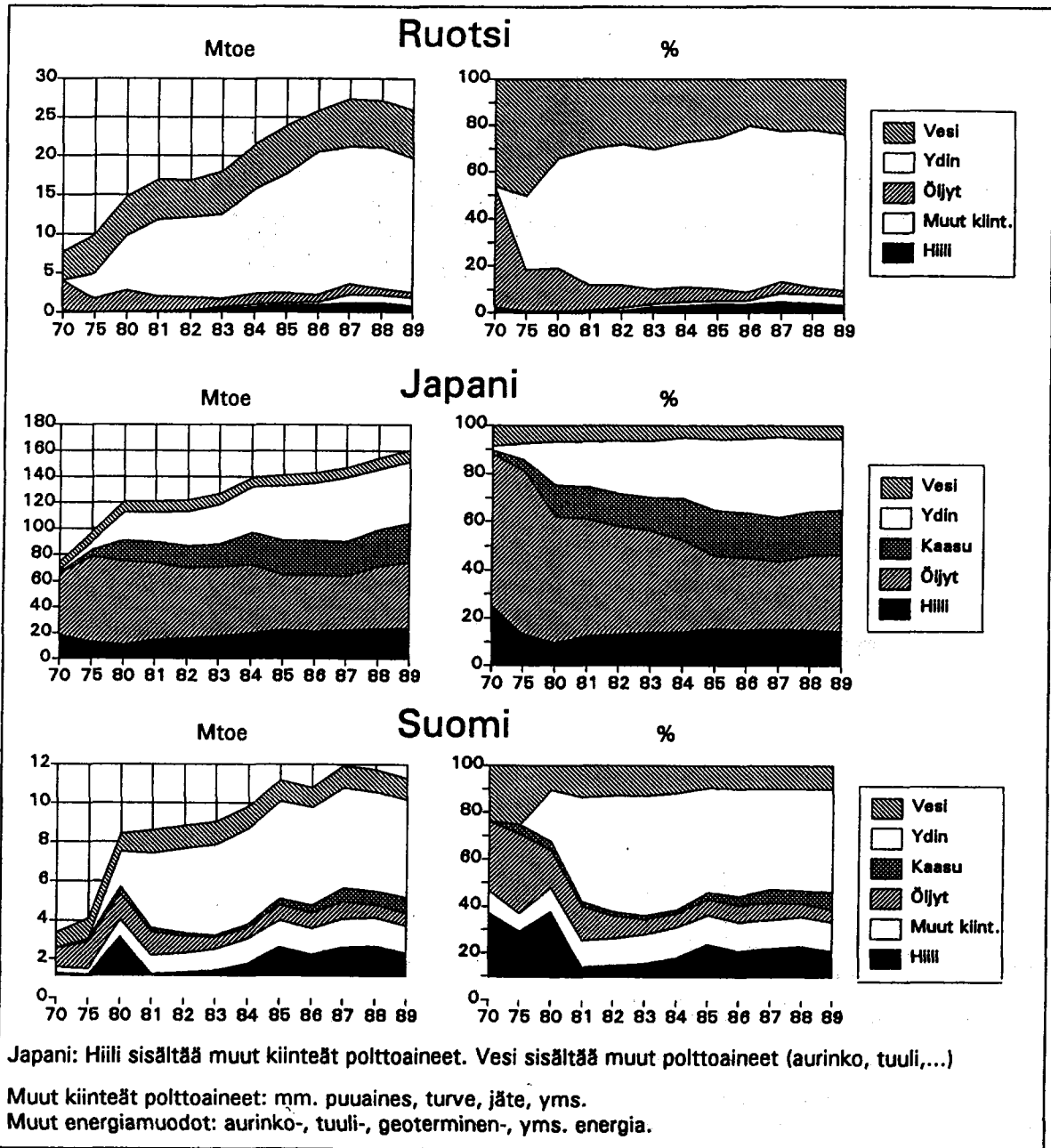
<sup>25</sup> Voimalaitoksissa käytettyjen energiapanosten laskentatavasta katso liite 2.

<sup>26</sup> Huomaa, että jako on karkea.





**Kuvio 4.** Eri energiapanosten käyttö sähkö-, lämpö- ja kaasuvoimaloissa, Mtoe ja %.  
(Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)



**Kuvio 4 (jatk.).** Eri energiapanosten käyttö sähkö-, lämpö- ja kaasuvoimaloissa, Mtoe ja %. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

USA:ssa hiili on selvästi tärkein panospolttoaine. Hiilen käyttö on lisäksi kasvanut 1970-luvun alusta lähtien lähes koko ajan.<sup>27</sup> Eniten on kasvanut kuitenkin ydinvoiman käyttö ja ydinvoima olikin toiseksi tärkein energialähde Yhdysvaltain voimalaitoksissa 1980-luvun lopussa. Öljyä ja kaasua käytetään suhteessa huomattavasti paljon vähemmän kuin vuonna 1970 ja myös niiden absoluuttiset määrät vähenivät 1970- ja 1980-lukujen huippuvuosista 1990-luvulle tultaessa. USA:ssa on myös jonkin verran tuotantoa ns. vaihtoehtoisilla energiamuodoilla, mutta niiden käyttö lisääntyi hyvin vähän 1980-luvulla.

<sup>27</sup> Huomaa, ettei kuviossa ole 1970-luvulta kuin kaksi havaintoa, vuodet 1970 ja 1975.

Myös Länsi-Saksassa hiiltä käytetään runsaasti. Maalla on mittavasti omia hiilivaroja, ja Saksan hiilikaivosteollisuutta tuetaan vielä nykyisinkin runsaasti julkisin varoin. Hiili vastasi 3/4 kaikista panoksista Länsi-Saksan voimalaitoksissa vuonna 1970. Hiilen suhteellinen osuus on ollut laskusuunnassa, vaikka absoluuttisesti käyttömäärät pysyivät koko 1980-luvun vakaina. Lisäenergiaa on tuotettu erityisesti ydinvoimalla. Sen sijaan kaasun, öljyn ja vesivoiman osuus on länsisaksalaisissa voimaloissa ollut vähäinen.

Kuten Länsi-Saksassa ja USA:ssa, on Isossa-Britanniassa hiilellä ollut aina vahva asema energiantuotannossa, myös voimalaitosten panoksena. Myös Isolla-Britannialla on omaa hiilikaivosteollisuutta. Tarkasteltavista maista oli hiilen suhteellinen osuus suurin 1980-luvun lopussa juuri Isossa-Britanniassa. Kuviossa näkyvä piikki öljyn käytössä vuosina 1984-85 selittyy maan hiilikaivoslakolla, jonka vuoksi hiiltä jouduttiin korvaamaan öljytuotteilla voimalaitosten panoksena. Muuten öljyn osuus on ollut laskusuuntainen. Ydinvoiman osuus oli tarkasteltavista maista vuonna 1970 suurin Isossa-Britanniassa, noin 10 prosenttia voimalaitospanoksista. Muissa maissa ydinvoiman merkitys oli vielä tuolloin hyvin vähäinen. Ydinvoiman osuus on Isossa-Britanniassa kasvanut vuodesta 1970 lähtien tasaisesti, ollen neljäsosa vuonna 1989. Ison-Britannian voimalaitokset turvaavat lähinnä vain näihin kolmeen energiamuotoon eli hiileen, ydinvoimaan ja öljyyn.

Hollannissa kaasu on merkittävin panospolttoaine. Hollannilla on omaa kaasuntuotantoa Pohjanmerellä. 1970-luvun puolivälissä on havaittavissa selvä piikki kaasun käytössä, kun öljyn ja hiilen käyttö voimalaitosten panoksena väheni merkittävästi. Öljyä käytettiin Hollannissa runsaasti sekä 1970- että 1980-lukujen alussa, mutta 1980-luvun alkuvuosien jälkeen on öljyn käyttö voimalaitosten panoksena vähentynyt olennaisesti. Sen sijaan hiilen käyttö on lisääntynyt 1970-luvun puolivälistä lähtien. 1980-luvun lopussa noin 30 % kaikista voimalaitoksissa käytetyistä energiapanoksista oli hiiltä. Päinvastoin kuin muissa maissa, ei Hollannissa ydinvoima ole saanut suurta jalansijaa.

Ruotsissa oli vuonna 1970 käytännössä vain kaksi panospolttoainetta, joita voimalaitokset käyttivät: vesivoima ja öljy. Sen jälkeen on maan voimantuotanto muuttunut hyvin vahvasti ydinvoimavoittoiseksi. Vaikka vesivoima onkin edelleen toiseksi tärkein energialähde voimalaitoksissa, on sen suhteellinen merkitys vähentynyt. Silti vesivoiman osuus on Ruotsissa suurin kuvion seitsemästä maasta. Öljystä on tullut lähinnä marginaalipolttoaine kiinteiden polttoaineiden ohella. Kaasua ei Ruotsissa käytetty voimalaitosten panoksena lainkaan 1970- ja 1980-luvuilla. Ydin- ja vesivoiman vahva asema on tarkoittanut sitä, että saastuttavien polttoaineiden osuus panoskäytöstä on ollut hyvin vähäinen.

Japanissa öljyn käyttö voimalaitosten panoksena oli huomattava vuonna 1970, mutta sen osuus puolittui vuoteen 1989 mennessä. Myös Japanissa ydinvoiman käyttö lisääntyi 1970- ja 1980-luvuilla ja sen osuus oli vuonna 1989 jo yhtä suuri öljyn kanssa. Myös kaasun käyttö on kasvanut voimakkaasti. Samoin kuin Ruotsissa, käytetään Japanissa hiiltä ja muita kiinteitä polttoaineita voimalaitosten panoksena hyvin vähän.

Suomen tilanne muistuttaa joiltain osin Ruotsin vastaavaa kehitystä: Vesivoiman ja öljyn merkitys vähentyi ja ydinvoiman osuus lisääntyi voimakkaasti 1970-luvun lopulla ja 1980-luvun alussa. Muissa maissa ydinvoiman lisääntyminen on ollut maltillisempaa.<sup>28</sup> 1970-luvun lopun huima energiankulutuksen kasvu tyydytettiin Suomessa ydinvoiman ohella hiilen ja muiden kiinteiden polttoaineiden avulla. Myös 1980-luvun lopussa tarvittava lisäenergia tuotettiin fossiilisten polttoaineiden, lähinnä hiilen ja kaasun lisäämisellä. Suomen voimalaitostuotannolle on tyypillistä useiden eri polttoaineiden käyttö, mikä tietysti lisää joustavuutta ja suojaa maailmanmarkkinoilla tapahtuville muutoksille.

Tyypillisiä yhteisiä piirteitä voidaan listata muutamia. Ensinnäkin, öljykriisit vuosina 1973 ja 1979 nostivat raakaöljyn maailmanmarkkinahintaa roimasti ja näin vähensivät öljyn kulutusta enemmän tai vähemmän kussakin maassa.<sup>29</sup> Tämän seurauksena monessa maassa (mm. Japani, USA) ryhdyttiin kehittämään vaihtoehtoisia energiamuotoja ja panostettiin energiatehokkuuden parantamiseen. Toiseksi, kussakin maassa (Hollanti poikkeus) ydinvoiman käyttö lisääntyi huomattavasti 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa. Ydinvoiman lisääntymistä vauhditti mm. öljyn hinnan nousu. 1980-luvun lopussa ydinvoiman rakentaminen hidastui tai loppui monessa maassa kokonaan. Tähän oli osasyynä mm. Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuus huhtikuussa 1986 sekä yleisen ydinvoimavastaisuuden lisääntyminen.<sup>30</sup> Kolmas tyypillinen piirre on kotimaisten energiamuotojen suosiminen niissä maissa, joissa omia energiapanoksia on saatavilla. Länsi-Saksassa ja Isossa-Britanniassa tämä on hiili, Hollannissa kaasu, Ruotsissa ja Suomessa vesivoima ja kiinteät polttoaineet (turve, puu, biomassa). USA:lla on enemmänkin omia energiavaroja, mm. hiiltä ja öljyä runsaasti. Japanissa omia energiavaroja on vähän. Jokainen maa, jolla on omia energiavaroja on pyrkinyt mahdollisimman suureen energiaomavaraisuuteen, monesti kalliin tukijärjestelmän turvin.<sup>31</sup>

### 3.2.3 Päästöjä aiheuttavien energiapanosten käyttö

Taulukossa 6 on esitetty kunkin maan voimalaitosten rikki- ja typpipäästöjä aiheuttavien energiapanosten osuus kaikista niissä käytetyistä energiapanoksista. Sama tieto on nähtävissä myös kuviossa 4. Sekä rikki- että typpipolttoaineiden käyttö on pääsääntöisesti vähentynyt, lähinnä ydinvoiman lisärakentamisen ansiosta. Sen sijaan maittaiset erot päästöjä potentiaalisesti synnyttävien polttoaineiden käytössä ovat

<sup>28</sup> Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että yhden ison ydinvoimalan rakentaminen vaikuttaa suhteellisesti enemmän pienen maan (Suomi ja Ruotsi) energiantuotannon rakenteeseen kuin isossa maassa.

<sup>29</sup> Ensimmäinen öljykriisi yli kolminkertaisti raakaöljyn hinnan noin kolmesta dollarista barrelilta (elokuu 1973) yli 11 dollariin (vuonna 1974). Toisen öljykriisin aikana öljyn barrelihinta nousi alkuvuoden 1979 12 dollarista 32 dollariin vuonna 1981. 1980-luvun alusta öljyn hinta laski, mutta sen käyttö voimaloissa ei ole enää kasvanut samalle tasolle kuin aikaisemmin. (Öljykriisin aiheuttamista hintashokeista ks. esim. Ethier, 1988, 85 ja Baumol & Blinder, 1988, 764.)

<sup>30</sup> Mm. vihreän liikkeen ja eri ympäristöliikkeiden voimakas kasvu ajoittuu useassa maassa juuri tähän vaiheeseen. Nämä liikkeet vastustavat ydinvoimaa yleensä voimakkaasti.

<sup>31</sup> Esimerkiksi Länsi-Saksan hiilikaivosteollisuus.

olleet suuria eri aikoina. 1970-luvulla suhteellisesti eniten rikkipolttoaineita käyttivät Länsi-Saksa, Iso-Britannia ja Japani. Selvästi muita vähemmän niitä käyttivät sen sijaan Hollanti ja Ruotsi. 1980-luvun lopussa rikkipolttoaineiden käyttö oli selvästi muita vähäisempää Ruotsissa. Myös Suomessa, Hollannissa ja Japanissa niiden osuus oli alle puolet kaikista panoksista, kun taas USA ja Iso-Britannia käyttivät niitä suhteessa eniten.

Vuonna 1970 oli typpipolttoaineiden osuus noin 9/10 tai enemmän kaikista voimalaitosten panoksista kaikissa muissa maissa paitsi Ruotsissa ja Suomessa. Osuudet ovat sittemmin laskeneet, mutta Hollannissa edelleen yli 90 % panoksista voidaan luokitella typpipäästöjä aiheuttaviksi. Tosin yli puolet näistä on kaasua. Myös USA:ssa ja Isossa-Britanniassa typpipolttoaineiden käyttö on runsaampaa kuin muissa maissa, ja lisäksi hiilen osuus kummassakin maassa on selvästi suurin kaikista typpipolttoaineista. Vähiten typpipolttoaineita käytetään Ruotsissa. Myös Suomessa niiden osuus oli alle puolet vuonna 1989.

Jos palaamme vielä taulukkoon 3, niin voimme havaita, että voimalaitosten osuus kaikista rikkipäästöistä on ollut muita suurempi USA:ssa, Isossa-Britanniassa ja Länsi-Saksassa, ja typpipäästöistä näiden kolmen maan lisäksi myös Suomessa. Kuvion 4 ja taulukon 6 perusteella voidaan todeta, että merkittävä (vaikkei toki ainoa) syy tälle löytyy voimalaitosten tuotannollisesta rakenteesta. USA:ssa, Isossa-Britanniassa ja Länsi-Saksassa rikki- ja typpipolttoaineita käytetään runsaasti, ja erityisesti hiilen käyttö on suurta. Ruotsissa sen sijaan rikki- ja typpipolttoaineiden käyttö on vähäistä, mistä johtuen myös voimalaitosten osuus kokonaisrikki- ja typpipäästöistä on mitätön. Koska Suomessa typpipolttoaineita käytetään kuitenkin suhteellisen vähän ja Hollannissa niitä puolestaan käytetään runsaasti, on selvää että myös muut tekijät kuin yksinomaan rakenteelliset seikat ovat näiden havaintojen taustalla. Erityisesti, jos voimalaitoksissa käytetään tehokkaita puhdistusmenetelmiä, voidaan niissä käyttää myös päästöjä aiheuttavia panoksia ilman, että voimalaitoksen ilmaan laskemat päästöt olisivat kovinkaan suuret. Tähän kysymykseen siirrytään seuraavaksi.

Maa	Rikkipolttoaineiden osuus kaikista voimaloiden panoksista, %					Typpipolttoaineiden osuus kaikista voimaloiden panoksista, %				
	1970	1975	1980	1985	1989	1970	1975	1980	1985	1989
USA	65,7	66,7	65,9	64,4	63,6	91,9	82,9	81,8	76,4	73,3
Länsi-Saksa	90,6	72,9	70,9	59,3	53,6	95,1	90,5	85,6	65,8	62,0
Iso-Britannia	89,8	84,9	85,1	75,7	73,0	90,0	87,8	85,9	76,8	73,7
Hollanti	55,0	12,8	52,2	33,1	41,8	99,0	92,9	92,4	92,5	93,2
Ruotsi	53,5	18,4	19,4	10,4	9,9	53,5	18,4	19,4	10,4	9,9
Japani	88,1	81,3	62,4	46,0	46,4	89,7	85,8	75,3	64,6	64,8
Suomi	76,2	66,6 <sup>a</sup>	64,0	43,2	38,7	76,2	71,2 <sup>a</sup>	67,7	45,9	46,1

a) Vuodelta 1977

**Taulukko 6.** Rikki- ja typpipolttoaineiden osuus kaikista voimalaitosten käyttämistä panoksista, %. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

## 4 OMINAISPÄÄSTÖJEN JA HYÖTYSUHTTEEN KEHITYS

Seuraavassa tarkastellaan voimalaitosten ominaispäästöjen ja hyötysuhteen kehitystä. Kuten koko tutkimuksessa, tarkastelu käydään seuraavassa aggregaattitasolla, eikä siis yksittäisiä voimalaitoksia tai voimalaitostyyppisiä ja niissä tapahtunutta kehitystä ole tarkasteltu. Eri maiden kesken tehtävä vertailu sen sijaan saa lisää syvyyttä.

### 4.1 Ominaispäästöt

Johdannossa ominaispäästöt määriteltiin suhdeluvuksi, joka kertoo miten paljon päästöjä syntyy kutakin saastuttavaa (rikki- tai typpipäästöjä aiheuttavaa) panosyksikköä kohden. Alla olevassa taulukossa on esitetty tämä suhdeluku eri aikoina sekä rikin että typen osalta.

Maa	Rikkipäästöt suhteessa rikkipolttoaineiden käyttöön (1000 tn/Mtoe)					Typpipäästöt suhteessa typpipolttoaineiden käyttöön (1000 tn/Mtoe)				
	1970	1975	1980	1985	1989	1970	1975	1980	1985	1989
USA	69,1	55,3	44,8	38,8	34,6	13,9	13,9	14,5	13,3	14,0
Länsi-Saksa	31,3	33,1	29,6	25,4	5,9	10,7	10,0	10,5	11,6	7,3
Iso-Britannia	45,3	51,4	49,9	49,4	49,7	13,0	14,2	14,5	14,4	14,3
Hollanti	27,8	18,4	26,1	13,7	6,7	6,2	5,2	6,3	6,3	5,4
Ruotsi	n.a.	36,3	12,8	5,6	2,0	n.a.	9,9	3,5	2,4	2,0
Japani	n.a.	n.a.	4,6	3,1	2,6	n.a.	n.a.	2,6	2,1	1,9
Suomi	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	10,5 <sup>a</sup>	16,0	17,5

a) Vuodelta 1977  
n.a. = ei tietoa

**Taulukko 7.** Voimalaitosten ominaispäästöt eli päästöt suhteessa päästöjä aiheuttavien panosten käyttöön

Ennen kuin lähemmin tarkastelemme taulukkoa, on syytä palauttaa mieleen mistä tekijöistä ominaispäästöt koostuvat. Kaksi tekijää vaikuttaa ominaispäästöihin merkittävästi. Ensimmäinen on panosvalinnat. Tiettyjen päästöjä synnyttävien energiapanosten käytöstä aiheutuu enemmän päästöjä energiapanosyksikköä kohden kuin toisten. Esimerkiksi hiili synnyttää enemmän rikkipäästöjä kuin öljy (vrt. liite 3). Lisäksi polttoaineen rikkipitoisuus vaikuttaa rikkipäästöjen suuruuteen. Esimerkiksi mitä rikkipitoisempaa hiiltä käytetään, sitä suuremmat ovat päästöt. Siten niillä mailla,

joissa esimerkiksi hiiltä käytetään runsaasti, on todennäköisemmin korkeat rikin ominaispäästöt.

Toinen tekijä on puhdistusmenetelmät. Jos päästöjä synnyttävissä voimalaitoksissa on tehokas päästöjen puhdistus, ominaispäästöt on mahdollista saada pieniksi. Esimerkiksi Länsi-Saksassa ominaispäästöt rikin osalta olivat vuonna 1989 melko pienet, vaikka mm. hiiltä käytetään runsaasti. Luonnollisesti näiden kahden tekijän tarkempi selvittäminen olisi hedelmällistä, mutta se ei ole tämän tutkimuksen rajoissa mahdollista, joten joudumme tyytymään ominaispäästöjen aggregaattitarkasteluun.

Voimalaitosten päästönormit rikkipäästöille, mg/m <sup>3</sup>					
Maa	Laitos	Päästönormi	Maa	Laitos	Päästönormi
Saksa	(vanha ja uusi) 1-50 MWt	2000	Suomi	Vanhat laitokset:	
	(vanha ja uusi; v:sta 1994) 10-50 MWt	1000		< 200 MWt (1.1.1994 asti)	1270
	(vanha) 50-300 MWt	2500		< 200 MWt (1.1.1994 jälk.)	1055
	(vanha, lyhyt käyttöikä) > 300 MWt	2500		> 200 MWt (1.1.1994 jälk.)	620
	(vanha, pitkä käyttöikä) > 300 MWt	400		Uudet laitokset:	
	(uusi) 50-300 MWt	2000		< 50 MWt (1.1.1994 asti)	1270
	(uusi) > 300 MWt	400		< 50 MWt (1.1.1994 jälk.)	1055
Ruotsi	Vanhat laitokset:		50-150 MWt	620	
	Päästöt < 400 kt S/y	540-920	> 150 MWt	380	
	Päästöt > 400 kt S/y	270-540	UK	Vanhat ja uudet voimalat (20-50 MWt):	
	Uudet laitokset:		Kotimaista hiiltä käyttävät	3000	
	< 500 MWt	270	Ulkomaista hiiltä käyttävät	2000	
Hollanti	> 500 MWt	160	Uudet laitokset:		
	Vanhat > 300 MWt	400	50-100 MWt	2000	
	Uudet laitokset:		100-500 MWt	2000-400	
	< 300 MWt	700	> 500 MWt	400	
	(lupa myönnetty 1.1.1990 tai sen jälk.) > 300 MWt	200	Kotimaista korkeapitoista tai vaihtelevaa rikkiä käyttävät yksittäiset kattilat:		
	(lupa myönnetty ennen 1.1.1990) > 300 MWt	400	< 50 MWt	3000	
USA	Vanhat ja uudet laitokset > 75 MWt	1480	50-100 MWt	2250	

**Taulukko 8.** Voimalaitosten päästönormit rikkipäästöille eri maissa, mg/m<sup>3</sup>. (Lähde: IEA, 1991, Table 10)

Taulukkoa tarkasteltaessa voidaan havaita, että rikin osalta ominaispäästöt ovat yleensä laskeneet. Vain Isossa-Britanniassa ne ovat jääneet noin 50 000 tonniin per Mtoe. Pienimmät ominaispäästöt ovat Ruotsissa ja Japanissa, missä ne ovat noin kolmasosa Länsi-Saksan ja Hollannin vastaavista, ja vain 4-5 % Ison-Britannian ominaispäästöistä. Ruotsissa ja Japanissa hiilen käyttö onkin hyvin vähäistä (vrt. kuvio 4) ja rikkipolttoaineita käytetään muutenkin vähemmän kuin Isossa-Britanniassa tai USA:ssa (vrt. taulukko 6), joissa ominaispäästöt ovat suurimmat. Taulukosta 7 voi päätellä, että rikin ominaispäästöjen pieneneminen on ollut erityisesti Ruotsissa ja Länsi-Saksassa huikeaa. Länsi-Saksassa ominaispäästöt putosivat alle neljäsosaan vuodesta 1985 vuoteen 1989. Suurin osa Länsi-Saksan ominaispäästöjen pienenemisestä johtui puhdistusmenetelmistä, sillä panosrakenteessa tapahtuneet muutokset tuona aikana olivat melko vähäisiä (vrt. taulukko 6 ja kuvio 4).<sup>32</sup>

Typen osalta kehitys on ollut maltillisempaa johtuen ensinnäkin siitä, ettei typpipäästöjen puhdistusmenetelmät ole olleet yhtä tehokkaita kuin rikkipäästöjen. Toisaalta panosvalinnoilla ei voida yhtä laajasti vaikuttaa typpipäästöihin kuin rikkipäästöihin. Tästä huolimatta ominaispäästöt poikkeavat suuresti eri maissa toisistaan. Japanissa ja Ruotsissa ominaispäästöt ovat jälleen selvästi muita maita pienemmät, noin yhdeksäsosa Suomen vastaavista. Myös Hollannissa ovat ominaispäästöt melko pienet. Suomessa, Isossa-Britanniassa ja USA:ssa ominaispäästöt ovat kaikkein suurimmat. Suomessa ne ovat lisäksi kasvaneet voimakkaasti.

Kuten taulukko 7 osoittaa, on esimerkiksi rikin ominaispäästöt Japanissa ja Ruotissa selvästi muita maita pienemmät, ja Isossa-Britanniassa ja USA:ssa ne ovat selvästi muita korkeammat. Merkittävä syy tähän on se, että esimerkiksi Ruotsissa on erittäin tiukat päästönormit, kun taas USA:n ja Ison-Britannian normit ovat selvästi löysemät, kuten taulukko 8 havainnollistaa.<sup>33</sup> Mitä tiukemmat päästönormit ovat, sen tehokkaammat täytyy voimalaitoksen päästöjen puhdistuslaitteistot olla ja sitä vähempirikistä hiiltä voimalaitokset voivat käyttää.

## 4.2 Hyötysuhde

Hyötysuhde määriteltiin johdannossa suhdeluvuksi, joka ilmaisee panoskäytön tehokkuuden eli kuinka suuri osa energiapanoksista saadaan muutetuksi hyödynnettävään muotoon, kuten esimerkiksi sähköksi. Tämän luvun käännteisluku ( $I/Q$ ) on eräs teknologian ympäristölliseen kuormittavuuteen vaikuttava tekijä kaavassa (3a). Kun hyötysuhde paranee,  $I/Q$  alenee, näin pienentäen teknologian ympäristöllistä kuormittavuutta. Alla olevassa taulukossa on esitetty tarkasteltavien maiden hyötysuhteen kehitys eri aikoina.<sup>34</sup>

<sup>32</sup> Tietysti on mahdollista (ja todennäköistä), että Länsi-Saksassa on käytetty yhä enemmän myös vähärikkisempää hiiltä ja öljyä. Tämän päättelemisen ei selviä taulukon 6 tai kuvion 4 avulla.

<sup>33</sup> Taulukossa 8 olevat päästönormit ovat 1980- ja 1990-lukujen vaihteesta. Japanin päästönormeja ei ole näkyvillä.

<sup>34</sup> Hyötysuhde on laskennallinen ja se perustuu OECD/IEA:n energiataseen lukuihin, joiden laskemisessa on käytetty tiettyjä muuntokertoimia ja tehokkuusoletuksia (ks. OECD, 1991b; myös liite 2 tässä).



Maa	Voimalaitosten hyötysuhde, % (Tuotanto per panoskäyttö * 100)				
	1970	1975	1980	1985	1989
USA	40,3	38,5	38,8	38,6	38,5
Länsi-Saksa	36,3	39,7	39,6	38,1	37,7
Iso-Britannia	34,8	35,4	35,0	36,3	36,8
Hollanti	36,7	37,9	39,1	41,7	42,6
Ruotsi	69,1	80,9	65,8	54,8	54,9
Japani	46,2	47,3	44,6	43,4	44,6
Suomi	69,0	63,6 <sup>a</sup>	57,0	56,9	58,4

a) Vuodelta 1977.

**Taulukko 9.** Voimalaitosten keskimääräinen hyötysuhde, %. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

Suuret erot hyötysuhteissa eri maiden välillä selittyvät pitkälti voimalaitoskapasiteetin rakenteellisilla eroilla. Esimerkiksi vesivoimalaitoksista saadaan tehokkaammin sähköä kuin ydinvoimaloista.<sup>35</sup> Tästä syystä Ruotsissa ja Suomessa, joissa vesivoimaa on runsaasti, on hyötysuhteet myös paremmat kuin muissa maissa. Suomessa ja Ruotsissa on myös lämmön ja sähkön yhteistuotanto yleisempää kuin muissa maissa, jolloin energiapanoksista on mahdollista saada suurempi hyöty.

Mielekkäämpää onkin tarkastella kutakin maata erikseen. Huomaamme, että hyötysuhteet ovat muuttuneet yleensä hyvin vähän kuluneen kahden vuosikymmenen aikana, vain muutamia prosenttiyksiköjä. Vain Ruotsissa ja Suomessa, joissa vesivoiman osuus on vähentynyt runsaasti 1970-luvun huippuvuosista ja ydinvoiman osuus puolestaan kasvanut, ovat hyötysuhteet laskeneet huomattavasti.

Monessa maassa hyötysuhteet ovat yleisesti ottaen pikemminkin huonontuneet kuin parantuneet. Tähän on kaksi selitystä. Ensinnäkin, tuotannossa tapahtuneet rakenteelliset muutokset vaikuttavat hyötysuhteisiin (vrt. Suomi ja Ruotsi edellä). Myös liitteen 3 esimerkit osoittavat että polttoaineella ja voimalaitostyypillä on merkitystä sille, miten suuri tehokkuus on mahdollista saavuttaa. Toiseksi, kun voimaloihin asennetaan päästöjenpuhdistustekniikkaa, kuten savukaasupesureita, vaikuttaa tämä usein voimalaitoksen tehokkuuteen sitä alentavasti. Tämä käy hyvin ilmi myös liitteestä 3: Päästöjen puhdistusmenetelmien käyttö (FGD, Low-NO<sub>x</sub>, SCR) laskee hyötysuhdetta esimerkitapauksissa vajaan prosenttiyksikön. Tämä saattaa myös osaltaan selittää sitä, miksi hyötysuhteet ovat joissain maissa laskeneet.

<sup>35</sup> IEA on laskelmissaan olettanut esimerkiksi vesivoimalla tuotetun sähkön tehokkuudeksi 100 prosenttia, kun ydinvoiman tehokkuus on 33 prosenttia. Ks. OECD (1991b).

## 5 YMPÄRISTÖLLINEN KUORMITTAVUUS JA TEKNOLOGINEN MUUTOS

Tässä kappaleessa tarkastellaan voimalaitosten ympäristöllistä kuormittavuutta ja millä vauhdilla se on muuttunut eli teknologista muutosta ympäristöystävällisemmäksi. Johdannossa todettiin, että teknologian ympäristöllistä kuormittavuutta voidaan mitata suhteuttamalla tuotannosta syntyvät päästöt tuotantoon. Mitä pienempi tämä suhdeluku on, sitä pienemmin päästöin tietty vakiotuotos on mahdollista tuottaa. Muutokset tässä luvussa puolestaan kertovat millä nopeudella teknologia on kehittynyt eli se mittaa teknologisen muutoksen nopeutta ympäristöystävällisemmäksi.

### 5.1 Voimalaitosten teknologian ympäristöllinen kuormittavuus

Taulukossa 10 on esitetty eri maiden voimalaitosten tuotantoprosessien ympäristöllinen kuormittavuus aggregaattitasolla sekä rikki- että typpipäästöjen osalta. Ympäristöllinen kuormittavuus kuvastaa sitä, miten puhtaasti aggregaattitasolla (kaikissa voimaloissa yhteensä) energiaa on voimaloissa tuotettu. Riippuu luonnollisesti yksittäisestä voimalaitoksesta ja voimalaitostyyppistä miten vähän päästöjä se synnyttää.<sup>36</sup> Aggregaattitarkastelu heijastanee kuitenkin melko hyvin kunkin maan voimalaitosten ympäristöllistä kuormittavuutta mitä niiden rikki- ja typpipäästöihin tulee. Muutokset tässä luvussa kuvastavat teknologian muutosta ympäristön kannalta kyseisen saasteen kohdalla.

Maa	Ympäristöllinen kuormittavuus; <sup>a</sup> rikin oksidit					Ympäristöllinen kuormittavuus; <sup>a</sup> typen oksidit				
	1970	1975	1980	1985	1989	1970	1975	1980	1985	1989
USA	112,7	95,8	76,0	64,8	57,3	31,7	29,9	30,5	26,3	26,8
Länsi-Saksa	78,1	60,9	53,1	39,6	8,3	28,1	22,8	22,6	20,0	12,1
Iso-Britannia	116,7	123,3	121,3	103,0	98,8	33,6	35,1	35,5	30,4	28,8
Hollanti	41,6	6,2	34,8	10,9	6,5	16,8	12,6	14,9	14,1	11,7
Ruotsi <sup>b</sup>	n.a.	8,2	3,8	1,1	0,4	n.a.	2,2	1,0	0,5	0,4
Japani	n.a.	n.a.	6,4	3,3	2,7	n.a.	n.a.	4,3	3,1	2,8
Suomi	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	11,8 <sup>c</sup>	n.a.	12,9	13,8

a) Päästöt per voimalaitosten bruttotuotanto (1000 tn/Mtoe).

b) Ruotsin voimalaitosten bruttotuotannosta on vähennetty keskuslämmityksen tuotanto. Tämä johtuu siitä, että voimalaitosten päästöt eivät sisällä päästöjä, joita aiheutuu keskuslämmityksestä. Korjaus tehty vain vuosilta 1987-1989, jolloin keskuslämmitys on tilastoitu energiatilastoissa erikseen.

c) Vuodelta 1977.

n.a. = ei tietoa

**Taulukko 10.** Voimalaitosten energiantuotantoteknologioiden ympäristöllinen kuormittavuus

<sup>36</sup> Vrt. liite 3.

Taulukon mukaan kaikkein puhtaimmin energiaa tuottavat Ruotsin voimalaitokset. Syy on selvä: Noin 90 prosenttia voimalaitoksissa tuotetusta energiasta on tuotettu ydin- ja vesivoimalla, ominaispäästöt ovat pienet (ts. päästöjen puhdistaminen on tehokasta) ja voimalaitosten aggregaattihyötysuhde on korkea. Myös Japanissa päästöt tuotettua energiaa kohden ovat alhaiset.

Hollannissa ja Länsi-Saksassa ympäristöllistä kuormittavuutta kuvaava luku on hie- man heikompi, mutta selvästi parempi kuin USA:ssa ja Isossa-Britanniassa. Myös Suomessa tilanne typpipäästöjen osalta on kohtuullinen, rikkipäästöjen kohdalta ver- tailukelpoista tietoa ei ole saatavilla.

Saastuttavimmin energiaa tuotetaan Isossa-Britanniassa ja USA:ssa. Ero on lisäksi muihin maihin verrattuna huomattava ja ajan myötä kasvanut entisestään. Rikin osalta Ruotsin voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus oli vuonna 1989 murto-osa Ison-Britannian vastaavasta. Syyttä ei siis Isoa-Britanniaa ole kutsuttu Euroopan likai- seksi mieheksi.

## 5.2 Teknologinen muutos ympäristöystävällisemmäksi

Teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden muutosta voidaan mitata kaavan (6) avulla. Ottamalla saadusta luvusta vastaluku kaavan (7) mukaisesti, voimme ilmaista teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemisen positiivisena lukuna, josta käytämme nimitystä teknologinen muutos ympäristöystävällisemmäksi. Tämä luku siis ilmoittaa kuinka paljon tuotannosta syntyvä päästörasitus on kahden eri vuoden välillä pienentynyt prosenteiksi muutettuna vuositasolla. Teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden muutoksen tarkastelu antaa yleiskuvan kunkin maan voimalaitoksissa tapahtuneeseen ympäristölliseen kehittymiseen.

### Rikin oksidit

Tarkastellaan aluksi rikin oksidien kehitystä. Taulukko 11 kertoo millä nopeudella rikkipäästöt ovat pienentyneet suhteessa tuotantoon. Muutos on siis keskimääräinen vuosimuutos. Tarkastelussa ovat mukana kaikki voimalaitokset, myös saasteettomat vesi-, ydin-, yms. voimalat. Positiivinen muutos kuviossa tarkoittaa, että päästöt ovat pienentyneet suhteessa tuotokseen ja negatiiviset luvut puolestaan tarkoittavat päästö- jen kasvua tuotosta kohti.

USA:ssa kehitys on ollut melko tasaista ja maltillista. Taulukon mukaan USA:ssa voimalaitosten rikkipäästöt ovat pienentyneet niissä tuotettua energiayksikköä kohden reilut kolme prosenttia vuodessa. Vaikuttaa myös siltä, että kehitys Yhdysvalloissa itse asiassa hidastui 1980-luvulla verrattuna 1970-lukuun. Kun lisäksi useimmissa muissa maissa kehitys on 1980-luvulla ollut kiihtyvää, on USA jäänyt selvästi kehi- tyksessä jälkeen.

Myös Länsi-Saksassa kehitys oli vielä 1980-luvun alkupuolelle asti hidasta. 1980-luvun loppupuolella voimalaitosten rikkipäästöt vähenivät kuitenkin keskimäärin yli 30 % vuodessa suhteessa niiden tuotantoon. Tällä on ollut erittäin merkittävä vaikutus Länsi-Saksan rikkipäästöjen pienenemiseen.

Isossa-Britanniassa sen sijaan kehitys ei ole päässyt kunnolla edes vauhtiin. 1970-luvun alussa kehitys oli jopa negatiivista.<sup>37</sup> 1980-luvulla muuttui voimalaitostuotanto rikkipäästöjen osalta Isossa-Britanniassakin ympäristöystävällisemmäksi, mutta selvästi hitaammin kuin muissa maissa.

Hollannin kehitys 1970-luvulla on eriskummallinen. Aluksi selvä kehitys ympäristöystävällisemmäksi, mutta vuosikymmenen lopussa yhtä selvä taantuma. Tämä eriskummallisuus selittyy kuitenkin suurimmaksi osaksi 'kaasupiikillä', johon viitattiin aikaisemmin tekstissä (kappaleessa 3). Kuviossa 4 on 1970-luvun puolivälissä havaittavissa selvä kaasupiikki, jolloin hiilen ja öljyn käyttö voimalaitosten panoksena väheni merkittävästi. Tällä oli selvä myönteinen vaikutus ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen. Öljyn ja hiilen käytön jälleen 1970-luvun lopussa elvyttyä, tilanne huononi.<sup>38</sup> 1980-luvulla kehitys Hollannissa oli jälleen ympäristön kannalta huomattavan myönteistä.

Ruotsissa teknologinen kehitys oli voimakasta koko 1980-luvun ja jo 1970-luvulla koettiin nopeaa kehitystä. Ruotsissa ympäristöllisen kuormittavuuden nopea pieneminen on ollut siten pitkäaikainen prosessi. Ruotsissa ollaankin oltu ilmeisen määrätietoisia päästöjen vähentämisessä.

Myös Japanissa voimalaitosten rikkipäästöt ovat vähentyneet voimakkaasti niiden tuotokseen suhteutettuna. Tosin kehitys näyttää hidastuneen, kun päästöt suhteessa tuotantoon ovat saavuttaneet jo hyvin alhaisen tason.

Taulukko 11 implikoi myös sitä, että voimalaitosten tuotanto muuttui 1980-luvulla enemmän ympäristöystävälliseksi rikin oksidien osalta kuin 1970-luvulla. 1980-luvulla jo yhä useammassa maassa on havaittavissa vahvaa ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemistä. Tähän lienee kaksi merkittävää syytä. Ensinnäkin, puhdistusmenetelmät ovat tehostuneet. Toinen ja tärkeämpi selitys on kuitenkin se, että ympäristömääräykset ovat kiristyneet useissa maissa, jolloin voimalaitosten on ollut pakko keksiä erilaisia keinoja päästöjensä vähentämiseksi.

<sup>37</sup> Taulukon 7 mukaan tämä johtui siitä, että ominaispäästöt huononivat (vrt. myös taulukko 13 jäljempänä). Tarkoittaako tämä siis sitä, että Isossa-Britanniassa puhdistusmenetelmät 'heikkenivät' tai tulivat vähemmän tehokkaiksi tuona ajanjaksona? Näin ei suinkaan asian täydy olla. Tämän ilmiön selittänee ainakin osittain se, että hiilen osuus rikkipolttoaineista nousi 70,9 prosentista 76,8 prosenttiin vuodesta 1970 vuoteen 1975. Ts. myös rakenteelliset tekijät vaikuttavat taulukon 7 ominaispäästöihin.

<sup>38</sup> Taulukon 10 perusteella voi todeta, että kokonaisuutena kehitystä toki vuodesta 1970 vuoteen 1980 tapahtui. Ympäristöllinen kuormittavuus laski lähes 7 yksikköä (1000 tn/Mtoe) tuona aikana.

Maa	Tuotannon muuttuminen ympäristöystävällisemmäksi, % p.a.; Rikin oksidit			
	1970-1975	1975-1980	1980-1985	1985-1989
USA	3,2	4,5	3,1	3,0
Länsi-Saksa	4,9	2,7	5,7	32,3
Iso-Britannia	-1,1	0,3	3,2	1,1
Hollanti	31,6	-41,2	20,7	12,0
Ruotsi	n.a.	14,4	22,4	22,9
Japani	n.a.	n.a.	12,6	5,0
n.a. = ei tietoa				

**Taulukko 11.** Teknologian kehitys ympäristöystävällisemmäksi voimalaitoksissa rikin oksidien osalta, % p.a.

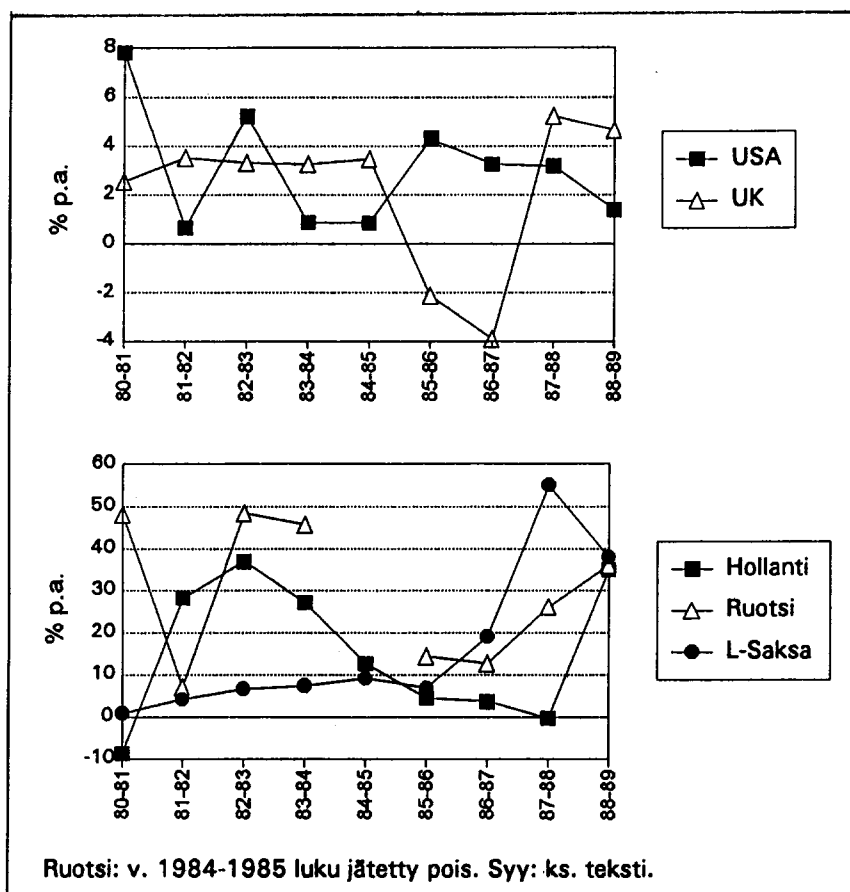
Vastaavaa metodia kuin taulukossa 11 on käytetty kuvion 5 graafisessa esityksessä. Kuvio esittää kehitystä koko 1980-luvulla.<sup>39</sup> Taulukon 11 kahden oikeanpuolimman sarakkeen informaatio on kuviossa siis esitetty vuositasolla. Ylemmässä paneelissa on kuvattu USA:n ja Ison-Britannian kehitys, mikä on ollut selvästi hitaampaa kuin alapaneelissa näkyvien maiden kehitys.

Kuviosta huomaamme, että kehitys on ollut pääsääntöisesti positiivista 1980-luvulla. USA:ssa ja Isossa-Britanniassa kehitys on ollut melko tasaista, mutta lievää, yleensä keskimäärin alle 5 prosenttia vuodessa. Isossa-Britanniassa havaittava negatiivinen kehitys ajanjaksoina 1985-1986 ja 1986-1987 johtuu paljolti vuosien 1984 ja 1985 hiilikaivoslakosta, joka maata koetteli. Tuolloin koko maan hiilen tuotanto oli useita kuukausia pysähdyksissä, joka näkyi myös voimalaitosten hiilen käytön vähenemisenä (vrt. kuvio 4). Vuosina 1986 ja 1987 hiilen käyttö palasi jälleen normaalille, lakkoa edeltävälle tasolle aiheuttaen näin rikkipäästöjen lisääntymisen suhteessa tuotantoon.<sup>40</sup> Hiililakolla ja siitä johtuneella hiilen käytön vähenemisellä oli siis selvä positiivinen vaikutus voimalaitosten ympäristöllisen kuormittavuuden pienemiseen.

Alapaneelissa, missä on tarkasteltu Hollannin, Ruotsin ja Länsi-Saksan kehitystä 1980-luvulla, voidaan havaita useita selviä syklejä, joissa puhtaamman teknologian käyttöönotto kiihtyy ja hidastuu. Länsi-Saksassa 1980-luvun alku oli hitaan kehittymisen aikaa, mutta vuosikymmenen loppupuolella siirryttiin puhtaampiin tuotantotapoihin ja puhtaampiin energiamuotoihin hyvin voimakkaasti (vrt. taulukko 11). Hollannissa puolestaan ensimmäinen vahva kehityskausi on havaittavissa 1980-luvun alussa, minkä jälkeen kehitys taantui. Aivan 1980-luvun viimeinen havainto saattaa tarkoittaa uuden kehitysjakson alkua.

<sup>39</sup> Japani on jätetty kuviosta pois, koska sen tiedot olivat liian puutteelliset graafiseen esitykseen. Myös Suomi puuttuu kuviosta.

<sup>40</sup> Itse asiassa tämä näkyy myös kokonaisrikkipäästöjen ja voimalaitosten rikkipäästöjen lisääntymisenä vuosina 1986 ja 1987 (ks. kuviot 1 ja 3).



**Kuvio 5.** Teknologinen muutos ympäristöstävällisemmäksi voimalaitoksissa 1980-luvulla, rikin oksidit

Ruotsin kohdalla on syytä huomauttaa parista seikasta sen kehitystä tulkittaessa. Ensimmäkin jakson 1984-1985 havainto on jätetty pois johtuen siitä, että tälle vuodelle laskut antoivat hyvin suuren negatiivisen arvon (-109 %).<sup>41</sup> Tämä luku voi selittyä datavirheellä, mutta todennäköisempi mahdollisuus, vaikkei sitä tilastolähteessä<sup>42</sup> mainita, on se, että päästöjen mittausten menetelmä on muuttunut tuona vuonna. Esimerkiksi tarkastelemalla kuviota 3, missä on esitetty voimalaitosten rikkipäästöt, päästöt nousevat vuoden 1984 6000 tonnista 14000 tonniin vuonna 1985 eli yli 2-kertaisesti. Tämän jälkeen päästöt jälleen laskevat tasaisesti. Mittausmenetelmän muutos voi selittää ilmiön, sillä rakenteelliset muutokset ja hyötysuhteen muutos olivat tuona aikana merkityksellisiä.<sup>43</sup>

<sup>41</sup> Huomaa, että luku on alle -100 %, koska olemme itse asiassa ottaneet luvusta +109 % vastaluvun -109 %. Muutenhan alle -100 %:n luvut eivät ole mahdollisia.

<sup>42</sup> Lähde: OECD (1993a).

<sup>43</sup> On syytä huomauttaa, että jaksosta 1985-1986 lähtien tällä ei ole enää mitään vaikutusta. Huomaa, että myös taulukossa 11 tämä selittämätön ilmiö vaikuttaa, mutta vain ajanjaksolla 1980-1985. Siten jakson 1980-1985 teknologinen muutos olisi Ruotsissa suurempi kuin 22,4 %, mikäli kyseinen mittausmenetelmän muutos on tapahtunut.

Toinen seikka, mikä kannattaa Ruotsin voimalaitoksia tarkastellessa pitää mielessä on se, että päästöt ovat hyvin pieniä, vain muutamia tuhansia tonneja. Koska päästöt on kuitenkin tilastoitu tuhansina tonneina, voi erot todellisuudessa olla prosentuaalisesti hyvinkin suuria. Esim. kun tilastoissa on päästöksi ilmoitettu 6000 tonnia, voi todellinen luku olla jotain väliltä 5501 ja 6499 tonnia. Prosentuaalisesti ero näiden lukujen välillä on huomattava. Tästä johtuen, myös kahden eri vuoden vertaaminen toisiinsa ja niistä lasketut teknologiset muutokset voivat antaa kovinkin virheellisiä tuloksia, erityisesti kun tarkasteluperiodi on lyhyt (esim. vuosi, kuten kuviossa 5).<sup>44</sup>

Kun jätämme periodin 1984-1985 tarkastelustamme pois em. selittämättömään ilmiöön vedoten, voimme havaita myös Ruotsin kohdalla selvän kehityssyklin, joka oli voimakkaana 1980-luvun alussa laantuen vuosikymmenen puolivälissä, ja jälleen kiihtyen vuosikymmenen lopussa.

Maa	Tuotannon muuttuminen ympäristöystävällisemmäksi, % p.a.; Typen oksidit			
	1970-1975	1975-1980	1980-1985	1985-1989
USA	1,1	-0,4	2,9	-0,4
Länsi-Saksa	4,1	0,1	2,4	11,9
Iso-Britannia	-0,9	-0,3	3,1	1,4
Hollanti	5,6	-3,4	1,2	4,5
Ruotsi	n.a.	14,6	14,9	4,7
Japani	n.a.	n.a.	6,8	2,2
Suomi	n.a.	n.a.	-1,2 <sup>a</sup>	-1,7
a) 1977-1985				
n.a. = ei tietoa				

**Taulukko 12.** Teknologian kehitys ympäristöystävällisemmäksi voimalaitoksissa typen oksidien osalta, % p.a.

Kuviosta voidaan havaita, että kehityssyklit ajoittuvat eri maissa eri aikoihin. Tämä johtuu siitä, että kansalliset ympäristönsuojelulait ja -asetukset vaikuttavat hyvin paljon ympäristöinvestointien ajoittumiseen. Koska maat toteuttavat omaa ympäristönsuojelupolitiikkaa, ajoittuu uusien ympäristölakien ja -määräysten voimaantulo luonnollisesti eri aikoihin. Koska lisäksi eräät maat ovat omaksuneet tiukemman asenteen ilmansuojelussa (rikin osalta) kuin toiset, myös kehityssykliden voimakkuus ja pituus vaihtelevat paljon maiden välillä.

<sup>44</sup> Esimerkiksi, Ruotsin vuosien 1988-1989 laskettu muutos on 36 %, kun todellinen luku voi olla jotain välillä 25 % - 46 %.

### Typen oksidit

Taulukossa 12 on tarkasteltu miten voimalaitosten teknologia on kehittynyt ympäristöystävällisemmäksi typen oksidien osalta. Huomaamme, että kehitys on ollut selvästi vähäisempää kuin rikin oksidien kohdalla. Tämä implikoi sitä tosiasiaa, että typpi-päästöjen vähentäminen on sekä teknis-taloudellisesti että hallinnollisesti ollut jäljessä rikkipäästöjen vähentämistä.

Kehitys on ollut vaatimattominta Suomessa, USA:ssa ja Isossa-Britanniassa. Suomessa kehitys oli itse asiassa vuodesta 1977 lähtien negatiivista. Tämä on ehkä yllättävää siinä mielessä, että vuoden 1977 jälkeen Suomessa alkoi ydinvoiman rakentamisbuumi ja ydinvoiman osuus nousi jyrkästi, minkä olisi luullut myötävaikuttavan positiivisesti teknologian ympäristölliseen kuormittavuuteen.

Voimakkainta kehitys on ollut Ruotsissa 1970-luvun loppupuolella ja 1980-luvun alussa, sekä Länsi-Saksassa 1980-luvun loppupuolella. Ajoittain myös Hollannissa ja Japanissa on kehitys ollut nopeaa.

Kokonaisuutena tarkastellen on kehitys 1980-luvulla ollut nopeampaa kuin 1970-luvulla. Tekniset mahdollisuudet vähentää syntyviä typen oksideja ovat kehittyneet, mutta myös ympäristölainsäädäntö on kiristynyt typen oksidien osalta.

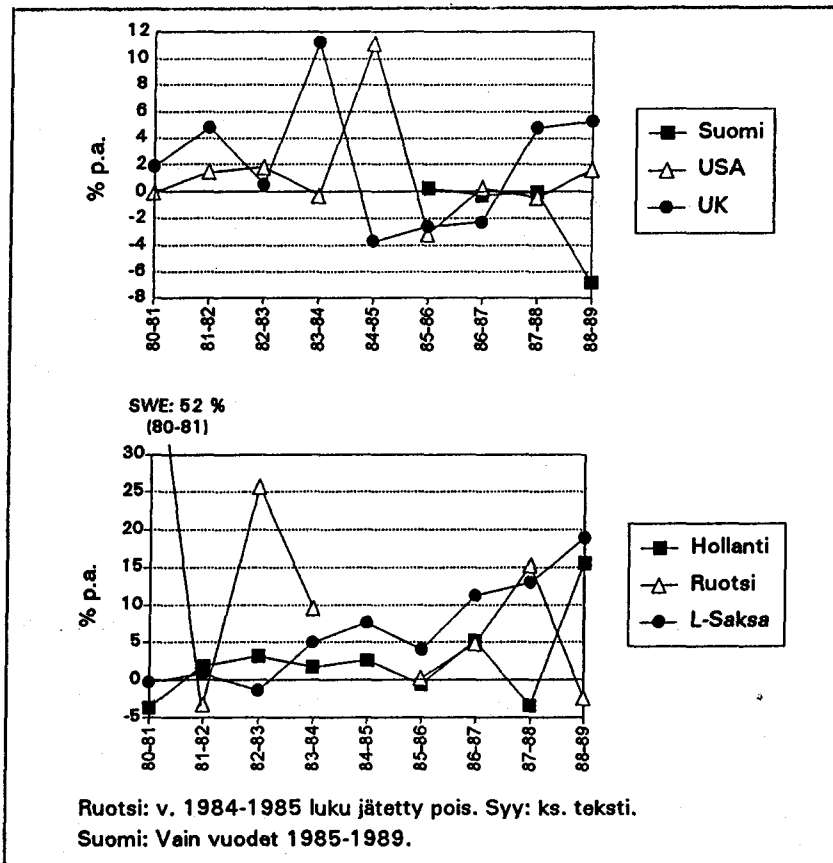
Kuviossa 6 on kehitystä tarkasteltu koko 1980-luvulla. Yläpaneelissa on USA:n, Ison-Britannian ja Suomen kehitys (Suomi vain vuodet 1985-1989). Näissä maissa kehitys oli 1980-luvulla yleisesti ottaen hidasta ja jopa negatiivista. Ison-Britannian piikki vuosina 1983-1984 ja sitä seuranneet negatiivisen kehityksen vuodet selittyvät jälleen hiilikaivoslakolla, jonka seurauksena hiilen käyttö voimalaitoksissa oli erityisesti vuonna 1984 vähäisempää kuin muina vuosina.

Alapaneelissa on esitetty Hollannin, Länsi-Saksan ja Ruotsin kehitys. Ruotsin vuoden 1984-1985 luku on jätetty pois samasta syystä kuin edellä rikin kohdalla.<sup>45</sup> Myös päästöt ovat pienet, mikä saattaa vääristää Ruotsin kehitystä yksittäisten vuosien osalta (vrt. yllä). Hollannissa kehitys on ollut 1980-luvulla melko vähäistä. Länsi-Saksassa kehitys näyttää lähteneen liikkeelle vuoden 1983 jälkeen, kiihtyen siten, että 1980-luvun viimeisinä vuosina kehitys oli jo reilusti yli 10 % vuodessa.

---

<sup>45</sup> Muutos typen kohdalla oli noin -34 % ajanjaksolla 1984-1985.





**Kuvio 6.** Teknologinen kehitys ympäristöystävällisemmäksi voimalaitoksissa 1980-luvulla, typen oksidit

### 5.3 Teknologiseen kehitykseen vaikuttaneet tekijät

Tässä jaksossa tarkastellaan mitkä tekijät ovat myötävaikuttaneet teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden kehittymiseen kussakin maassa. Kaavaa (10a) käyttäen voidaan tarkastella hyötysuhteen, panosrakenteen ja ominaispäästöjen vaikutuksia teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden kehittymiseen. Taulukkoon 13 on listattu kunkin maan osalta eri tekijöiden vaikutusta osoittavat luvut. Taulukoon ei ole laskettu kolmen tekijän kokonaisvaikutusta, sillä taulukot 11 ja 12 sekä kuviot 5 ja 6 sisältävät tämän informaation. Taulukossa 13 kokonaisvaikutus on lisäksi helppo laskea kunkin maan kohdalla sarakeittain yhteen (vrt. kaava (10a)).

Tarkastelemalla kutakin maata sarakeittain erikseen, voidaan taulukon tietoja käyttää helposti hyväksi. Seuraavassa on tarkasteltu maittain, miten niissä kussakin teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden kehittyminen on rakentunut.

## Yhdysvallat

Taulukko 11 edellä esitti, että rikkipäästöjen osalta teknologinen kehitys oli USA:ssa kunakin ajanjaksona myönteistä. Taulukon 13 perusteella voidaan päätellä, että eniten kehitykseen on myötävaikuttanut ominaispäästöjen pieneneminen. Sen sijaan panosrakenteessa ja hyötysuhteessa tapahtunut kehitys vaikutti kunakin jaksone vain hyvin vähän tai epäsuotuisasti ympäristöllisen kuormittavuuden muutokseen.<sup>46</sup>

Jos USA:n ominaispäästöjen kehitystä 1970-luvulla verrataan esimerkiksi Länsi-Saksan, Hollannin tai Ison-Britannian ominaispäästöihin, voi havaita, että ominaispäästöt kehittyivät juuri USA:ssa kaikkein myönteisimmin.<sup>47</sup> USA:ssa laadittiinkin jo varsin varhaisessa vaiheessa, vuonna 1970, ilmansuojelulaki.<sup>48</sup> Tämä laki oli tuohon aikaan varsin edistyskellinen, mutta myöhemmin (1980-luvulla) se on jäänyt vaikutuksiltaan monien eurooppalaisten maiden ilmansuojelulakien jalkoihin.<sup>49</sup>

Typpipäästöjen kohdalla puolestaan panosrakenteessa tapahtuneet muutokset olivat merkittävin tekijä, minkä avulla teknologista kehitystä on tapahtunut. Tämä johtuu siitä, että fossiilisten polttoaineiden käyttö USA:n voimaloissa on hiljalleen vähentynyt (ks. kuvio 4). Sen sijaan ominaispäästöt eivät juurikaan vaikuttaneet tyypin kohdalla, paitsi ajanjaksolla 1980-1985.

USA:n voimaloiden teknologian ympäristöllinen kuormittavuus on rikkipäästöjen osalta kehittynyt suotuisimmin ominaispäästöjen kautta, mikä implikoi puhdistusmenetelmien (rikinpoisto) käyttöä.<sup>50</sup> Typpipäästöihin sen sijaan on vaikuttanut voimalaitosten panosvalinnat, eikä typpipäästöjen poisto näyttäisi olleen merkittävä keino typpipäästöjen vähentämisessä.

---

<sup>46</sup> Huomaa, että taulukossa 13 positiiviset luvut tarkoittavat sitä, että kyseisellä tekijällä on ollut epäsuotuisa vaikutus ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen ja negatiiviset luvut tarkoittavat, että kyseisellä tekijällä on ollut suotuisa vaikutus ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen. Vrt. myös kappale 1.1.1.

<sup>47</sup> Myös taulukon 7 perusteella voidaan havaita, että USA oli 1970-luvulla ainoa maa, joka kykeni merkittävästi pienentämään ominaispäästöjään näistä neljästä maasta. USA:n ominaispäästöt laskivat noin 35 % vuodesta 1970 vuoteen 1980.

<sup>48</sup> *The US Clean Air Act of 1970*. Itse asiassa USA:n ilmansuojelulainsäädäntö on tätäkin vanhempi, sillä laki puhtaasta ilmasta astui Yhdysvalloissa voimaan jo vuonna 1967 (*the Air Quality Act of 1967*). Ks. Nan (1994).

<sup>49</sup> USA:n ominaispäästöt pienenevät enää 23 % vuodesta 1980 vuoteen 1989 (vrt. alaviite yllä).

<sup>50</sup> Kuten on jo aikaisemmin todettu, puhdistusmenetelmät eivät ole suinkaan ainoa, vaikkakin merkittävä, tekijä joka vaikuttaa ominaispäästöihin. Myös mm. panosvalinnoilla (panosrakente) voidaan vaikuttaa ominaispäästöihin huomattavastikin (vrt. liite 3).

Maa	Tekijä	Rikkipäästöt				Typpipäästöt			
		70-75	75-80	80-85	85-89	70-75	75-80	80-85	85-89
USA	Ominaispäästöt <sup>a</sup>	-0,22	-0,21	-0,14	-0,12	-0,00	0,04	-0,09	0,06
	Panosrakenne <sup>b</sup>	0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,10	-0,01	-0,07	-0,04
	Hyötysuhde <sup>c</sup>	0,05	-0,01	0,01	0,00	0,05	-0,01	0,01	0,00
Länsi-Saksa	Ominaispäästöt <sup>a</sup>	0,06	-0,11	-0,15	-1,45	-0,07	0,05	0,10	-0,46
	Panosrakenne <sup>b</sup>	-0,22	-0,03	-0,18	-0,10	-0,05	-0,06	-0,26	-0,06
	Hyötysuhde <sup>c</sup>	-0,09	0,00	0,04	0,01	-0,09	0,00	0,04	0,01
Iso-Britannia	Ominaispäästöt <sup>a</sup>	0,13	-0,03	-0,01	0,01	0,09	0,02	-0,01	-0,00
	Panosrakenne <sup>b</sup>	-0,06	0,00	-0,12	-0,04	-0,03	-0,02	-0,11	-0,04
	Hyötysuhde <sup>c</sup>	-0,02	0,01	-0,04	-0,01	-0,02	0,01	-0,04	-0,01
Hollanti	Ominaispäästöt <sup>a</sup>	-0,41	0,35	-0,64	-0,72	-0,18	0,20	0,00	-0,17
	Panosrakenne <sup>b</sup>	-2,04	1,40	-0,46	0,23	-0,07	-0,01	0,00	0,01
	Hyötysuhde <sup>c</sup>	-0,03	-0,03	-0,06	-0,02	-0,03	-0,03	-0,06	-0,02
Ruotsi	Ominaispäästöt <sup>a</sup>	n.a.	-1,04	-0,83	-1,06	n.a.	-1,05	-0,37	-0,21
	Panosrakenne <sup>b</sup>	n.a.	0,05	-0,62	-0,01	n.a.	0,05	-0,62	-0,01
	Hyötysuhde <sup>c</sup>	n.a.	0,21	0,18	0,03	n.a.	0,21	0,18	0,03
Japani	Ominaispäästöt <sup>a</sup>	n.a.	n.a.	-0,39	-0,19	n.a.	n.a.	-0,22	-0,07
	Panosrakenne <sup>b</sup>	n.a.	n.a.	-0,31	0,01	n.a.	n.a.	-0,15	0,00
	Hyötysuhde <sup>c</sup>	n.a.	n.a.	0,03	-0,03	n.a.	n.a.	0,03	-0,03
Suomi	Ominaispäästöt <sup>a</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,42 <sup>d</sup>	0,09
	Panosrakenne <sup>b</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-0,44 <sup>d</sup>	0,00
	Hyötysuhde <sup>c</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,11 <sup>d</sup>	-0,03

Negatiivinen luku: tekijä on myötävaikuttanut teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen.

Positiivinen luku: tekijällä ollut epäsuotuisa vaikutus teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen.

a)  $\ln\alpha$

b)  $\ln\beta$

c)  $\ln\gamma$ . Huomaa lisäksi, että vaikutukset ovat sekä rikki- että typpipäästöjen kohdalla aina identtisiä kussakin maassa.

d) Vuosilta 1977-1985.

n.a. = ei tietoa

**Taulukko 13.** Eri tekijöiden vaikutus teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden muutokseen

### Länsi-Saksa

Länsi-Saksassa panosrakenteen ja hyötysuhteen muutokset olivat rikkipäästöjen osalta 1970-luvun alussa kehityksen kannalta myönteisiä, kun taas ominaispäästöt muuttivat huonompaan suuntaan. Tämän jälkeen on ominaispäästöjen myönteinen vaikutus korostunut, mutta myös panosrakenteessa tapahtuneet muutokset ovat olleet merkittävä ympäristöllisen kuormittavuuden pienentymiseen vaikuttava tekijä.

Typpipäästöjen kohdalla kaikki kolme tekijää kehittyivät suotuisasti 1970-luvun alkupuolella, tosin vain vähän. Seuraavana kymmenenä vuotena (1975-1985) vain panosrakenne kehittyi suotuisasti. Sen sijaan hyötysuhteessa ja erityisesti ominaispäästöissä tapahtuneet muutokset heikensivät ympäristöllisen kuormittavuuden myönteistä kokonaisvaikutusta. 1980-luvun viimeisinä vuosina ominaispäästöt olivat selvästi tärkein tekijä ympäristöllisen kuormittavuuden kehittymisessä.

Ominaispäästöjen suurten arvojen vuoksi ajanjaksolla 1985-1989 sekä rikki- että typpipäästöjen kohdalla, näyttää siltä, että Länsi-Saksassa on 1980-luvun lopussa panostettu voimakkaasti sekä voimalaitosten rikin- että typenpoistomenetelmien käyttöönottoon. Tähän on vaikuttanut ennenkaikkea vuonna 1983 annettu laki suurista voimalaitoksista ja niiden päästöistä. Laissa on mm. määrätty tiukat päästönormit, jotka perustuvat parhaaseen olemassa olevaan teknologiaan. Esimerkiksi uusissa ja käytössäolevissa yli 300 MW:n hiilivoimaloissa täytyy toteuttaa 85 prosenttinen rikki-dioksidin poisto. Vastaavan tapainen laki pienemmille voimalaitoksille annettiin vuonna 1988.<sup>51</sup>

### **Iso-Britannia**

Isossa-Britanniassa ominaispäästöjen kehitys on parhaimmillaankin myötävaikuttanut vain vähän ympäristölliseen kuormittavuuteen sekä rikki- että typpipäästöjen osalta. Puhdistusmenetelmien käyttöönotto näyttää Isossa-Britanniassa olleen siten olematon muihin maihin verrattuna. Sen sijaan panosrakenteen muutos on ollut tärkein tekijä millä sekä rikki- että typpipäästöihin on voimaloissa kyetty vaikuttamaan. Tosin senkin vaikutus on ollut vähäinen. Myös hyötysuhde on jonkin verran parantunut vaikuttaen positiivisesti voimaloiden ympäristölliseen kuormittavuuteen. Kokonaisvaikutukset ovat Isossa-Britanniassa olleet vähäisiä (vrt. taulukot 11 ja 12).

Syynä teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden vähäiseen paranemiseen Ison-Britannian voimaloissa on ollut kehitystä vauhdittavan lainsäädännön puuttuminen.<sup>52</sup> Yleensäkin poliittinen kiinnostus ilmansuojeluasioihin on Isossa-Britanniassa ollut monia muita eurooppalaisia maita nihkeämpää, josta hyvänä todisteena on kansainvälisten rikkipöytäkirjan ja typpijulistuksen allekirjoittamatta jättäminen (ks. kappale 2).

### **Hollanti**

Hollanti on siitä poikkeuksellinen maa, että siellä hyötysuhde on kunakin ajanjaksona kehittynyt myönteiseen suuntaan, vaikka sen vaikutus on muihin kahteen tekijään verrattuna ollutkin vähäinen. Rikkipäästöjen osalta ominaispäästöt vaikuttivat melko suuresti ympäristöllistä kuormittavuutta kasvattavasti 1970-luvun jälkipuoliskolla, mutta 1970-luvun alussa ja 1980-luvulla kehitys on ollut päinvastainen: ominaispääs-

<sup>51</sup> OECD (1993b).

<sup>52</sup> Todettakoon kuitenkin, että Isossa-Britanniassa on ollut vuodesta 1956 lähtien ns. laki puhtaasta ilmasta (*Clean Air Act*), joka annettiin vuoden 1952 Lontoon Sumun aiheuttamien ennen aikaisten kuolemantausten johdosta (Newberry, 1993, 68). Kuitenkin uudenaikainen, tehokas ilmansuojelulainsäädäntö, jolla rajoitettaisiin SO<sub>x</sub>- tai NO<sub>x</sub>-päästöjä, on Isossa-Britanniasta puuttunut.

töt olivat merkittävä voimaloiden ympäristöllisen kuormittavuuden paranemiseen vaikuttanut tekijä. Öljyn ja hiilen käytön huomattava pieneneminen 1970-luvun alussa oli juuri se tekijä, jolla voimaloiden rikkipäästöt vähenivät Hollannissa.<sup>53</sup>

Typipäästöjen kohdalla ei panosrakenteessa tapahtuneet muutokset ole sitten 1970-luvun alun jälkeen vaikuttaneet suurestikaan voimalaitosten ympäristölliseen kuormittavuuteen. Lähinnä hyötysuhteen paraneminen vaikutti myönteisesti ympäristölliseen kuormittavuuteen ajanjaksona 1975-1985. 1980-luvun lopussa ominaispäästöjen pienenemisellä on ollut suurin vaikutus voimalaitosten typipäästöjen vähenemiseen.

Vaikuttaa siltä, että myös Hollannissa on 1980-luvulla ryhdytty rikinpoistomenetelmien avulla pienentämään päästöjä. Sen sijaan typen kohdalla ominaispäästöt ovat pienentyneet hitaammin. Tosin typen ominaispäästöt ovat olleet Hollannissa aina pienet (vrt. taulukko 7).

### Ruotsi

Ruotsissa ominaispäästöillä on ollut hyvin merkittävä vaikutus sekä rikki- että typipäästöjen pienenemiseen, kun taas hyötysuhde on muuttunut voimakkaasti epäedulliseksi. Mutta kun myös panoskäyttö on 1980-luvulla muuttunut päästöjen kannalta suotuisaksi, on kokonaisvaikutukset olleet selvästi positiivisia ympäristön kannalta.

Sekä ominaispäästöt että panosrakenne ovat Ruotsissa muuttuneet edulliseen suuntaan. Siten Ruotsissa on päästöihin vaikutettu sekä puhdistusmenetelmien että panosvalintojen avulla. Erityisesti ydinvoiman rakentaminen on ollut se panosrakennetta muuttanut tekijä, jonka avulla on päästöjä pystytty vähentämään. Ydinvoiman lisääminen näkyy myös hyötysuhteen huononemisena, erityisesti vuosina 1975-1985 jolloin ydinvoima lisääntyi nopeasti (vrt. kuvio 4).

### Japani

Myös Japanissa ominaispäästöt ovat vaikuttaneet sekä rikki- että typipäästöihin positiivisesti 1980-luvulla. 1980-luvun alussa myös panosrakenne myötävaikuttanut voimalaitosten ympäristöllisen kuormittavuuden kehittymiseen kummankin päästön osalta.

Vaikka Japania pidetäänkin kenties maailman johtavana ilmansuojelumaana, kehitys ei enää 1980-luvulla ole ollut kovinkaan nopeaa Ruotsiin, Länsi-Saksaan ja Hollantiin verrattuna. Syy on kuitenkin se, että voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus (taulukko 10) ja erityisesti ominaispäästöt (taulukko 7) ovat Japanissa jo huippuluokkaa.

<sup>53</sup> Vrt. kaasupiikki, johon viitattiin aikaisemmin tekstissä.

## Suomi

Suomessa ominaispäästöjen muutos on selvästi haitannut ympäristöllisen kuormittavuuden kehittymistä typpipäästöjen osalta, ja taulukon 12 perusteella voidaan todeta, että kokonaisuutena kehitys olikin negatiivista. Vuosina 1977-1985 koettu ydinvoiman läpimurto maassamme, joka näkyy siis pansrakenteen suotuisana kehityksenä, ei aiheuttanut kuitenkaan niin suurta hyötysuhteen heikkenemistä, että kokonaiskehityksen vuoksi olisi ollut epäsuotuisaa, vaan lähinnä ominaispäästöjen kehitys aiheutti sen, että voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus kasvoi tuona aikana. Tämä selittyy sillä, että hiilen ja turpeen osuus Suomessa on lisääntynyt, kun taas öljyä käytetään suhteessa vähemmän kuin ennen. Esimerkiksi polttoturpeen kokonaiskäyttö vuonna 1975 oli vain 200.000 tn, mutta vuonna 1980 jo kymmenkertainen ja vuonna 1989 yli 19-kertainen.<sup>54</sup>

Perusongelmana Suomessa on kuitenkin ollut tarvittavan lainsäädännön puuttuminen, jolla typen oksidipäästöjä oltaisiin rajoitettu. Valtioneuvoston päätös kattiloiden ja kaasuturpiinien typen oksidipäästöjen rajoittamisesta on vasta vuodelta 1991.<sup>55</sup> Siten voimalaitoksilla ei ole ollut aikaisemmin tarvetta välittää typpipäästöistään.

Yleisesti ottaen on rikin kohdalla ominaispäästöjen kehittyminen ollut tärkein tekijä, joka on vaikuttanut voimalaitosten teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen. Taulukossa 13 peräti neljässätoista tapauksessa kahdestakymmenestä yhdestä, on ominaispäästöjen myönteinen vaikutus ollut kaikkein suurin. Tämä tarkoittaa sitä, että 67 prosentissa tapauksissa on ominaispäästöt olleet merkittävimmissä asemassa. Typpipäästöjen kohdalla vastaava luku on 8/23 eli 35 %. Sekä rikki- että typpipäästöjen kohdalla ominaispäästöjen merkitys on lisäksi yleistynyt. 1980-luvulla peräti 75 prosentissa tapauksista (9/12) rikkipäästöjen kohdalla oli ominaispäästöt tärkein ympäristöllisen kuormittavuuden pienenemiseen vaikuttanut tekijä. Typen osalta vastaava luku oli 43 % (6/14). Kuten edellä on todettu, suuri osa ominaispäästöjen kehittymisestä lienee useissa tapauksissa puhdistusmenetelmien käyttöönoton ansiota. Edellä kerrotun perusteella voidaankin väittää, että rikin ja typen puhdistusmenetelmien käyttöönotto on yleistynyt voimaloissa merkittävästi kiristyneiden ympäristönormien myötä.

### **5.4 Kehityksen vaikutus päästöihin**

Edellä esitetyn valossa voidaan sanoa, että teknologian ympäristöllinen kehitys on ilmiselvästi vaikuttanut päästöihin. Mutta kuinka paljon, sitä tarkastellaan tässä jaksossa.

Käyttämämme metodi on yksinkertainen, mutta havainnollinen. Tarkastelemme miten päästöt ovat todellisuudessa kehittyneet verrattuna tilanteeseen, jossa teknologian

<sup>54</sup> Tilastokeskus (1994). Luvut kuvastavat siis kokonaiskäyttöä, mutta voimaloiden osuus kokonaiskäytöstä lienee suuri.

<sup>55</sup> Ympäristöministeriö (1991, 23-24).

ympäristöllistä kehitystä ei olisi lainkaan tapahtunut, mutta voimalaitosten tuotanto olisi kuitenkin kehittynyt kuten se on todellisuudessa kehittynyt. Eli tarkastelemme miten suuret päästöt olisivat, jos tuotanto jouduttaisiin suorittamaan entisellä tekniikalla ja tuotantorakenteella. Näin on mahdollista selvittää, miten tehokkaita kunkin maan toimet ovat olleet ympäristönäkökulmasta.

Lienee syytä mainita, että tarkastelemme siis vain kehityksen tehokkuutta ympäristönäkökulmasta, emmekä tarkastele kehityksen tehokkuutta taloudellisesta näkökulmasta. Taloudellisessa mielessä tehokkain ei nimittäin ole välttämättä se tilanne, missä päästöt ovat mahdollisimman pienet, vaan missä päästöistä aiheutuvat yhteiskunnalliset kokonaiskustannukset ovat minimissään. Nämä kustannukset voidaan jaotella yhtäältä saastumisesta johtuviin kustannuksiin (ns. *haittakustannukset*), kuten metsäkuolemat, maaperän happamoituminen, terveyshaitat, rakennusvauriot, jne. ja toisaalta kustannuksiin, joita aiheutuu siitä, että yritykset vähentävät päästöjään (ns. *kontrollikustannukset*). Mitä vähemmän päästöjä vähennetään, sitä pienemmät ovat kontrollikustannukset, mutta sitä suuremmat ovat haittakustannukset. Ja vastaavasti päinvas-toin, mitä pienemmäksi päästöt halutaan, sitä suuremmaksi käyvät kontrollikustannukset, mutta vastaavasti haittakustannukset pienenevät. Taloudellisesti tarkastellen opti-mi ei siis ole välttämättä (ja hyvin todennäköisesti) nollapäästöt. Taloudellista optimia on käytännössä hyvin vaikea ja työlästä määrittää.

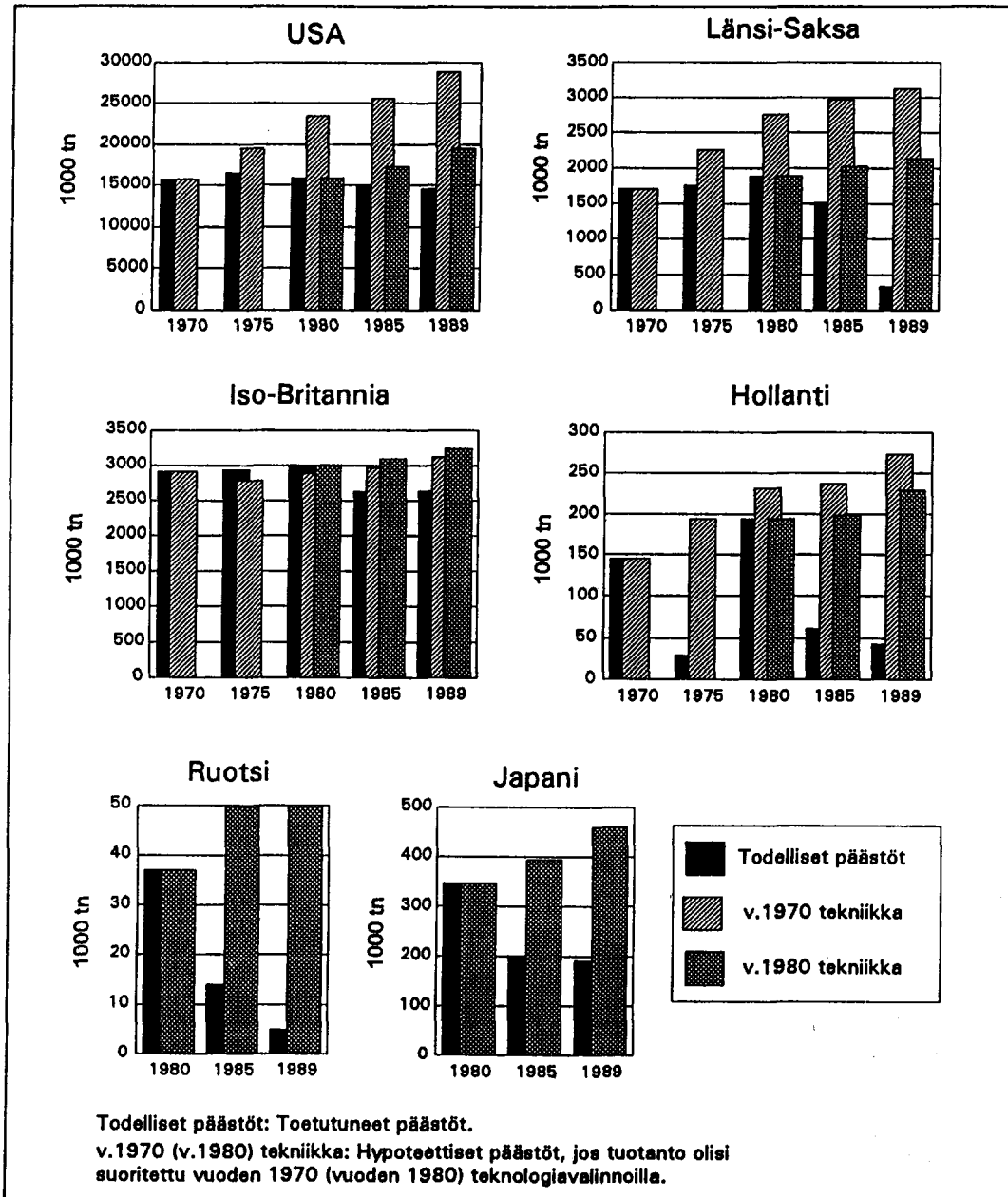
#### 5.4.1 Rikkipäästöt

Kuviossa 7 on esitetty voimalaitoksissa tapahtuneen teknologian ympäristöllisen kehi-tyksen vaikutukset rikkipäästöjen kannalta. Pylväät kertovat, mitkä ovat voimalaitos-ten todelliset päästöt olleet kunakin vuonna, sekä mitkä päästöt olisivat, jos voimalat toimisivat vuoden 1970 tekniikalla ja panosrakenteella. Vuodesta 1980 lähtien on mukana myös kolmas pylväs, mikä vastaavasti havainnollistaa miten päästöt olisivat kehittyneet, jos teknologinen kehitys olisi kaikilta osiltaan jäänyt vuoden 1980 tasolle.

Jokaisessa maassa voimalaitosten todelliset rikkipäästöt ovat hypoteettisia päästöjä pienemmät. Tosin Isossa-Britanniassa todelliset päästöt olivat 1970-luvulla jonkin verran suuremmat kuin, jos tuotanto olisi suoritettu vuoden 1970 teknologiakombinaa-tiolla.<sup>56</sup>

Erot maiden välillä ovat kuitenkin suuret. Länsi-Saksa ja Hollanti ovat kyenneet pie-nentämään todelliset päästönsä vain murto-osaan vuoden 1970 hypoteettisista pääs-töistä. Tämä tarkoittaa sitä, että voimalaitosten tuotantoteknologia on muuttunut sel-västi ympäristöystävällisemmäksi rikkipäästöjen osalta. Sen sijaan USA on kyennyt puolittamaan, ja Iso-Britannia vain vähän pienentämään (vajaa 20 %) päästöjään vuo-den 1970 hypoteettisista päästöistä. 1980-luvulla kärkimaat ovat Ruotsi, Länsi-Saksa ja Hollanti. Japani on pärjännyt hieman heikommin, mutta Iso-Britannia ja USA ovat myös 1980-luvulla kyenneet vähiten vaikuttamaan voimalaitostensa päästöihin.

<sup>56</sup> Syy tähän löytyy kuviossa 4: Hiilen suhteellinen käyttö lisääntyi 1970-luvulla huomattavasti, mikä vaikutti ominaispäästöjen ja panosrakenteen huononemiseen.



**Kuvio 7.** Teknologian ympäristöllisen kehityksen vaikutus voimalaitosten  $SO_x$ -päästöihin

Todettakoon, että sekä USA:n että Länsi-Saksan todelliset päästöt olivat vuonna 1980 noin 2/3 hypoteettisista päästöistä vuoden 1970 tekniikalla. Toisin sanoen, teknologian ympäristöllisellä kehityksellä oli yhtä suuri vähentävä vaikutus kummankin maan voimalaitosten rikkipäästöihin. Vielä vuonna 1985 kehitys oli kummassakin maassa suunnilleen tasoissa: USA:n todelliset päästöt olivat 57 % päästöistä vuoden 1970 teknologiavälinoilla, Länsi-Saksassa 51 %. Tämän jälkeen tilanne on kehittynyt Saksassa huomattavasti paremmin. Vuonna 1989 suhdeluvut olivat USA:ssa 51 % (sama kuin Saksassa vuonna 1985), mutta Länsi-Saksassa vain 11 %. Tämä kuvastanee sitä, miten lyhyessä ajassa ja miten radikaalisti Länsi-Saksa on kyennyt muuttamaan voimalaitostensa tuotannon vähän rikkipäästöjä aiheuttavaksi.



Herää luonnollisesti kysymys mikä on ollut se tekijä, joka on aiheuttanut kyseisen kehityksen Länsi-Saksassa 1980-luvun loppupuolella. Vastaus löytyy Länsi-Saksan lainsäädännöstä. Länsi-Saksassa astui vuonna 1983 voimaan laki, jolla puututtiin suurten voimaloiden päästöihin. Vastaava laki pienemmille voimalaitoksille on vuodelta 1988. Nämä lait asettavat tiukat päästönormit sekä vanhoille että uusille voimaloille. Lisäksi ne vanhat voimalat, joissa ei tarpeellisia uudistuksia tehty vuoteen 1988 mennessä, määrättiin lain mukaan lopettamaan tuotantonsa vuoteen 1993 mennessä.<sup>57</sup> Tämä pelko sulkemisesta lienee ollut se hyvin ratkaiseva pakote, minkä vuoksi voimalaitoksissa on puhtaampiin tuotantotapoihin siirrytty. Kun Saksan ilmansuojelulainsäädäntö edellyttää vielä ns. parhaan käytettävissä olevan teknologian käyttöä, ei ole ihme, että Länsi-Saksan voimaloissa tapahtui 1980-luvun lopussa 'ympäristövallankumous'.

Myös Ruotsissa todelliset päästöt ovat murto-osa hypoteettisista päästöistä. Tämä ei taulukon 8 (ks. kappale 4.1) perusteella ole ihme, sillä Ruotsin voimalaitosten päästönormit ovat kansainvälisesti ottaen erittäin tiukat. Ruotsalaiset voimalaitosyritykset ovat siten olleet pakotettuja vähentämään päästöjään huomattavasti.

#### 5.4.2 Typpipäästöt

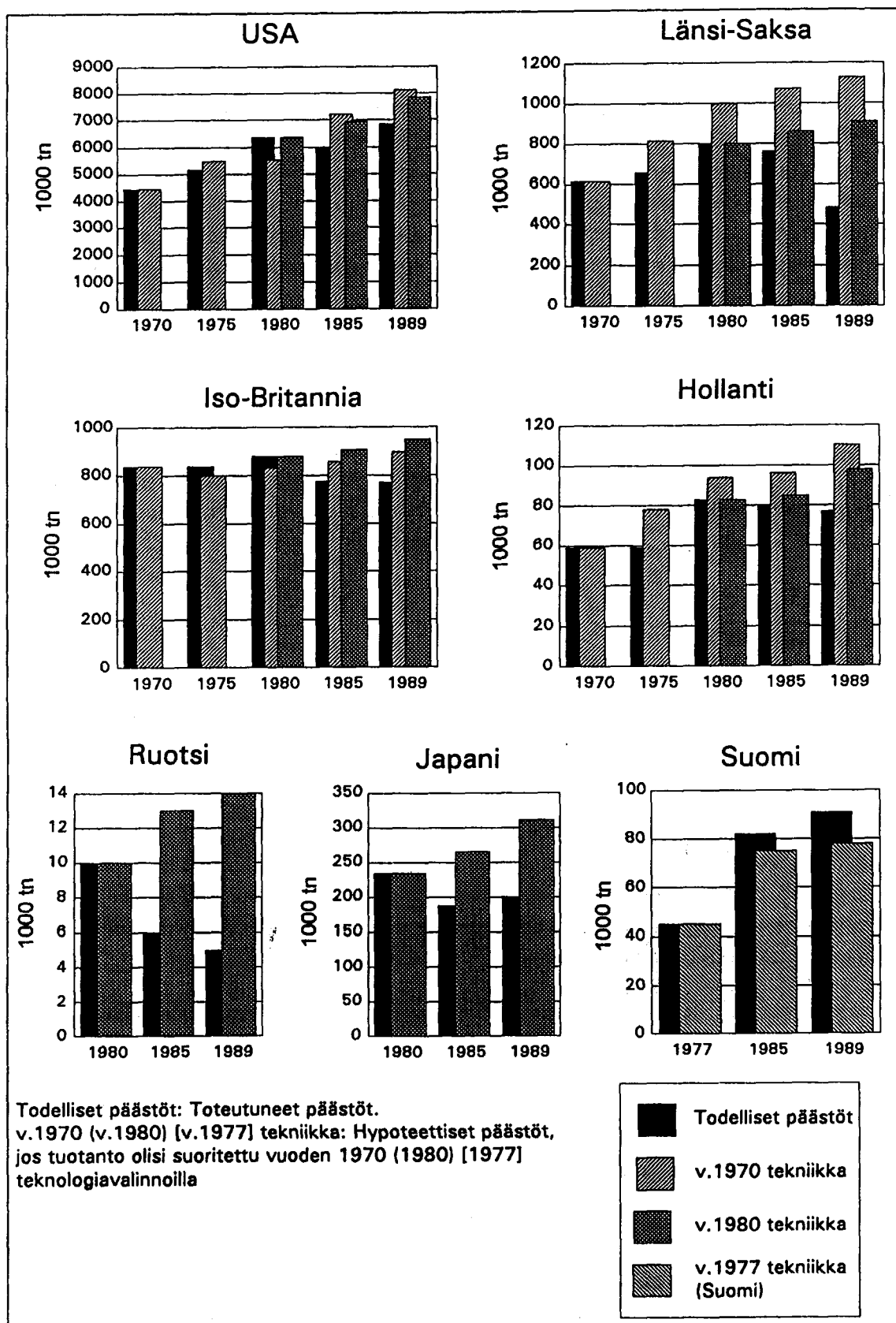
Myös typpipäästöjen osalta voimme tehdä samanlaisen tarkastelun teknologisen kehityksen vaikutuksista päästöihin kuin edellä rikkipäästöjen kohdalla. Kuvio 8 havainnollistaa kehitystä typen osalta.

Aikaisemmin esitetyn valossa ei liene yllättävää, että kehitys on ollut hitaampaa kuin rikkipäästöjen kohdalla. Verrattuna todellisia päästöjä vuoden 1970 tekniikalla aiheutuneisiin hypoteettisiin päästöihin, on Länsi-Saksa jälleen kyennyt vähentämään päästöjään suhteellisesti eniten vuoteen 1989 mennessä. Sen sijaan Hollanti, USA ja Iso-Britannia ovat selvästi Saksaa jäljessä.

Jos tarkastelemme tilannetta vuoden 1980 tekniikkaan verrattuna, on Ruotsi kyennyt jopa Länsi-Saksaa enemmän vaikuttamaan voimalaitostensa typpipäästöihin. Japani tulee ennen Hollantia, Isoa-Britanniaa ja USA:ta, mutta huonoin tilanne on Suomessa. Voimaloissamme energiaa on tuotettu ympäristöä entistä rasittavimmin menetelmin mitä typpipäästöihin tulee. Ydinvoiman yleistyminen Suomessa ei ole kompensoinut kiinteiden polttoaineiden (mm. hiili ja turve) käytöstä aiheutuneiden typpipäästöjen kasvua.

Kuitenkin muiden maiden kokemukset osoittavat, että näin ei Suomessa olisi tarvinnut käydä, kiinteiden polttoaineiden käytön lisäämisestä huolimatta. Syynä onkin ollut lainsäädännön puutteet typen oksidien kohdalla. Suomen ilmansuojelulainsäädäntö on perinteisesti rajoittanut mm. paperiteollisuuden hajuhaittoja, sekä nyttemmin myös rikin oksideja sekä CFC-yhdisteitä ja haloneja (uusittu ilmansuojelulakimme on vuodelta 1982). Kattiloiden ja kaasuturpiinien typen oksidipäästöjen rajoittamisesta on

<sup>57</sup> OECD (1993b, 35).



**Kuvio 8.** Teknologian ympäristöllisen kehityksen vaikutus voimalaitosten NO<sub>x</sub>-päästöihin

valtioneuvoston päätös vasta vuodelta 1991. Vanhojen kattiloiden osalta päätös tarkoittaa sitä, että niiden on saavutettava päästörajat vuoden 1994 loppuun mennessä.<sup>58</sup>

## 5.5 Yhteenveto ja näkymiä 1990-luvulle

### Yhdysvallat

USA:n voimalat ovat tuottaneet energiaa joihinkin edistyneisiin eurooppalaisiin maihin ja Japaniin verrattuna varsin suurin päästöin. Perussyynä ovat yhtäältä voimalaitostuotannon rakenne sekä toisaalta vanhentunut ilmansuojelulaki. Tuotanto nojaa edelleen hyvin vahvasti hiileen, joka on selvästi ongelmallisin SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen kannalta. Vuodelta 1970 oleva ilmansuojelulaki puolestaan ei enää 1980-luvulla ole ohjannut voimalaitoksia siirtymään puhtaampiin tuotantomenetelmiin.

Vaikka USA ryhtyikin jo varsin varhaisessa vaiheessa, OPECin vuoden 1973 öljykriisin jälkeen kehittämään myös vaihtoehtoisia energiantuotantotapoja, ei niiden kaupallinen käyttöönotto energiantuotannossa ole kuitenkaan ollut merkittävää.<sup>59</sup> Niiden vaikutus rikki- tai typpipäästöihin onkin ollut hyvin vähäinen. Lisäksi ohjelma ajautui 1980-luvulla rahoituskriisiin. Ydinvoima onkin ollut ainoa energiamuoto, joka on noussut jossain määrin hiilen kilpailijaksi USA:n voimantuotannossa.

Kuten mainittiin, hiilen vahvan aseman säilyminen ja lakiuudistusten puuttuminen ovat johtaneet siihen, ettei USA ole kyennyt tehokkaasti vähentämään voimalaitostensa päästöjä. Rikkipäästöt ovat vähentyneet hitaasti ja typpipäästöt ovat kasvaneet. Energiantuotanto on kasvanut nopeammin kuin puhtaampia tuotantoteknologioita on otettu käyttöön. Kuitenkin puhtaammin tuotetulle energialle löytyisi runsaasti tarvetta myös USA:ssa.

Voimalaitosten panosrakenne on USA:ssa muuttunut hitaasti päästöjen kannalta suotuisammaksi. Myös ominaispäästöt ovat kehittyneet myönteiseen suuntaan, mutta 1980-luvulla monia muita maita hitaammin. Ominaispäästöjen hidaskasvu viittaa osittain siihen, ettei päästöjen puhdistusteknologioita ole otettu käyttöön yhtä runsaasti kuin monessa muussa maassa, kuten esimerkiksi Ruotsissa, Länsi-Saksassa tai Hollannissa.

USA:ssa astui voimaan vuonna 1990 uusi ilmansuojelulaki, jonka yhteydessä luotiin myös markkinat ns. kaupattaville päästöluville. Päästölupien avulla on tarkoitus vähentää voimalaitosten SO<sub>2</sub>-päästöjä. Lain voimaantulo on kaksivaiheinen, ja se kohdistuu erityisesti sähköä tuottaviin voimalaitoksiin. Yrityksillä on useita vaihtoehtoja saavuttaa lain asettamat päästöraajat, joista kaksi tärkeintä ovat savukaasupesureiden käyttöönotto tai osallistuminen päästölupien kauppaan. Mielenkiintoista on tulevaisuudessa nähdä kuinka tämä järjestely vaikuttaa voimalaitosten energiantuotantotapoi-

<sup>58</sup> Ympäristöministeriö (1991) ja Sarkkinen (1993).

<sup>59</sup> Vaihtoehtoisten energiamuotojen kehittäminen johtui enemmänkin huolesta USA:n energiaomavaraisuudesta kuin ympäristönäkökulmista. (Landsberg, 1989)

hin ja -menetelmiin sekä päästöjen kehittymiseen, sillä teoreettisesti tarkastellen kyseinen systeemi toimii tehokkaasti sekä päästöjen vähentämisen mielessä että teknologian ympäristöllisen kehityksen näkökulmasta.<sup>60</sup> Esimerkiksi Nan (1994) on selvittänyt kyseisen systeemin vaikutuksia voimalaitosten panosvalintoihin ja toteaa, että USA:n ilmansuojelulaki ja päästölupajärjestelmä edesauttavat maakaasun käytön lisääntymistä, siitä huolimatta että hiili pysyisi edelleen halvimpana polttoaineena. Syynä on se, että hiilen suhteellinen hinta tulee nousemaan lain myötä eniten, kun taas lailla ei ole vaikutusta kaasun hintaan. Sen sijaan siihen, edesauttaako uusi laki savukaasupureiden käyttöönottoa vai ostavatko yritykset mieluummin päästöluvia Nanin tutkimus ei anna suoraa vastausta. Uuden lainsäädännön myötä on siten todennäköistä, että USA:n voimalaitoksissa tullaan näkemään huomattavasti myönteisempää kehitystä ympäristön kannalta kuin on tähän asti tapahtunut.

### Länsi-Saksa

Länsi-Saksa omaksui itselleen 1980-luvulla hyvin aktiivisen roolin ilmansuojelussa. Tämä on näkynyt mm. Saksan sitoutumisena vähentää rikki- ja typpipäästöjään jopa muita maita enemmän. Myös hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä Saksalla on useita muita maita kunnianhimoisempi tavoite.<sup>61</sup>

1970-luvulla Länsi-Saksan voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus ei ollut mitenkään erinomainen ja se kehittyi hitaasti. Selvä käänne Saksan asenteessa tapahtui kuitenkin 1980-luvun alussa, jolloin haposateista johtuvat metsäkuolemat synnyttivät voimakkaan huolen ympäristön tilasta tavallisten kansalaisten keskuudessa. Tätä seurasi kaksikin merkittävää lakia 1980-luvulla, jotka ovat vaikuttaneet juuri voimalaitosten päästöihin: vuoden 1983 laki suurista voimalaitoksista ja niiden päästöistä, sekä vastaava laki pienille voimalaitoksille vuonna 1988.

Saksan voimalaitokset ovat pyrkineet toteuttamaan vuoden 1983 lakipykälät lähinnä puhdistusmenetelmien avulla (ominaispäästöjen kehitys) erityisesti 1980-luvun loppupuolella, kun taas panoskäyttö ei ole muuttunut yhtä paljoa ympäristön kannalta edullisemmaksi. Kotimaista hiiliteollisuutta suositaan ja tuetaan julkisin varoin edelleen, vaikka toki hiilen suhteellinen käyttö onkin vähentynyt hiljalleen.

Länsi-Saksassa on kyetty vähentämään voimalaitosten rikin ja typen oksideja, vaikka samanaikaisesti tuotanto on kasvanut.<sup>62</sup> Kuvioista 5 ja 6 voi nähdä, että juuri vuoden 1983 jälkeen on teknologinen kehitys Länsi-Saksassa sekä rikki- että typpipäästöjen osalta kiihtynyt. Lailla on siten ollut ilmeisen myönteinen vaikutus teknologian ympäristöllisen kehityksen näkökulmasta.

<sup>60</sup> Mm. Milliman & Prince (1989).

<sup>61</sup> Saksan liittovaltio on asettanut tavoitteeksi vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä 25-30 % vuoteen 2005 mennessä vuoden 1987 tasosta. (OECD, 1993b) Vuonna 1992 Riossa allekirjoitetussa YK:n ilmastomuutosta koskevassa puitesopimuksessa allekirjoittaneet lupautuivat jäädyttämään CO<sub>2</sub>-päästönsä vuoden 1990 tasolle vuoteen 2000 mennessä. Saksalla on siten selvästi kunnianhimoisempi tavoite.

<sup>62</sup> Tosin tuotanto kasvoi 1980-luvulla huomattavasti hitaammin kuin 1970-luvulla (vrt. taulukko 5).

Länsi-Saksassa astui vuonna 1974 voimaan Liittovaltion laki päästöjen kontrolloimisesta (Federal Immission<sup>63</sup> Control Act) ja vuonna 1976 Energiansäästölaki. Kun tähän lisätään vielä vuosien 1983 ja 1988 voimalaitoksia koskeneet lait, voidaan Länsi-Saksan ilmansuojelulainsäädäntöä pitää varsin kattavana mitä voimalaitoksiin tulee.

Lakiin päästöjen kontrolloimisesta on lisäksi sittemmin lisätty ns. Tekniset ohjeet ilmanlaadun kontrolloimiseksi. Nämä ohjeet (1) määräävät tarkat teknologiaperusteiset limiitit useille saasteille; (2) edellyttävät tehokkaat kontrollitekniikat uusiin ja vanhoihin laitoksiin (myös teollisuudessa); ja (3) määräävät standardit ympäröivän ilman laadulle. Teknisissä ohjeissa on määrätty 3-8 vuoden aikataulu ajanmukaistaa vanhat laitokset ilmansuojelumääräysten toteuttamiseksi (läntisessä Saksassa 1989-1994 ja itäisessä Saksassa 1996-1999). Teknisten ohjeiden perustavoitteisiin kuuluu ns. parhaan käytettävissä olevan teknologian (BAT)<sup>64</sup> käyttöönotto, saastumisen estäminen, jätekaasujen kierrätys ja uudelleenkäyttö, sekä tehokkaamman energiateknologian käyttö.<sup>65</sup> Tämän valossa on todennäköistä, että kehitys ei Saksassa ole suinkaan vielä siten ohi. Päinvastoin, sillä Itä-Saksan ja Länsi-Saksan yhdistyminen vuonna 1990 on epäilemättä selvästi heikentänyt voimalaitosten ympäristöllistä tilaa Saksassa. Itäisten osavaltioiden voimalaitosten kuntoonsaattaminen vie aikaa ja vaatii suuria investointeja.

Saksassa suositaan teknologiaperusteisia rajoituksia voimaloiden päästöjen rajoittamisessa. Tällä on epäilemättä ollut merkittävä vaikutus voimalaitosten ympäristöllisen kuormittavuuden voimakkaalle pienenemiselle, kuten edellä on esitetty. Jotkut taloustieteilijät ovat kuitenkin todenneet,<sup>66</sup> että nämä BAT-määräykset eivät välttämättä ole yhteiskunnan kannalta tehokkain ratkaisu.<sup>67,68</sup>

Yleensä on vaikea saada arvioita ympäristönsuojelumenojen suuruudesta, mutta OECD (1993b, 46) toteaa, että Länsi-Saksan 72:een voimalaitokseen asennetut rikinpoistolaitteet ovat vaatineet 14 miljardin Saksan markan investoinnit ja typenpoisto on vaatinut 7 miljardin DM:n investoinnit.<sup>69</sup> Tämän päälle tulevat vielä käyttökustannukset, jotka karkeasti arvioiden ovat Saksassa olleet samaa suuruusluokkaa investointikustannusten kanssa. Päästöjen vähentämisestä aiheutuneet kustannukset 1980-luvulla olivat siis noin 40 miljardin Saksan markan suuruusluokkaa. Mikäli rikki- ja typpi-

<sup>63</sup> *Immission* viittaa aineen pitoisuuteen ympäristössä. (OECD, 1993b)

<sup>64</sup> BAT, *best available technology*. Mitä parhaalla käytävissä olevalla teknologialla kulloinkin tarkoitetaan, riippuu paljon kunkin maan lain kirjaimesta ja sen tulkinnasta.

<sup>65</sup> OECD (1993b, 34).

<sup>66</sup> Ks. esim. Pearce & Brisson (1993) ja viittaukset siinä.

<sup>67</sup> Kuten edellä todettiin, yhteiskunnan kannalta tehokkain ratkaisu (taloudellisessa mielessä) ei suinkaan ole se, jossa päästöt ovat mahdollisimman pienet, vaan tilanne, missä päästöistä aiheutuvat ja niiden vähentämisestä johtuvat kokonaiskustannukset ovat minimissään.

<sup>68</sup> Itse asiassa BAT-määräysten juuret ovat USA:n ilmansuojelulainsäädännössä. Sikäläiseen Ilmansuojelulakiin tehty lisäykset vuodelta 1977 ottivat käyttöön tämän termin (Pearce & Brisson, 1993). Tässä tutkimuksessa tekemämme havainnot eivät kuitenkaan puolla sitä, että BAT-määräykset olisivat vaikuttaneet kovinkaan merkittävästi teknologian ympäristölliseen kehittymiseen tai päästöihin USA:ssa, toisin kuin Länsi-Saksassa.

<sup>69</sup> Lähde ei kerro minkä ajan kuluessa investoinnit ovat toteutettu, mutta oletettavasti 1980-luvun aikana.

päästöjen vähentäminen on pienentänyt päästöistä aiheutuneita muita kustannuksia<sup>70</sup> (terveyshaitat, metsäkuolemat, rakennusvauriot, yms.) yli 40 mrd DM:aa, on päästöjen vähentäminen ollut Saksassa taloudellisessa mielessä tehokasta.

### **Iso-Britannia**

Ison-Britannian suhtautuminen ilmansuojeluun on kehittyneiden eurooppalaisten maiden mittapuun mukaan ollut vastahakoista, mikä heijastuu voimalaitosten korkeana ympäristöllisenä kuormittavuutena sekä teknologian hitaana kehittymisenä ympäristöystävällisemmäksi. Erityisesti ominaispäästöjen kehitys on ollut mitätöntä verrattuna muihin maihin. Isossa-Britanniassa voimalaitospäästöt ovatkin pysyneet kurissa paljolti sen vuoksi, että voimalaitosten tuotanto on kasvanut hyvin maltillisesti.

Vielä enemmän kuin USA:ssa, on Isossa-Britanniassa ongelmana voimalaitosten epäedullinen rakenne ympäristön kannalta sekä puhdistustekniikoiden vähäinen käyttöönotto. Hiili vastasi vielä vuonna 1989 noin 65 % kaikista voimalaitosten panoksista. Vaikka ydinvoima lisääntyikin voimakkaasti 1970- ja 1980-luvuilla, esimerkiksi kaasun osuus energiapanoksista oli koko 1980-luvulla alle yhden prosentin, lukuun ottamatta hiililakon vuosia 1984 ja 1985.<sup>71</sup> Ison-Britannian voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus on pienentynyt pääasiassa panosrakenteessa tapahtuneiden muutosten vuoksi, ts. ydinvoiman käyttöönoton myötä.

Isossa-Britanniassa kuitenkin tarvittaisiin voimakkaampaa päästöjen vähentämistä. Esimerkiksi Turner, Pearce & Bateman (1994, 302-306) esittävät hyvin karkeassa laskelmassaan, että Ison-Britannian olisi taloudellisessa mielessä optimaalista vähentää SO<sub>2</sub>-päästöjään noin 75 prosentilla vuoden 1980 tasosta (ilman että maa ottaisi huomioon edes päästöjensä haitallisia vaikutuksia naapurimaissaan). Luonnollisesti myös voimalaitokset joutuisivat suuren paineen alle vähentää päästöjään.

Kuten edellä todettiin, Länsi-Saksassa astui vuonna 1983 laki suurten voimalaitosten päästöistä. Saksalainen teollisuus luonnollisesti vastusti kyseistä lakia vedoten sen haitalliseen vaikutukseen maan kilpailukyvyille ja vaati, että samanlaiset normit tulisi ottaa käyttöön myös muualla Euroopassa. Länsi-Saksan esimerkin mukaisesti EY:ssä (nyk. EU) alettiinkin valmistella direktiiviä suurista voimalaitoksista, jonka myötä mm. voimalaitosten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjä rajoitettaisiin. Erityisesti Iso-Britannia ja eräät köyhemmät EY:n jäsenvaltiot vastustivat hanketta kustannussyihin vedoten. Viiden vuoden neuvottelujen jälkeen direktiivi hyväksyttiin vuonna 1988, tosin monin osin alkuperäisestä muuttuneena. Ison-Britannian osalta direktiivi edellyttää maan vähentävän käytössä olevien voimalaitostensa SO<sub>2</sub>-päästöjä 60 % vuoteen 2003 mennessä ja NO<sub>x</sub>-päästöjä 30 % vuoteen 1998 mennessä. Myös Ison-Britannian uuteen Ympäristönsuojelulakiin vuodelta 1990 on sisällytetty nämä tavoitteet, yhdessä BAT-määräysten kanssa.<sup>72</sup>

<sup>70</sup> Itse asiassa kustannusten nykyarvoa.

<sup>71</sup> Noina vuosina kaasun osuus nousi poikkeuksellisesti noin yhteen prosenttiin.

<sup>72</sup> Pearce & Brisson (1993); Newberry (1993).

EY:n voimalaitosdirektiivi ja Ison-Britannian uusittu ilmansuojelulaki, jossa mm. BAT-määräykset ovat tärkeässä asemassa, oletettavasti tulevat kohentamaan Ison-Britannian huonoa mainetta ilmansuojelussa. Newberry (1993) tutkimuksessaan toteaa, että uudet ilmansuojelumääräykset sekä Isossa-Britanniassa toteutettu sähkölaitosten yksityistäminen ja sähkömarkkinoiden avaaminen kilpailulle tulevat lisäämään selvästi kaasun käyttöä sähköä tuottavissa voimalaitoksissa Isossa-Britanniassa. Samoin savukaasupesureilla varustetut hiilivoimalat tulevat lisääntymään. Sen sijaan brittiläisen runsasrikkisen hiilen käyttö tulee vähenemään selvästi. Lisäksi brittiläisen ydinvoiman korkeat kustannukset tekevät siitä ei-halutun yksityistetyille sähkölaitoksille. Nanin Yhdysvaltoja koskevat havainnot ja Newberryn havainnot ovat samankaltaisia: Rikkipäästöjen rajoittaminen tekee kaasun houkuttelevaksi vaihtoehdoksi, kun taas hiilen käyttö tulee vähentymään. Koska hiili halpana polttoaineena tulee kuitenkin säilymään tärkeänä panoksena, siitä tuotettu sähkö tullaan tuottamaan puhtaammin menetelmin.<sup>73</sup>

## Hollanti

Hollanti on kyennyt vähentämään voimalaitostensa rikkipäästöjä tuotannon samanaikaisesti kasvaessa voimakkaasti. Myös typpipäästöt ovat 1980-luvulla vähentyneet. Hollanti kuuluu Ruotsin ja Länsi-Saksan ohella Euroopan kärkimaihin ilmansuojelussa. Voimalaitosten ympäristöllinen kehittyneisyys, erityisesti rikin osalta perustuu Hollannissa kaasun runsaaseen käyttöön. Tämän avulla on kyetty takaamaan vähäiset päästöt ilman, että ydinvoimaa tarvitsisi käyttää runsaasti. Ydinvoiman osuus Hollannin voimalaitoksissa on 1970-luvun puolesta välistä lähtien ollut noin 7 %, kun se muissa tarkasteltavista maissa oli vuonna 1989 yli viidesosan ja Ruotsissa jopa 66 prosenttia. Ydinvoiman vähäisyys ja hiilen käytön lisääntyminen ovat kuitenkin johtaneet Hollannissa siihen, ettei voimalaitosten typpipäästöjä ole kyetty vähentämään läheskään yhtä tehokkaasti kuin esimerkiksi Länsi-Saksassa tai Ruotsissa.

Kuten useimmissa muissakin Euroopan maissa, on Hollannissa ympäristöpolitiikka perustunut pääasiassa suorien ohjauskeinojen sekä vapaaehtoisten sopimusten käyttöön. Taloudellisia instrumentteja on käytetty vähän. Huhtikuusta 1988 lähtien on kuitenkin Hollannissa ollut käytössä ympäristövero useille polttoaineille, mm. öljylle, kaasulle ja hiilelle. Vero määräytyy polttoaineen tilavuuden tai painon mukaan.<sup>74</sup> Lisäksi öljyn ja hiilen kohdalla on käytössä 'porkkana', sillä öljyn tai hiilen käyttäjät, jotka saavuttavat tietyt päästörajat saavat osan verostaan takaisin. Tämä polttoaineen paino- tai tilavuusyksikköön perustuva energiavero, jonka käyttöä myös monet muut maat (ml. Suomi) ovat laajentaneet, ei kuitenkaan tarkkaan ottaen ole suoranainen päästövero, eikä sillä oletettavasti ole samaa tehokkuusominaisuutta (päästöjen vähentämisen ja teknologian ympäristöllisen kehittymisen mielessä) kuin puhtaalla päästöverolla (vrt. Ruotsin NO<sub>x</sub>-vero alla) tai USA:ssa käyttöön otetulla päästölupajärjestelmällä.<sup>75</sup>

<sup>73</sup> Myös Ympäristöministeriön (1991) Ekono Oy:llä teettämän selvityksen mukaan rikki- tai typpimaksun käyttöönotto Suomessa nostaisi huomattavasti hiilivoimalassa tuotetun sähkön hintaa. Sen sijaan maakaasuvoimalassa tuotetun sähkön hintaan päästömaksulla olisi pienin vaikutus.

<sup>74</sup> Oosterhuis & de Savornin Lohman (1994).

## Ruotsi

Ruotsissa on jo pitkään suhtauduttu vakavasti ilmansuojeluun ja päästöjen vähentämiseen. Kansainvälisissä ilmansuojelusopimuksissa Ruotsi on vapaaehtoisesti suostunut muita suurempiin päästöjen vähentämistavoitteisiin. Tämä on luonnollisesti lisännyt paineita myös ruotsalaiselle energiantuotannolle ja itse asiassa yhä pienempi osuus Ruotsin kaikista SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöistä onkin energiantuotantoperäisiä.

Voimalaitosten rikki- ja typpipäästöt ovat vuodesta 1975 lähtien laskeneet Ruotsissa nopeammin kuin missään, vaikka voimaloiden tuotanto onkin kasvanut useiden prosenttien vuosivauhtia. Ruotsalaisissa voimaloissa tuotetaan energiaa puhtaammin kuin muissa tarkasteltavissa maissa. Tähän on useita syitä. Ensinnäkin voimalaitostuotannon rakenne on päästöjen kannalta suotuisa. Vesi- ja ydinvoiman osuus on vuodesta 1975 lähtien ollut yli 80 prosenttia kaikista voimaloissa käytetyistä energiapanoksista. Näin ollen ei hiiltä ja muita saastuttavia energiapanoksia ole tarvinnut käyttää yhtä runsaasti kuin muissa tarkasteltavissa maissa. Toinen merkittävä tekijä on tehokkaat puhdistusmenetelmät. Ne voimalat, jotka tuotannossaan aiheuttavat päästöjä, ovat joutuneet puhdistamaan päästöjään entistä tehokkaammin. Kolmas tekijä on energiapanosten tehokas hyödyntäminen: kokonaisuutena ottaen on ruotsalaisten voimalaitosten hyötysuhde erittäin hyvä.

Vaikka Ruotsin voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus oli jo vuonna 1975 hyvin pieni, on voimalaitosten tuotantomenetelmät muuttuneet nopeasti ympäristöystävällisimmiksi rikki- ja typpipäästöjen osalta. Tämä tarkoittaa sitä, että voimalaitosten päästöt ovat murto-osa siitä mitä ne olisivat olleet ilman minkäänlaista teknologian ympäristöllistä kehitystä.

Myös Ruotsissa ympäristönsuojelu on pitkään perustunut pääosin määräyksiin sekä viranomaisohjaukseen, kun taas taloudellisten instrumenttien käyttö on ollut vähäisempää. 1990-luvun alussa Ruotsissa toteutettiin kuitenkin verouudistus, jonka yhteydessä veroinstrumenttien käyttöä laajennettiin myös ympäristönsuojeluun entistä enemmän. Verouudistuksessa käyttöönotetuista uusista veroista ympäristöveroiksi voidaan kutsua mm. hiilidioksidiveroa, rikkiveroa sekä NO<sub>x</sub>-veroa. Tammikuussa 1991 käyttöönotettu CO<sub>2</sub>-vero määräytyy polttoaineen tilavuuden tai painon mukaan ja sitä peritään mm. öljyltä, maakaasulta ja hiileltä. Samaan aikaan käyttöönotettu rikkivero peritään mm. hiileltä, turpeelta ja lämmitysöljyltä. Rikkivero määräytyy polttoaineen rikkipitoisuuden mukaan. Sekä hiilidioksidi- että rikkiveroon on kuitenkin mahdollista saada palautusta, mikäli verovelvollinen on ryhtynyt toimenpiteisiin rikki- tai CO<sub>2</sub>-päästöjen pienentämiseksi. Näin on haluttu luoda veroihin myös insentiivivaikutus tämänkaltaisille toimenpiteille. Hollannin verojärjestelmään verrattuna Ruotsin malli näyttäisi olevan tässä mielessä tehokkaampi.<sup>76</sup>

<sup>75</sup> Päästövero perustuu idealle, että saastuttaja maksaa veroa päästöjensä määrän mukaisesti.

<sup>76</sup> Kuten mainittua, myös Hollannin vero sisältää 'porkkanan', mutta sen insentiivivaikutus lienee vähäisempi. Tämä johtuu siitä, että Hollannissa veronpalautusta saa vasta, kun verovelvollinen on ylittänyt tietyn päästövähennämisen. Ruotsin malli puolestaan näyttäisi takaavan veronpalautuksen, jos päästöjä on vähennetty edes vähän.



Tammikuussa 1992 voimaantullut NO<sub>x</sub>-vero sen sijaan on puhdas päästövero, sillä kaikki yli 10 MW:n voimalaitokset, joiden vuosituotanto ylittää 50 GWh ovat joutuneet asentamaan mittauslaitteet typen oksideille. Mittalaitteiden avulla mitataan voimaloiden päästöjä ja näin määritellään vero. Veron suuruus on 40 kruunua jokaista päästettyä NO<sub>x</sub>-kiloa kohden.<sup>77</sup>

Teorian valossa tarkastellen ympäristöverojärjestelmään on kytkeytynyt vaikutus, joka suosii myös ympäristöystävällisemmän teknologian voimakkaampaa käyttöönottoa verrattuna aikaisemmin yleisesti suosittuun määrärajoitejärjestelmään. On siten oletettavaa, että teknologian ympäristöllinen kehitys on Ruotsissa myös tulevaisuudessa nopeaa.

Ruotsin energiantuotanto elää tällä hetkellä suuren epätietoisuuden tilassa, sillä Ruotsissa on kansanäänestyksellä päätetty luopua ydinvoiman käytöstä kokonaan ensi vuosituhaten alussa. Tosin päätöksen lopullisuudesta on vaikea sanoa vielä mitään, sillä ydinvoiman tilalle ei Ruotsissa ole löydetty vakavasti otettavaa vaihtoehtoa. Mikäli Ruotsi päättää kuitenkin luopua ydinvoimastaan, tarkoittaa se todennäköisimmin fossiilisten polttoaineiden käytön huomattavaa lisääntymistä. Tämä puolestaan mitä todennäköisimmin lisää Ruotsin rikki- ja typpipäästöjä, muun muassa.

Verouudistuksen ja ydinvoimapäätöksen lisäksi kolmas tekijä, joka muuttaa ratkaisevasti Ruotsin voimalaitostuotantoa, erityisesti sähköntuotantoa, on sähkömarkkinoiden avautuminen, joka näillä näkymin pitäisi toteutua vuoden 1996 alusta. Sähkömarkkinoiden avaaminen kilpailulle on ennen Ruotsia toteutettu mm. Isossa-Britanniassa ja Norjassa. Myös Suomen sähkömarkkinat avautuvat kilpailulle kesäkuussa 1995. Sähkömarkkinoiden avautumisella uskotaan olevan sähkön hintaa laskeva vaikutus kilpailun kiristymisen johdosta. Tämän jotkut uskovat lisäävän sähkön kulutusta, jolloin tietysti ympäristövaikutukset olisivat suuremmat. On kuitenkin paljon mahdollista, että kiristytvä kilpailu pakottaa yritykset panostamaan myös enemmän ympäristönsuojeluun, erityisesti kun myös verojärjestelmä Ruotsissa on pyritty rakentamaan siten, että sillä olisi myös tämänkaltainen insentiivivaikutus.

## **Japani**

Japanilaiset ovat jo pitkään ymmärtäneet ympäristönsuojelun merkityksen yhteiskunnan hyvinvoinnin kannalta. Syynä ovat olleet mm. eräät vakavat ympäristöongelmista johtuneet laajat sairaustapaukset 1950-1970-luvuilla, kuten Itai-Itai-tauti (cadmium-myrkytys), Minamatatauti (metyyli-elohopea-myrkytys), krooninen arsenikkimyrkytys sekä keuhkoastma. Japanissa astuikin vuonna 1967 voimaan ns. Peruslaki ympäristön saastumisen kontrolloinnista,<sup>78</sup> joka käsitti kaikki tärkeimmät ympäristöelementit. Lain periaate perustui ns. ympäristön laatustandardeille,<sup>79</sup> joita asetettiin myös viidelle yleiselle ilmansaasteelle, mm. rikin- ja typenoksideille. Vuotta myöhemmin, vuonna 1968 otettiin käyttöön lisäksi erillinen Ilmansuojelulaki. Kumpaankin lakiin on tehty

<sup>77</sup> Ruotsin verouudistuksesta, ks. Bohm (1994).

<sup>78</sup> Engl. *Basic Law for Environmental Pollution Control*.

<sup>79</sup> Engl. *environmental quality standards (EQS)*.

kahteen otteeseen merkittäviä lisäyksiä, jolloin myös uusia ilmansaasteita on otettu kontrollin piiriin (mm. typenoksidit) sekä uusia menetelmiä kontrolloida päästöjä on kehitetty. Eräs tällainen laajasti käytetty menetelmä on ns. alueellinen kokonaissaaste-kuormitus-systeemi<sup>80</sup> vakavista ilmanlaatuongelmista kärsivillä alueilla. Ensimmäiset tämänkaltaiset ratkaisut otettiin käyttöön vuonna 1974 mm. rikin oksideille ja vuonna 1982 typen oksideille. Tätä nykyä näitä alueellisia systeemejä on kaikkiaan 24:lle alueelle rikin oksidien osalta ja kolmelle alueelle typen oksidien osalta.<sup>81</sup> Japani kykenikin vähentämään kokonaisrikkipäästöjään noin viidesosaan vuodesta 1970 vuoteen 1989. Myös typpipäästöt laskivat 1970-luvulta.

Voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus on Japanissa erittäin pieni, samoin kuin Ruotsissa. Voimalaitosten rikki- ja typpipäästöt ovat tätä nykyä hyvin pieni osa Japanin kokonaispäästöistä ja aivan 1980-luvun loppupuolelle saakka Japani kykeni vähentämään voimalaitostensa rikki- ja typpipäästöjä merkittävästi. Näyttää tosin siltä, että kehitys on hidastumassa ja jopa taittumassa. Syynä on se, että japanilaisissa voimaloissa ovat tekniset ratkaisut SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentämiseksi viety huippuunsa, jolloin tuotannon kasvaessa päästöjen vähentäminen käy vaikeaksi. 1980-luvun loppupuolella voimalaitosten tuotanto kasvoi Japanissa nopeammin kuin missään muussa tarkasteltavista maista.

Yksi syy Japanin voimalaitosten pieniin päästöihin löytyy panosrakenteesta. Hiilen käyttö on moneen muuhun maahan verrattuna vähäistä ja kaasua käytetään runsaasti, mikä näkyy erityisesti pieninä rikkipäästöinä. Toinen syy vähäisiin päästöihin on matalat ominaispäästöt. Itse asiassa voimalaitosten ominaispäästöt (päästöt suhteessa potentiaalisesti päästöjä aiheuttavien panosten käyttöön) ovat pienimmät tarkasteltavista maista. Alhaiset ominaispäästöt implikoivat mm. laajaa puhdistusmenetelmien käyttöä japanilaisissa voimalaitoksissa. Esimerkiksi savukaasujen rikinpoistokapasiteetti vuonna 1991 oli yhteensä<sup>82</sup> 205 miljoonaa kuutiometriä tunnissa normaaliolosuhteissa (Nm<sup>3</sup>/h), kun kapasiteetti vuonna 1970 oli vain 5,4 miljoonaa Nm<sup>3</sup>/h.<sup>83</sup> Kapasiteetin käyttöönotto oli vilkkaimmillaan 1970-luvulla.<sup>84</sup>

Kolmas tekijä mikä on myötävaikuttanut japanilaisten voimalaitosten alhaisiin päästöihin on tehokkaat energiantuotantotavat. Japanilaisten voimalaitosten aggregaattihyötysuhde on hyvää tasoa vaikka se onkin jonkin verran laskenut 1970-luvulta. Energiantuotannon tehostaminen onkin ollut eräs japanilaisen energiateknologiapolitiikan tavoite ensimmäisestä öljykriisistä lähtien.

Japanilainen ympäristönsuojelupolitiikka (myös ilmansuojelussa) on perustunut pääasiassa määrärajoituksiin ja normiohjaukseen, johon BAT-määräykset ovat kuuluneet tärkeänä osana. Taloudellisia instrumentteja on käytetty vähän. Taloudellisista instrumenteista on käytetty lähinnä investointitukia, kuten verohelpotukset ja erityiset pois-

<sup>80</sup> Engl. *Area-Wide Total Pollutant Load Control System*.

<sup>81</sup> OECD (1994).

<sup>82</sup> Huom: Ei vain voimalaitosten kapasiteetti vaan kaikki käytössä oleva kapasiteetti (mm. teollisuudessa, jne.)

<sup>83</sup> Ts. kapasiteetti on kasvanut keskimäärin noin 18,9 % vuodessa.

<sup>84</sup> OECD (1994, 41).

to-oikeudet sekä matalakorkoiset lainat. Näiden lisäksi on suosittu yritysten vapaaehtoisia sopimuksia vähentää päästöjään. Kuten tämä tutkimus osoittaa ja kuten OECD (1994a, 101) toteaa, niin nämä ympäristönsuojelukeinot ovat osoittautuneet ympäristöllisesti tehokkaiksi. Kuitenkaan systemaattista tietoa toimenpiteiden kustannuksista ei ole saatavilla.

Yhteiskunnan panostus ympäristöystävällisten energiantuotantotapojen kehittämiseen on ollut eräs japanilaisen ympäristöpolitiikan keskeisiä päämääriä. Japani onkin hyötynyt ilmeisen paljon ilmansuojelupolitiikastaan muutenkin kuin puhtaamman ympäristön muodossa: Japanilaiset yritykset ovat maailman johtavia rikin- ja typenpoistolaitteistojen sekä tehokkaiden energiantuotantotapojen valmistajia.

Japanin esimerkki osoittaa hyvin sen, että ympäristökuormituksen täydellinen poistaminen on käytännössä mahdotonta. Syynä on teknologiarajoitteet, minkä vuoksi on hyväksyttävä tietty ympäristökuormitus. Vain kehittämällä tehokkaampia puhdistusmenetelmiä tai puhtaampia (ja taloudellisesti mielekkäitä) energiantuotantotapoja on mahdollista vähentää päästöjä entisestään, mikäli energiantuotannosta ja -käytöstä ei haluta luopua kokonaan. Onkin todennäköistä, etteivät Japanin voimalaitosten rikki- ja typpipäästöt tule enää lähitulevaisuudessa laskemaan yhtä nopeasti kuin 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa, ellei jotain uutta mullistavaa teknologiaa pystytä kehittämään, jolla nämä päästöt vähenisivät.<sup>85</sup> Päinvastoin, mikäli energiantuotanto kasvaa yhtä nopeasti kuin 1980-luvun lopussa, päästöt mieluumminkin lähtevät kasvuun.

## **Suomi**

Suomi on sitoutunut kansainvälisiin sopimuksiin sekä rikki- että typpipäästöjen vähentämiseen. Rikkipäästöjen kohdalla tilanne näyttää hyvältä (ks. myös kappale 6 jäljempänä), mutta typpipäästöt kasvoivat 1980-luvun alusta lähtien. Eräänä syynä on ollut voimalaitosten typpipäästöjen voimakas kasvu. Vuodesta 1977 voimalaitosten NO<sub>x</sub>-päästöt kaksinkertaistuivat vuoteen 1989 mennessä ja päästöt kasvoivat koko 1980-luvun lopun. Koska voimalaitospäästöt kasvoivat nopeammin kuin päästöt muista lähteistä, nousi voimalaitosten osuus kokonaistyppipäästöistä muutamalla prosenttiyksiköllä vuodesta 1977.

Syynä voimalaitosten typpipäästöjen kasvuun ovat olleet tuotannon voimakas kasvu, josta yhä suurempi osuus on tuotettu hiilellä ja muilla kiinteillä polttoaineilla (mm. turpeella). Ydinvoiman laajamittainen käyttöönotto ei näytä kompensoineen näistä syntyneitä päästöjä, mikä on yllättävää muiden maiden havaintojen perusteella. Itse asiassa typpipolttoaineiden käyttö voimaloissa väheni noin 25 prosenttiyksiköllä vuosien 1977 ja 1989 välisenä aikana, mutta kun yhä suurempi osuus näistä on hiiltä ja turvetta ovat vaikutukset päästöihin olleet selvät.

Ominaispäästöt typen osalta ovat Suomen voimaloissa kasvaneet voimakkaasti. Tämä johtunee osittain juuri siitä, että turpeen ja muiden kiinteiden polttoaineiden käyttöä

<sup>85</sup> On tietysti totta, että on jo olemassa ns. 'täysin puhtaita' energiantuotantoteknologioita, kuten aurinko- ja tuulienergia. Kuitenkin niiden kaupallinen käyttöönotto on vielä hyvin vähäistä ja rajoitettua. Japani on kehittänyt näitä energiamuotoja 1970-luvulta lähtien.

on lisätty ja osittain siitä, ettei voimaloiden ole tarvinnut huolehtia typenpoistosta. Voimalaitosten typen oksidipäästöjen rajoitukset ovat vasta vuodelta 1991. Tätä ennen ei voimalaitoksilla ole luonnollisestikaan ollut mitään pakottavaa tarvetta ryhtyä typen päästöjen vähentämiseksi.

Vaikka voimalaitostemme teknologian ympäristöllinen kuormittavuus ei olekaan aivan huono typpipäästöjen osalta, on kehitys 1980-luvulla ollut huolestuttava. Kun muut maat ovat pystyneet pienentämään ympäristöllistä kuormittavuutta, Suomessa on menty huonompaan suuntaan. Valtioneuvoston typen oksidien ohjearvojen ansiosta on todennäköistä, että 1990-luvun alussa voimalaitostemme ympäristöllinen kuormittavuus on kohentunut typen oksidien osalta. Kuinka paljon, se jää nähtäväksi. Voidaan kuitenkin todeta, että Suomi on monia vuosia myöhemmin asiassa aktiivinen kuin esimerkiksi Ruotsi, Japani tai Länsi-Saksa.

Kuten useimmissa muissa maissa, on myös suomalainen ympäristönsuojelu perinteisesti perustunut määrärajoitteisiin ja viranomaisohjaukseen. Käytäntönä on ollut, että viranomainen määrää yritysten ympäristönsuojeluvuorotteista laitoskohtaisesti. Vaikka systeemiin saattaa liittyä joitakin hyviä puolia, on suomalaisella lupasysteemillä myös monia haittapuolia. Hallinnolliseen säätelyyn liittyvät päätöksentekomenettelyt ovat usein varsin hitaita. Lisäksi kullekin laitokselle on useissa tapauksissa pitänyt hakea useita eri lupia. Taloudellisessakaan mielessä ei kyseinen menettely ole useinkaan kaikkein tehokkain, ja saattaa olla että systeemi on jopa vaikeuttanut teknologian ympäristöllistä kehittymistä.<sup>86</sup>

Suomen kohdalla edellä käyty tarkastelu jäi rikin osalta puutteelliseksi. Ongelmana on se, että Suomen rikkipäästöt ovat perinteisesti tilastoitu polttoaineittain eikä käyttötarkoitusten perusteella.<sup>87</sup> Kuitenkin eri polttoaineita käytetään eri tarkoituksissa. Voimalaitosten lisäksi eri polttoaineita käyttävät teollisuus, kotitaloudet, ym. sektorit omiin tarkoituksiinsa. Suomalaisen tilastoinnin vuoksi, ei voimalaitoksia ole siten voitu tarkastella omana ryhmänään. Jotta saisimme kuvaa siitä miten Suomessa teknologinen kehitys on vaikuttanut rikkipäästöihin, on seuraavassa luvussa tarkasteltu Suomen energiatalouden (voimalaitokset + muu energiantuotanto) ympäristöllisen kuormittavuuden kehitystä rikin oksidien osalta.

---

<sup>86</sup> Ks. Ympäristöministeriö (1991, 31-32).

<sup>87</sup> Ks. Tilastokeskus (1994, 97).

## 6 ENERGIATALOUDEN SO<sub>x</sub>-PÄÄSTÖT SUOMESSA

Koska OECD (1993a) on tilastoinut Suomen voimalaitosten ja polttoaineiden polton rikkipäästöt yhtenä lukuna, ei edellä kyetty tarkastelemaan erikseen miten teknologinen kehitys on Suomen voimalaitoksissa kehittynyt rikin osalta. Tässä osassa tarkastellaan teknologian ympäristöllistä kehitystä Suomessa voimalaitosten ja muun energiankäytön osalta yhdessä.<sup>88</sup> Liitteessä 1 on lisäksi vastaavat laskelmat esitetty muiden maiden osalta, Japania lukuun ottamatta.

Jatkossa sanalla energiatalous ymmärretään juuri voimalaitoksia sekä teollisuutta ja muita sektoreita, eli niiden käyttämiä energiapanoksia ja niiden aiheuttamia energiaperäisiä päästöjä.

### 6.1 Rikkipäästöjen kehitys

Liitteen 1 kuviossa L1 on esitetty Suomen voimalaitosten ja polttoaineiden polton rikkipäästöjen kehitys. Liitteessä on vertailun vuoksi esitetty myös tiedot muista maista. Alla olevassa taulukossa on yhteenveto päästöjen kehityksestä Suomessa. Päästöt kasvoivat maassamme 1970-luvulla noin viidenneksellä. 1980-luvulla päästöt lähtivät jyrkkään laskuun, vaikka muutamana vuonna ovat päästöt myös kasvaneet edellisestä vuodesta (vrt. kuvio L1). Vuodesta 1980 vuoteen 1989 päästöt laskivat kuitenkin huikeat 62 %. 1970-luvun alusta energiatalouden rikkipäästöt puolittuivat vuoteen 1989 mennessä.

Energiatalouden (voimalaitokset ja polttoaineiden poltto) rikkipäästöjen kehitys Suomessa. Muutos, %.						
70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89	70-89
10,9	11,9	-37,3	-39,1	24,1	-61,8	-52,6

**Taulukko 14.** Energiatalouden SO<sub>x</sub>-päästöjen muutos Suomessa, %.  
(Lähde: OECD, 1993a)

Verrattaessa Suomen kehitystä muihin maihin (ks. taulukko L1 ja kuvio L1), havaitaan että Suomi oli ainoa maa, jonka energiatalouden rikkipäästöt kasvoivat vuodesta 1970 vuoteen 1980. Muissa maissa päästöt lähtivät laskuun jo 1970-luvun alussa, Suomessa vuosikymmen myöhemmin. Kun esimerkiksi Ruotsin päästöt olivat vielä 1975 noin kolmanneksen suuremmat kuin Suomessa, vuonna 1980 kummankin maan

<sup>88</sup> Muulla energiakäytöllä tarkoitetaan tässä teollisuuden ja muiden sektoreiden (maatalous, kotitaloudet, kauppa, julkiset palvelut, yms.) energiankulutusta, paitsi sähkön ja lämmön kulutusta. Lisäksi liikenteen kuluttamaa energiaa ei lasketa tässä mukaan.

energiatalouden rikkipäästöt olivat yhtä suuret. Myös tämän jälkeen on Ruotsi kyennyt vähentämään päästöjään Suomea huomattavasti enemmän.

1980-luvulla Suomenkin päästöt lähtivät jyrkkään laskuun. Suomen päästöt laskivat vuodesta 1980 vuoteen 1989 noin 62 prosenttia, mikä on kansainvälisesti ottaen hyvä saavutus, ja vain hiukan vähemmän kuin Hollannissa, mutta kuitenkin toistakymmentä prosenttiyksikköä vähemmän kuin Ruotsissa ja Länsi-Saksassa. Sen sijaan USA:n ja Ison-Britannian vastaaviin lukuihin verrattuna Suomen päästöjen väheneminen oli selvästi suurempaa.

## 6.2 Energian kulutuksen kehitys

Voimalaitosten energiapanoskäyttöä tarkasteltiin kappaleessa 3.2, eikä siihen enää tässä palata yksityiskohtaisesti. Sen sijaan teollisuuden ja muiden sektoreiden energiakäyttöä on alla tarkasteltu Suomen osalta yksityiskohtaisemmin (kappale 6.2.1). Laskemalla voimalaitosten energiapanoskäytön sekä teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankulutuksen yhteen, saadaan lasketuksi energiatalouden päästöjä vastaava energiankulutus. Tämä on Suomen osalta esitetty kappaleessa 6.2.2. Muiden maiden osalta vastaavat tiedot on liitteessä 1.

### 6.2.1 Teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankäytön kehitys

Liitteen 1 kuviossa L2 on esitetty kunkin maan teollisuuden ja muiden sektoreiden energian kulutuksen kehitys polttoaineittain jaoteltuna. Suomessa vuonna 1970 näiden sektoreiden energiankulutuksesta peräti 59 % oli öljyä, mikä on kansainvälisesti ottaen melko suuri luku. Tarkasteltavista maista vain Ruotsissa öljyn kulutus oli suhteellisesti ottaen selvästi suurempaa ja Länsi-Saksan kanssa öljyn osuus kulutuksesta oli Suomessa samaa suuruusluokkaa kyseisillä sektoreilla. Vuodesta 1970 on öljyn käyttö Suomessa (kuten muuallakin) vähentynyt, ja vuonna 1989 öljy vastasi enää 44 prosenttia Suomen teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankulutuksesta. Suomessa kaasun ja muiden kiinteiden polttoaineiden käyttö on korvannut öljyn kulutusta. Myös hiilen käyttö on jonkin verran suurempaa kuin 1970-luvun alussa.

Kuten liitteen kuvioista L2 voi havaita, hiilen käyttö on teollisuudessa ja muilla sektoreilla hyvin vähäinen verrattuna sen käyttöön voimalaitoksissa. Sen sijaan öljy ja kaasu ovat merkittävimmät polttoaineet, ja Suomessa ja Ruotissa öljyn ohella myös muut kiinteät polttoaineet.

Liitteen taulukossa L2 on puolestaan esitetty yhteenvedona teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankäytön kehittyminen. Taulukossa 15 on esitetty kyseiset tiedot Suomen osalta erikseen. Lisäksi taulukossa on esitetty rikkipolttoaineiden osuus kaikista näiden sektoreiden kuluttamista polttoaineista.

1970-luvulla polttoaineiden kokonaiskäytössä ei Suomessa tapahtunut kokonaisuutena ottaen suuria muutoksia, mutta 1980-luvun alussa kulutus lähti selvään laskuun.<sup>89</sup> 1980-luvun jälkimmäisellä puoliskolla on kulutus jälleen kasvanut, mutta kokonaisuutena on energiankäyttö vuodesta 1970 laskenut hieman.

Yleinen trendi kussakin kuudessa maassa on ollut, että teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankulutus on laskenut vuodesta 1970 vuoteen 1989, yleensä keskimäärin noin yhden prosentin vuosivauhtia tai sen alle. Ruotsissa kulutus laski peräti reilut kolme prosenttia vuodessa. Hollannissa sen sijaan kulutus kasvoi keskimäärin prosentilla vuodessa 1970-luvun alusta. 1980-luvulla kussakin maassa kulutus on laskenut. Kuten aikaisemmin kappaleessa 3.2 todettiin, on voimalaitosten tuotanto kasvanut hyvin nopeasti, yleensä yli 3 prosenttia vuodessa vuodesta 1970. Tämä tarkoittaa sitä, että yhä enemmän teollisuuden ja muiden sektoreiden kuluttamasta energiasta on itse asiassa voimalaitosten tuottamaa energiaa.

Energiankulutuksen muutos, % p.a.							Rikkipolttoaineiden osuus kaikista, %				
70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89	70-89	1970	1975	1980	1985	1989
-0,1	0,1	-3,7	3,1	0,0	-0,7	-0,3	99,9	95,8	96,0	94,7	90,1

**Taulukko 15.** Teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankäytön kehitys keskimäärin % p.a.; ja rikkipolttoaineiden osuus teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankäytöstä, %; Suomi. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

Kaasun käytön hidas lisääntyminen on vähentänyt rikkipolttoaineiden osuuden Suomessa lähes 100 prosentista noin 90 prosenttiin vuodesta 1970 vuoteen 1989. Samanaikaisesti on öljyn suhteellinen käyttö vähentynyt huomattavasti, kuten edellä todettiin. Muiden kiinteiden polttoaineiden ja hiilen osuudet ovat vastaavasti kasvaneet.

## 6.2.2 Energiatalouden kehitys

Laskemalla voimalaitosten energiapanoskäytön (kappale 3.2.2) ja edellä esitetyn teollisuuden ja muiden sektoreiden primäärienergian kulutuksen (kappale 6.2.1) yhteen, voimme tarkastella energiatalouden kehittymistä. Liitteen 1 kuviossa L3 ja taulukossa L3 on esitetty nämä kunkin maan osalta erikseen. Taulukko 16 alla esittää yhteenvetdon Suomesta (vrt. taulukko L3 liitteessä 1).

Kokonaisuutena on eri energiapanosten käyttö suomalaisessa energiataloudessa kasvanut reilut kaksi prosenttia keskimäärin vuosittain vuodesta 1970 vuoteen 1989. Tämä

<sup>89</sup> Huomaa, ettei 1970-luvulta ole esitetty kuin kahden vuoden tiedot. Siten yksittäisten vuosien osalta kulutuksessa on saattanut hyvinkin tapahtua suuria heilahduksia.

on enemmän kuin muissa maissa, joissa kasvu on ollut selvästi vähäisempää. Isossa-Britanniassa kasvu on ollut jopa negatiivista. Suomessakin kehitys toki hidastui 1980-luvulla edelliseen vuosikymmeneen verrattuna, ja kasvu oli jopa Ruotsia hitaampaa (ks. taulukko L3).

Vuosina 1970 ja 1975 öljy vastasi yli puolesta kaikista Suomen energiatalouden energiapanoksista. Sitten on öljyn käyttö vähentynyt ja energiankulutus monipuolistunut energialähteiden osalta. Vuonna 1989 öljyt, muut kiinteät polttoaineet ja ydinvoima olivat merkittävimmät primäärienergiapanokset. Kunkin osuus oli reilu viidennes kaikista energiapanoksista. Hiilen osuus oli 1980-luvun lopussa selvästi alle 20 prosenttia, vesivoiman noin 5 prosenttia. Kaasun osuus on 1980-luvun lopussa yli 2-kertaistunut vajaasta neljästä prosentista vuonna 1985 yli kahdeksaan prosenttiin vuonna 1989.

Muihin maihin verrattuna on ydinvoiman ja vesivoiman osuus Suomessa suuri. Vain Ruotsissa niiden osuus on selvästi suurempi. Myös muiden kiinteiden polttoaineiden käyttö on yleistä. Sen sijaan kaasua käytetään Suomessa vielä vähän. Myös hiilen käyttö on vähäistä verrattuna hiilentuottajamaihin Yhdysvaltoihin, Länsi-Saksaan ja Isoon-Britanniaan.

Kulutuksen kehitys energiataloudessa, % p.a.							Rikkipolttoaineiden osuus, %				
70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89	70-89	1970	1975	1980	1985	1989
0,9	5,2	0,8	1,6	3,0	1,2	2,1	94,6	89,1	82,3	66,6	63,5

**Taulukko 16.** Primäärienergiälähteiden kulutuksen muutos energiataloudessa, % p.a.; ja rikkipolttoaineiden osuus kaikista energiatalouden primäärienergiälähteistä, %; Suomi. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

Rikkipolttoaineiden osuus oli Suomen energiataloudessa vuonna 1970 peräti 95 prosenttia. Tämä osuus laski vuoteen 1989 mennessä voimakkaasti, erityisesti 1980-luvun alussa, jolloin ydinvoimakapasiteetin käyttöönotto oli Suomessa voimakasta. Rikkipolttoaineiden osuus on kuitenkin edelleen muita maita, erityisesti Hollantia ja Ruotsia, suurempi. Suomen rikkipolttoaineista merkittävä osa on muita kiinteitä polttoaineita, eli lähinnä kotimaisia polttoaineita (esim. puu ja turve), kun taas hiiltä käytetään Suomessa suhteellisen vähän.

### 6.3 Ympäristöllinen kuormittavuus ja teknologinen muutos

Seuraavassa tarkastellaan energiatalouden ympäristöllistä kuormittavuutta sekä teknologista muutosta ympäristöystävällisemmäksi. On syytä huomauttaa, että tässä kappaleessa laskettu ympäristöllinen taso ole aivan samalla tavalla laskettu kuin voimalai-



tosten osalta laskettiin. Seuraavassa on ympäristöllinen taso laskettu suhteuttamalla energiatalouden päästöt niiden kuluttamaan *energiapanoskäyttöön*, kun taas voimalaitosten kohdalla laskettiin päästöt suhteessa *tuotantoon*. Ympäristöllinen taso on tässä laskettu siten seuraavan kaavan mukaisesti (vrt. kaava (3a) kappaleessa 1):

$$(3b) \quad T'_t = \frac{e_t}{I_t} = \left[ \frac{e}{I_p} \right]_t \times \left[ \frac{I_p}{I} \right]_t$$

Verrattuna kaavaan (3a) eroaa yllä oleva kaava siten, että hyötysuhteen käänteislukua kuvaava termi  $I/Q$  on jäänyt pois. Koska  $I/Q \approx 1$ , antaa kaavan (3b) laskutapa suurempia arvoja kuin kaava (3a). Näillä kahdella eri tavalla laskettua ympäristöllistä kuormittavuutta kuvaavaa suhdelukua ei pidä siten vertailla keskenään.

Koska hyötysuhde, ja siten myös  $I/Q$ , on kuitenkin pysynyt useimmissa maissa lähes muuttumattomana, erityisesti 1980-luvulla (ks. kappale 4.2), voidaan kaavoista (3a) ja (3b) laskettua muutosta ympäristöystävällisemmäksi pitää varsin vertailukelpoisina keskenään. Toisin sanoen, vaikka laskutavat antavat ei-vertailukelpoiset ympäristöllistä kuormittavuutta kuvaavat luvut, antavat ne silti hyvinkin vertailukelpoisia teknologian muutosta ympäristöystävällisemmäksi kuvaavia lukuja.

Liitteen 1 taulukossa L4 on esitetty tarkasteltavien kuuden maan energiatalouden ympäristöllinen kuormittavuus eri vuosina ja taulukossa L4 ja kuviossa L4 on esitetty myös energiatalouden muutos ympäristöystävällisemmäksi. Alla olevassa taulukossa on myös yhteenveto Suomesta.

Energiatalouden ympäristöllinen kuormittavuus, <sup>a</sup> 1000 tn/Mtoe					Muutos ympäristöystävällisemmäksi, % p.a. <sup>b</sup>			
1970	1975	1980	1985	1989	70-75	75-80	80-85	85-89
18,3	19,4	16,9	10,2	5,8	-1,1	2,8	9,7	13,1
a) Energiatalouden SO <sub>x</sub> -päästöt (1000 tn) per kulutettu energia (Mtoe). b) Eli ympäristöllisen kuormittavuuden muutoksen vastaluku.								

**Taulukko 17.** Energiatalouden ympäristöllinen kuormittavuus Suomessa (1000 tn/Mtoe); ja energiatalouden muutos ympäristöystävällisemmäksi (% p.a.)

Energiatalouden ympäristöllinen kuormittavuus rikkipäästöjen osalta on Suomessa ollut kansainvälisesti ottaen hyvää tasoa. Hollannissa ja Ruotsissa ympäristöllinen taso on ollut selvästi muita maita parempi ja Isossa-Britanniassa selvästi huonompi. Myös USA on 1980-luvulla jäänyt eurooppalaisia maita jälkeen ympäristöllisen tason kehitymisessä. Suomen ympäristöllinen taso on ollut jotakuinkin Länsi-Saksan tasoa, mutta 1980-luvun lopussa Länsi-Saksan ympäristöllinen taso läheni selvästi Hollannin ja Ruotsin vastaavia Suomen jäädessä jonkin verran jälkeen.

1970-luvulla Suomen energiatalouden muuttuminen ympäristöystävällisemmäksi oli vähäistä. Myös muissa maissa kehitys oli hidasta, mutta kuitenkin nopeampaa kuin

Suomessa. 1980-luvulla Suomessa, kuten monessa muussakin eurooppalaisessa maassa tapahtui kuitenkin muutos parempaan. Teknologinen kehitys ympäristöystävällisemmäksi alkoi kiihtyä. Erityisesti 1980-luvun loppupuolisko on Suomessa ollut nopean kehityksen aikaa (ks. kuvio L4).

Kuviosta L4 voi havaita, että 1980-luvun alussa teknologinen kehitys Suomessa oli muuten melko vaatimatonta (alle 10 % p.a.) paitsi vuonna 1982-1983. Tällöin kehitys oli yli 30 % vuodessa.<sup>90</sup> Kuviosta L3 voidaan havaita, että Suomessa ydinvoiman käyttöönotto 1980-luvun alussa oli voimakasta, jolloin fossiilisten polttoaineiden käyttö väheni selvästi. Mutta myös lainsäädännön vaikutus on ilmeinen: Suomen ilmansuojelulaki astui nimittäin voimaan vuoden 1982 loppupuolella. Tämä lienee vaikuttanut siten seuraavana vuonna hyvin voimakkaasti energiatalouden ympäristöystävälliseen kehittymiseen rikin osalta.

Vaikutus näyttää tosin jääneen aluksi hyvin lyhytaikaiseksi. Vuonna 1984-1985 kehitys oli jopa negatiivista. Tähän vaikutti se, että hiilen käyttö vuonna 1985 oli selvästi suurempaa kuin edellisvuonna (ks. kuvio L3). Vasta 1980-luvun loppupuolella kehitys muuttui pysyvämmän selvästi positiiviseksi. Tähän vaikutti merkittävästi vuonna 1986 mietintönsä jättäneen rikkitoimikunnan tekemät ehdotukset päästöjen rajoittamisesta. Rikkitoimikunta oli asetettu vuoden 1985 Helsingin rikkipöytäkirjan allekirjoittamisen yhteydessä tehtyjen päätösten toteuttamiseksi Suomessa. Rikkitoimikunnan ehdotuksia seurasi useita valtioneuvoston päätöksiä vuonna 1987 ja sen jälkeen. Vuonna 1987 valtioneuvosto antoi mm. päätökset kevyen polttoöljyn ja dieselöljyn rikkipitoisuudesta, kivihiiltä käyttävien voimalaitosten ja kattilalaitosten rikkidioksidipäästöjen rajoittamisesta, kivihiilen rikkipitoisuudesta sekä yleisistä ohjeista raskasta polttoöljyä käyttävien voimalaitosten ja kattilalaitosten rikkidioksidipäästöjen rajoittamisesta.<sup>91</sup> Vaikkei kaikki nämä päätökset astuneetkaan voimaan heti, on oletettavaa että ne ovat kuitenkin toimineet kehityksen liikkeellepanevana voimana.

#### 6.4 Voimalaitosten teknologisesta kehityksestä ympäristöystävällisemmäksi

Kuten kappaleissa 3-5 todettiin, emme kyenneet suoraan mittaamaan voimalaitosten muuttumista ympäristöystävällisemmiksi Suomessa (rikin osalta), johtuen siitä ettei Suomen osalta voimalaitosten rikkipäästöjä ole tilastoitu omana lukunaan. Tässä kappaleessa ja liitteessä 1 olemme kuitenkin laskeneet energiatalouden muuttumista ympäristöystävällisemmäksi, joka käsittää myös voimalaitokset. Voimmeko siis tehdä edellä esitetyn perusteella jotain päätelmiä koskien voimalaitoksia?

<sup>90</sup> Myös Ruotsin ja Hollannin arvot ovat tuona vuonna hyvinkin korkeat. Ruotsin havainto ei tosin ole mitenkään poikkeuksellisen suuri verrattuna maan muihin vuosiin 1980-luvun alussa. Myös Hollannissa ero muihin läheisiin havaintoihin on huomattavasti pienempi kuin Suomen kohdalla. On siten mahdollisesti vain sattumaa, että kunkin kolmen maan arvot sattuvat vuonna 1982-1983 olemaan 'poikkeuksellisen' suuret.

<sup>91</sup> Ympäristöministeriö (1991, 52-54).

Liitteen 1 kuvio L5 esittää USA:n, Länsi-Saksan, Ison-Britannian, Hollannin ja Ruotsin osalta sekä teknologisen kehityksen ympäristöystävällisemmäksi voimalaitoksissa että energiataloudessa. Kuten liitteen tekstissä todetaan, kehitystä kuvaavat käyrät ovat kussakin maassa hyvin samanlaisia voimalaitosten ja energiatalouden osalta. Kuitenkaan käyrien perusteella ei voi tarkasti päätellä mikä on kehitys voimalaitoksissa ollut verrattuna energiatalouden kehitykseen: käyrissä ei ole mitään systemaattista painotusta siten, että esimerkiksi voimalaitoskäyrä kulkisi energiatalouskäyrän yläpuolella tai alapuolella.

Jotain voimme toki käyrien perusteella päätellä koskien Suomen voimalaitoksia. Todennäköisesti Suomen voimalaitosten muutosta ympäristöystävällisemmäksi kuvaava käyrä olisi liitteen 1 kuvion L4 Suomen energiatalouden käyrää muistuttava. Eli luultavasti voimalaitostemme kehittyminen ympäristöystävällisemmäksi on ajoittunut 1980-luvun lopulle ja vuoteen 1982-1983, jolloin ilmansuojelulaki astui maassamme voimaan. Sen sijaan sen vertikaalisesta sijainnista emme voi tehdä liian pitkälle meneviä johtopäätöksiä.

## 6.5 Yhteenveto

Suomen energiatalouden (voimalaitokset ja polttoaineiden poltto) rikkipäästöt kasvoivat 1970-luvulla, jolloin myös teknologinen kehitys oli hidasta. Teknologinen kehitys 1980-luvun alussa käänsi kuitenkin päästöt lasku-uralle. Erityisesti vuonna 1983 ympäristöllinen kuormittavuus oli huomattavasti pienempi kuin edellisvuonna. Maamme ilmansuojelulaki vaikutti tähän merkittävästi. Toinen merkittävä teknologian kehittymisen jakso ajoittuu 1980-luvun lopulle, eli vuoden 1985 Helsingin rikkipöytäkirjan allekirjoittamisen jälkeiseen kauteen. Myös tällöin energiatalouden rikkipäästöjä alettiin rajoittamaan lainsäädännöllisesti määrätietoisesti.

Vaikka Suomen energiatalouden ympäristöllinen kuormittavuus on rikin osalta kansainvälisesti ottaen hyvää tasoa ja teknologinen kehityskin on ollut erityisesti 1980-luvun lopussa nopeaa, ei Suomi silti ole kummassakaan aivan kärkimaa. Ruotsissa ja Hollannissa ympäristöllinen taso on selvästi Suomea parempi, johtuen kaasun runsaasta käytöstä Hollannissa ja ydinvoiman käytöstä Ruotsissa. Teknologinen kehitys sen sijaan on Suomessa ollut Ruotsia hitaampaa ja 1980-luvun lopussa selvästi myös Länsi-Saksaa hitaampaa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 7.1 Tulokset

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin miten USA:n, Ison-Britannian, Länsi-Saksan, Hollannin, Ruotsin, Japanin ja Suomen sähkö-, lämpö- ja kaasuvoimaloissa on aggregaattitasolla otettu käyttöön ympäristöystävällisempää tuotantoteknologiaa rikin ja typen oksidipäästöjen kannalta. Suomessa tarkasteltiin rikin osalta myös energiataloutta voimalaitosten tilastoinnin kohdalla olleiden puutteellisuuksien vuoksi.

Muuttumista ympäristöystävällisemmäksi tarkasteltiin siten, että ensin laskettiin kunkin maan voimalaitoksille niiden *teknologian ympäristöllinen kuormittavuus*, joka saatiin laskemalla voimalaitosten päästöt suhteessa niiden tuotantoon. Mitä pienempi tämä luku on, sitä pienempi on kyseisen maan voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus. Vertaamalla sitten eri vuosina laskettua teknologian ympäristöllistä kuormittavuutta kuvaavia lukuja keskenään, ja laskemalla siinä tapahtuneet muutokset eri vuosien välillä, mitattiin *teknologisen muutoksen astetta ympäristöystävällisemmäksi*.

Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että Ruotsissa ja Japanissa voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus on muita maita pienempi. Tämä johtuu kahdesta asiasta. Ensinnäkin, kummassakin maassa voimalaitosten käyttämien energiapanosten rakenne on myötävaikuttanut siihen, että sekä  $SO_x$ - että  $NO_x$ -päästöt ovat olleet suhteellisesti ottaen pienet. Ruotsissa vesi- ja ydinvoiman laajamittainen käyttö sekä Japanissa näiden ohella myös kaasun käyttö ovat myötävaikuttaneet tähän. Lisäksi, hiilen käyttö kummassakin maassa, erityisesti Ruotsissa, on vähäistä verrattuna moneen muuhun maahan. Toiseksi, kummankin maan *ominaispäästöt* ovat hyvin pienet.<sup>92</sup> Matalat ominaispäästöt implikoivat mm. päästöjen puhdistusmenetelmien laajamittaista käyttöä. On siten selvää, että kummassakin maassa voimalaitosten päästöille on asetettu tiukat normit, jolloin päästöjä emittoivat voimalaitokset ovat olleet pakotettuja asentamaan tehokkaat puhdistuslaitteet  $SO_x$ - ja  $NO_x$ -päästöjen vähentämiseksi.

Myös Hollannissa ja Länsi-Saksassa voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus on hyvä verrattuna Isoon-Britanniaan ja USA:han, joissa voimalaitosten rikki- ja typpi-päästöt ovat huomattavan korkeat suhteessa niiden energiantuotantoon. Sekä USA:ssa ja Isossa-Britanniassa hiilen käyttö on erittäin runsasta sekä voimalaitosten päästönormit muita maita selvästi löysemät. Tästä johtuen ominaispäästöt ovat kummassakin maassa korkeat.

Suomessa voimalaitosten ympäristöllinen kuormittavuus on typpipäästöjen osalta tyydyttävä. Tämä johtuu ennen kaikkea tuotannon rakenteesta: Vesi- ja ydinvoiman osuus on yli puolet kaikista voimalaitosten energiapanoksista. Huolestuttavaa on kuitenkin se, että ympäristöllinen kuormittavuus on typen kohdalla maassamme kohonnut 1980-luvulla. Lisäksi ominaispäästöt olivat vuonna 1989 korkeimmat tutkituista seit-

<sup>92</sup> Ominaispäästöt = päästöt (1000 tn) per potentiaalisesti päästöjä aiheuttavien energiapanosten käyttö (Mtoe). Ks. kappale 4, erityisesti taulukko 7.

semästä maasta. Suomessa typen oksidien vähentämiseen ei olekaan panostettu siinä määrin kuin useimmissa muissa tutkimuksen maissa.

Teknologinen kehitys ympäristöystävällisemmäksi oli tutkimuksen mukaan nopeinta 1970- ja 1980-luvuilla Ruotsissa. Tätä kehitystä ovat vauhdittaneet ydinvoiman voimakas rakentaminen sekä ominaispäästöjen nopea lasku. Myös Hollannissa ja Länsi-Saksassa on teknologian ympäristöllinen kehitys ollut ajoittain voimakasta. Erityisesti 1980-luvun lopussa nousi Länsi-Saksa kehityksen kärkimaaksi.

Japanissa kehitys hidastui 1980-luvulla ja jäi selvästi eurooppalaisia maita jälkeen. Syynä lienee kuitenkin se, että voimalaitosten teknologian ympäristöllinen kuormittavuus on jo niin matala, ettei sitä voida enää merkittävästi parantaa lyhyellä aikavälillä. Tästä huolimatta on Japanin kehitys 1980-luvulla ollut selvästi nopeampaa kuin Ison-Britannian ja USA:n. Näissä kahdessa maassa on teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden pienentyminen ollut 1970- ja 1980-luvuilla vähäistä. Tosin USA:ssa rikin ominaispäästöjen kehitys 1970-luvulla oli selvästi nopeampaa kuin eurooppalaisissa maissa. 1970-luvulla USA olikin Eurooppaa edistyksellisempi monessa ympäristöasiassa, mutta 1980-luvulla on ilmansuojelun painopiste siirtynyt kiistatta Eurooppaan.

Kuten jo mainittiin, on Suomen voimaloissa kehitys mennyt typpipäästöjen osalta huonompaan suuntaan. Tämä on selvä takaisku Suomen maineelle edistyksellisenä ympäristönsuojelumaana. Mikäli Suomi aikoo pitää kiinni Sofiassa allekirjoittamastaan typpijulistuksen 30 %:n vähentämistavoitteestaan, on asialle tulossa kiire, sillä typpipäästöt eivät ole Suomessa 1990-luvun alussa laskeneet kovinkaan paljoa.<sup>93</sup> Rikkipäästöjen osalta kehitys on ollut parempi. Energiatalouden<sup>94</sup> ympäristöllinen kuormittavuus on selvästi pienentynyt 1980-luvulla ja kuormittavuus oli 1980-luvun lopussa aivan kelvollista tasoa.

Tämä tutkimus osoittaa sen, että teknologian ympäristöllisen kehityksen kannalta ympäristönsuojelumääräysten kiristyminen on erittäin tärkeässä asemassa. Monessa tapauksessa ympäristömääräysten kiristyminen tai uuden lain voimaantulo ovat antaneet selvän sykäyksen teknologian ympäristölliselle kehittymiselle. Itse asiassa olisi ollut hedelmällistä selvittää tarkemmin kunkin maan ympäristölainsäädännön kehittymistä, jolloin olisimme voineet saada tarkempaa tietoa ympäristömääräysten ja kehityssyökljen välisestä riippuvuudesta.

Vaikka kunkin maan oma lainsäädäntö on yritysten ympäristöystävällisyyttä ohjaava tekijä, kansainvälisten ympäristösopimusten vaikutus näyttää olevan tärkeä kunkin maan lainsäädännölle. Tutkimuksen seitsemän maan joukossa rikki- ja typpisopimusten allekirjoittaneet maat näyttävät myös toimineen useimmiten sopimusten hengen mukaisesti ja ei-allekirjoittaneita aktiivisemmin päästöjensä vähentämisessä, myös voimalaitoksissa ja energiataloudessa. Tosin tämän tutkimuksen ja NO<sub>x</sub>-päästöjen myöhemmän kehityksen valossa, Suomi ei näyttäisi kykenevän typpipöytäkirjan ja julistuksen kirjainta omalta osaltaan toteuttamaan. Yhtenä syynä on voimalaitosten ympäristöllisen kuormittavuuden kasvu ja sitä kautta päästöjen kasvu.

<sup>93</sup> Suomen päästöjen kehityksestä ks. OECD (1993a, 22) ja Tilastokeskus (1994, 99).

<sup>94</sup> Energiatalous = voimalaitokset + teollisuus ja muut sektorit.

Usein esitetään väite, että kilpailijamaita tiukemmat ympäristönormit heikentävät kyseisen maan kilpailukykyä ja ovat siten vahingollisia kansantaloudelle. Tutkiessaan ympäristöpolitiikan vaikutuksia Länsi-Saksassa ennen vuotta 1990, Wirl & Hoffmann (1993) toteavat,<sup>95</sup> että Länsi-Saksan ympäristömääräykset ovat aiheuttaneet suhteellisen pieniä menetyksiä BKT:lla mitattuna.<sup>96</sup> Luonnollisesti vaikutukset eri sektoreilla ovat eri suuria. Esimerkiksi energiantuotanto näyttäisi heidän tutkimuksensa mukaan kärsineen ympäristömääräyksistä Länsi-Saksassa suhteellisen paljon verrattuna muihin sektoreihin. Ympäristönormien kiristyminen siten edesauttaa enemmänkin rakennemuutosta, kuin vaikuttaa epäsuotuisasti talouteen.

On lisäksi myös mahdollista, että muita maita tiukemmat ympäristönormit voivat myös edesauttaa maan vientiä ja kansantaloutta. Esimerkiksi suurimmat ilmansuojelualan yritykset maailmassa ovat japanilaiset Mitsubishi ja Hitachi sekä ruotsalainen Fläkt. Myös saksalaiset yritykset ovat maailman johtavia ilmansuojelumarkkinoilla.<sup>97</sup> Vaikka nämä maat ovat yleensäkin metalli- ja konepajateollisuuden huippumaita, myös kilpailijamaita tiukemmat ilmansuojelumääräykset lienevät edesauttaneet ilmansuojeluteollisuuden kehittymisen maailman huipulle kyseisissä maissa. Japanin osalta tämän toteaa mm. OECD (1994, 45).<sup>98</sup>

## 7.2 Menetelmä

Tutkimuksen tulosten valossa käytetty tutkimusmenetelmä tuntuu antavan intuitiivisesti järkeviä tuloksia. Ruotsi, Japani, Hollanti ja Länsi-Saksa on tiedetty maiksi, joissa ilmansuojelulle on annettu suuri painoarvo, kun taas Isossa-Britanniassa ja USA:ssa nämä asiat ovat olleet vähemmän tärkeitä, erityisesti 1980-luvulla. Useissa muissakin yhteyksissä on esitetty, että ympäristönsuojelumääräysten kiristyminen luo paineita ympäristönsuojeluinvestointeihin. Myös tämä tutkimus osoittaa näin tapahtuneen.

Se, mikä käytetyssä menetelmässä voi kuitenkin aiheuttaa kritiikkiä on ensinnäkin sen aggregatiivinen luonne. Tutkimus on tehty aggregaattitasolla kaikista voimalaitoksista pyrkimättä erottelemaan eri voimalaitoksia niiden teknisten ominaisuuksien, yms. perusteella. Voidaan hyvinkin esittää kritiikkiä tämän kaltaiselle tutkimukselle. Mutta koska tutkimuksen tarkoitus oli verrata eri maita keskenään, on menetelmä perusteltua käyttää. Menetelmän avulla on mahdollista selvittää eri maissa tapahtunutta teknologiympäristöllistä ja kehitystä, miten kehitys on ajoittunut, ja verrata eri maiden kehityksiä toisiinsa. Tämä tutkimuksen päällimmäinen tarkoitus alunperin olikin.

<sup>95</sup> Heidän tarkasteluajanjaksonsa vastaa siten tämän tutkimuksen tarkasteluperiodia.

<sup>96</sup> Myös OECD (1993b, 107) esittää vastaavanlaisen väitteen koskien Saksan ympäristömääräyksiä ja niiden kansantaloudellisia vaikutuksia.

<sup>97</sup> European Commission (1994, 58).

<sup>98</sup> Myös OECD (1993b, 107) toteaa, että Saksan tiukat ympäristömääräykset ovat edesauttaneet saksalaiset yritykset maailman ympäristöteollisuuden kärkeen.

Toinen, varsin perusteltu kritiikki on se, että tämä tutkimus on painottanut liiaksi vain kehitystä ympäristön kannalta, muttei ole selvittänyt eri maiden osalta kustannuksia ja hyötyjä joita kyseiset ympäristönsuojelutoimet ovat aiheuttaneet. Onhan toki niin, ettei kaikissa maissa ole optimaalista esimerkiksi vähentää päästöjä samalle tasolle, vaan joissain maissa päästöt voivat olla korkeammat kuin esimerkiksi sellaisessa maassa, jonka maaperä on altis happamoitumiselle. Kustannusten ja hyötyjen puuttumista voidaan perustella kahdella seikalla. Ensinnäkin, näiden kustannusten ja hyötyjen määrittäminen olisi ollut kohtuuttoman työlästä. Ne olisi pitänyt määrittää kullekin seitsemälle maalle, kunakin ajanhetkenä ja kummallekin saasteelle erikseen. Toiseksi, kustannusten ja hyötyjen puuttumista voidaan perustella sillä, ettei missään maassa ympäristöpolitiikka ole perustunut systemaattisesti kustannusten tai hyötyjen määrittämiselle, vaan lähtökohtana on ollut määrittää jokin ympäristön saastumista koskeva hyväksyttävä taso, joka on perustunut enemmänkin luonnontieteellisille kuin taloudellisille suureille. Itse asiassa on mahdollista, ettei tässä tutkimuksessa käytetty menetelmä soveltuisikaan kovin helposti taloudelliselle tarkastelulle, vaan johdannon alussa mainittu etäisyysfunktio tarkastelu voisi olla kannattavampi lähestymistapa taloudellisten seikkojen tarkasteluun.

## LIITE 1. ENERGIATALOUDEN SO<sub>x</sub>-PÄÄSTÖT JA TEKNOLOGIAN YMPÄRISTÖLLINEN KEHITYS

Tässä liitteessä on esitetty laskelmat tarkasteltavien maiden energiatalouden rikin oksidipäästöistä sekä teknologisen kehityksen vaikutuksesta niihin. Tämän liitteen tietoja on käytetty hyväksi kappaleessa 6, missä on tarkasteltu Suomen energiatalouden rikkipäästöjä ja teknologian ympäristöllistä kehitystä. Japania ei tämän liitteen tarkastelussa ole mukana maan päästötietojen puutteellisuuksien ja vaikean vertailukelpoisuuden vuoksi.

### 8.1 Energiatalouden päästöt

Energiatalouden päästöillä ymmärretään päästöjä voimalaitoksista sekä polttoaineiden poltosta (ks. tarkemmin liite 2). Polttoaineiden poltosta syntyvät päästöt ovat päästöjä, joita syntyy kun teollisuus, kotitaloudet, maatalous, yms. sektorit kuluttavat energiaa toiminnoissaan. Liikenteen päästöjä ei näihin lueta.

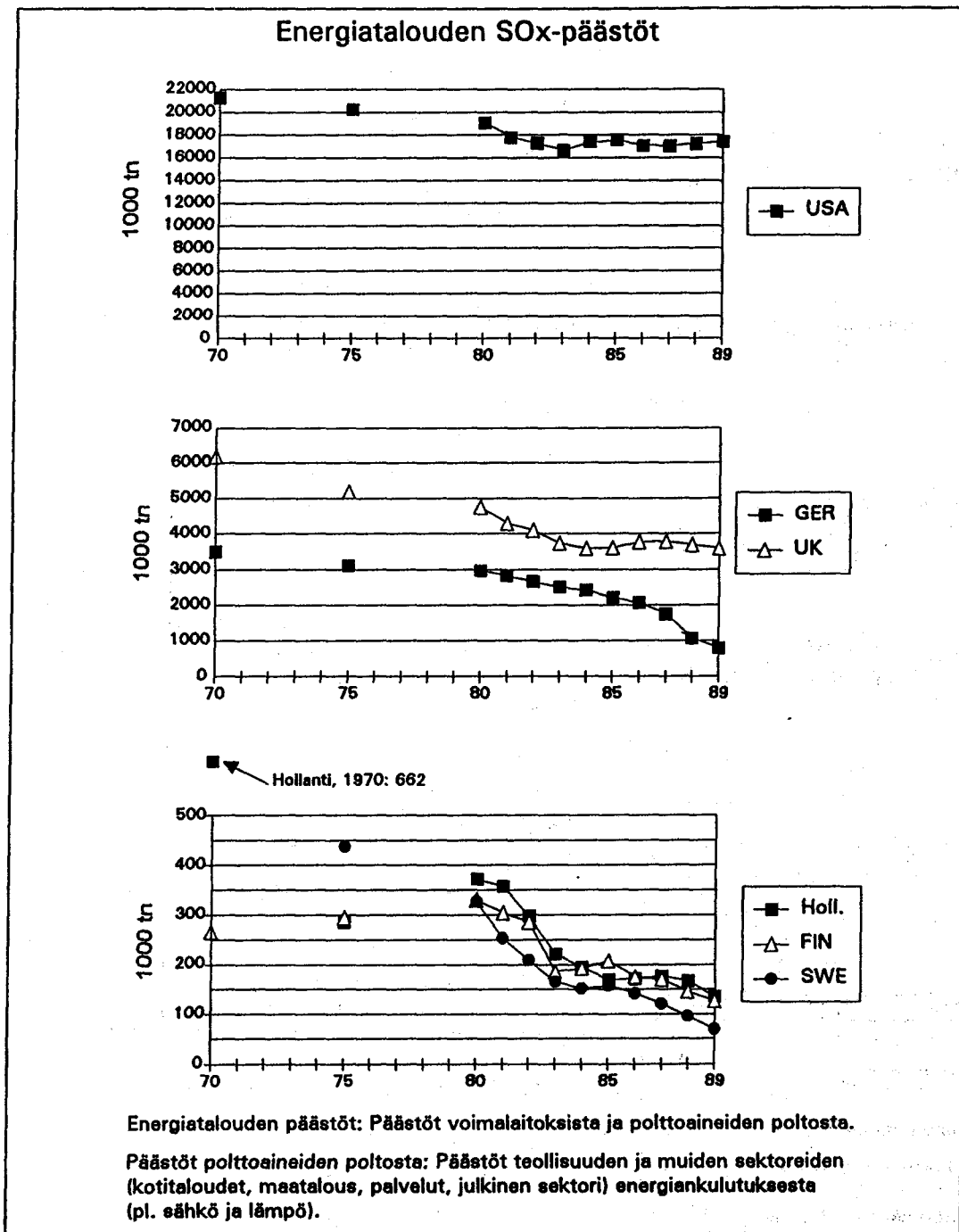
Seuraavalla sivulla olevassa kuviossa on esitetty kunkin kuuden maan energiatalouden päästöjen kehitys. Alla olevaan taulukkoon on lisäksi tehty yhteenveto päästöjen suhteellisesta kehityksestä.

Energiatalouden (voimalaitokset ja polttoaineiden poltto) rikin oksidipäästöjen kehitys. Muutos, %.							
Maa	70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89	70-89
USA	-5,0	-5,6	-8,0	-0,9	-10,3	-8,8	-18,2
Länsi-Saksa	-11,4	-4,2	-25,7	-64,0	-15,1	-73,3	-77,3
Iso-Britannia	-16,2	-8,4	-24,2	-0,5	-23,2	-24,6	-42,2
Hollanti	-56,9	30,5	-54,3	-20,6	-43,8	-63,7	-79,6
Suomi	10,9	11,9	-37,3	-39,1	24,1	-61,8	-52,6
Ruotsi	n.a.	-25,2	-52,0	-56,1	n.a.	-78,9	n.a.

n.a. = ei tietoa.

**Taulukko L1.** Energiatalouden SO<sub>x</sub>-päästöjen kehitys. Muutos, %. (Lähde: OECD, 1993a)

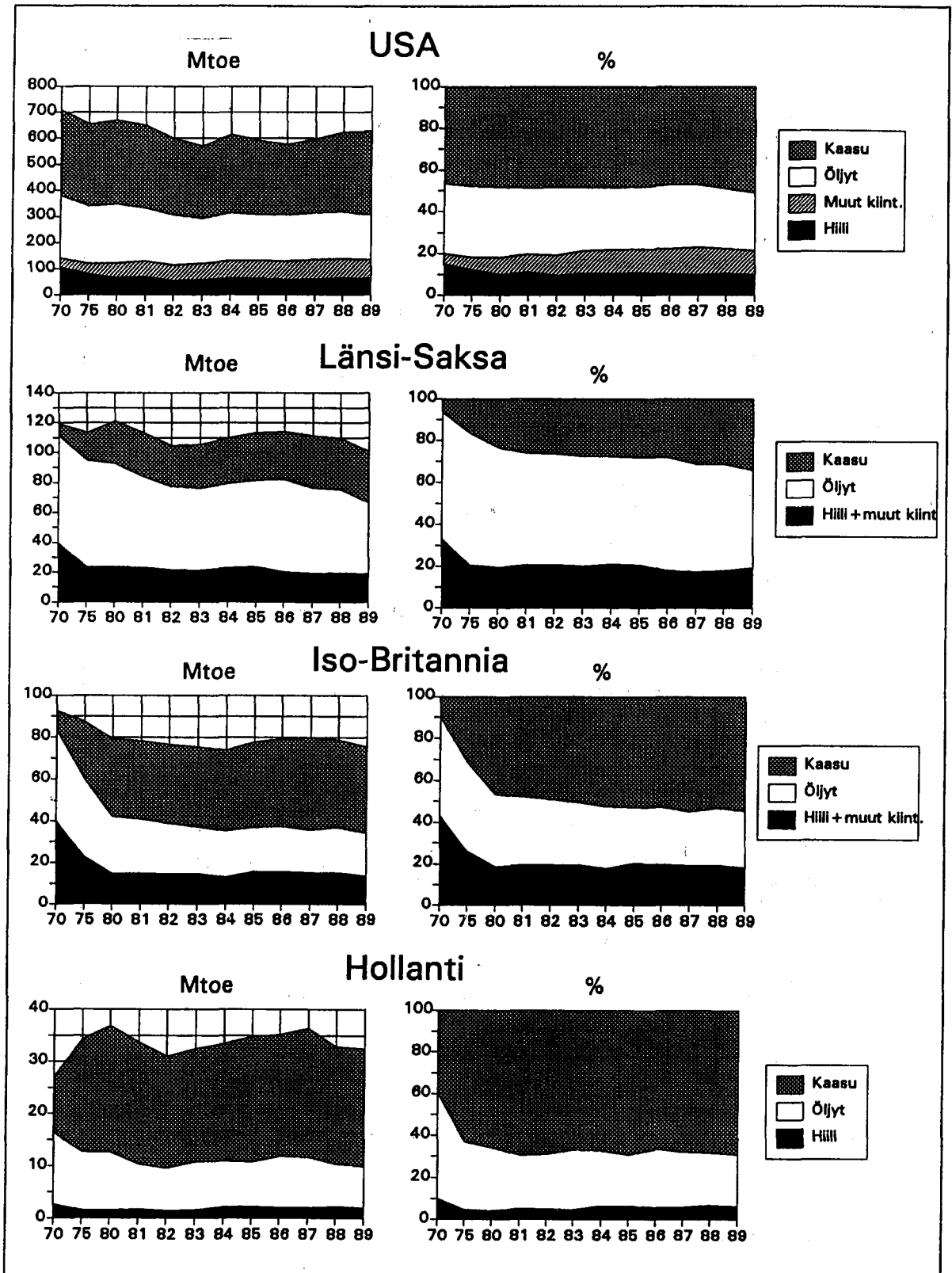




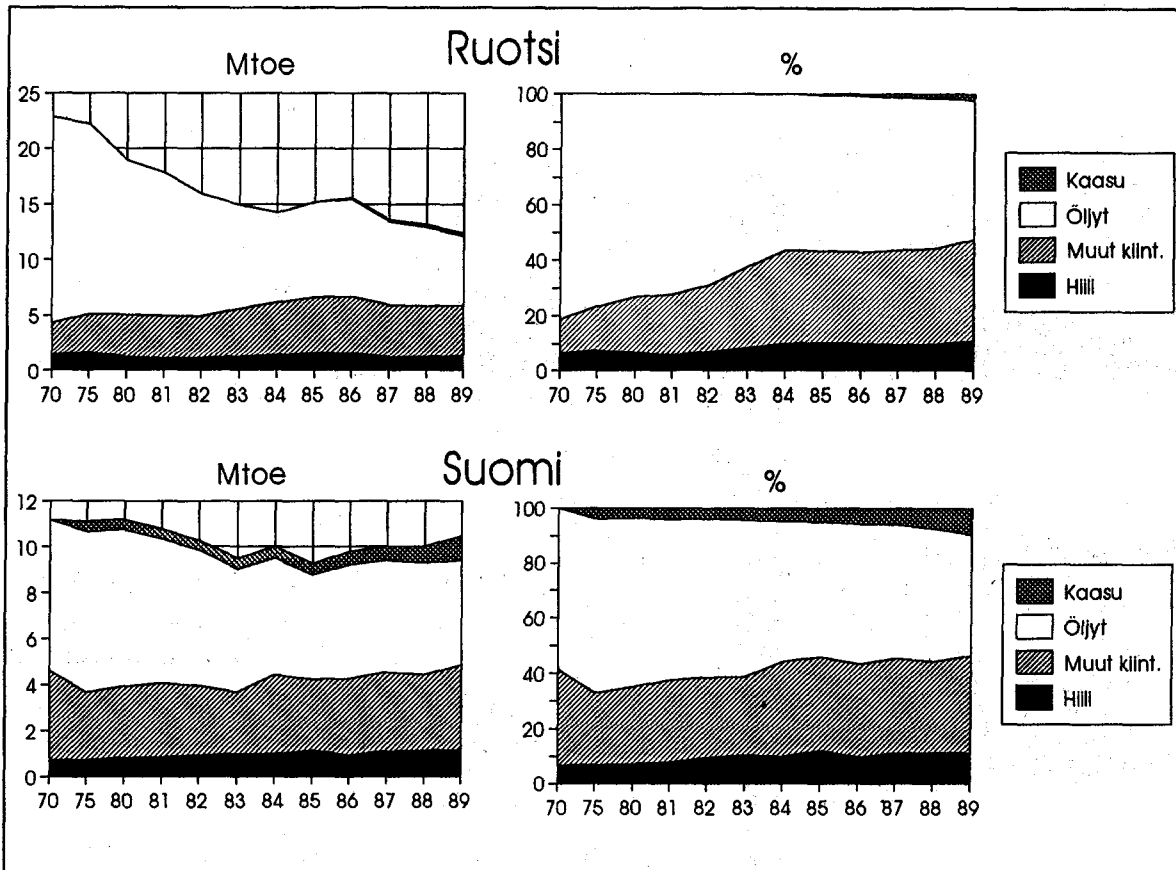
**Kuvio L1.** Energiatalouden SO<sub>x</sub>-päästöt vuosina 1970-1989, 1000 tn. (Lähde: OECD, 1993a)

## 8.2 Teollisuuden ja muiden sektoreiden energian käytön kehitys

Polttoaineiden poltosta syntyneet päästöt aiheutuvat teollisuuden, kotitalouksien, maatalouden, palveluelinkeinojen, yms. käyttämien primäärienergiälähteiden käytöstä. Seuraavilla sivuilla olevassa kuviossa on esitetty näiden sektoreiden energiankäyttö eri polttoaineittain jaoteltuna. Huomaa, ettei kuvion luvuissa ole luonnollisestikaan mukana liikenteeseen käytettyä energiaa.



**Kuvio L2.** Teollisuuden ja muiden sektoreiden (maatalous, kauppa ja julk. palvelut, kotitaloudet, ym.) energian kulutus. Mtoe ja %, 1970-1989. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)



**Kuvio L2. (jatk.)** Teollisuuden ja muiden sektoreiden (maatalous, kauppa ja julk. palvelut, kotitaloudet, yms.) energian kulutus. Mtoe ja %, 1970-1989. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

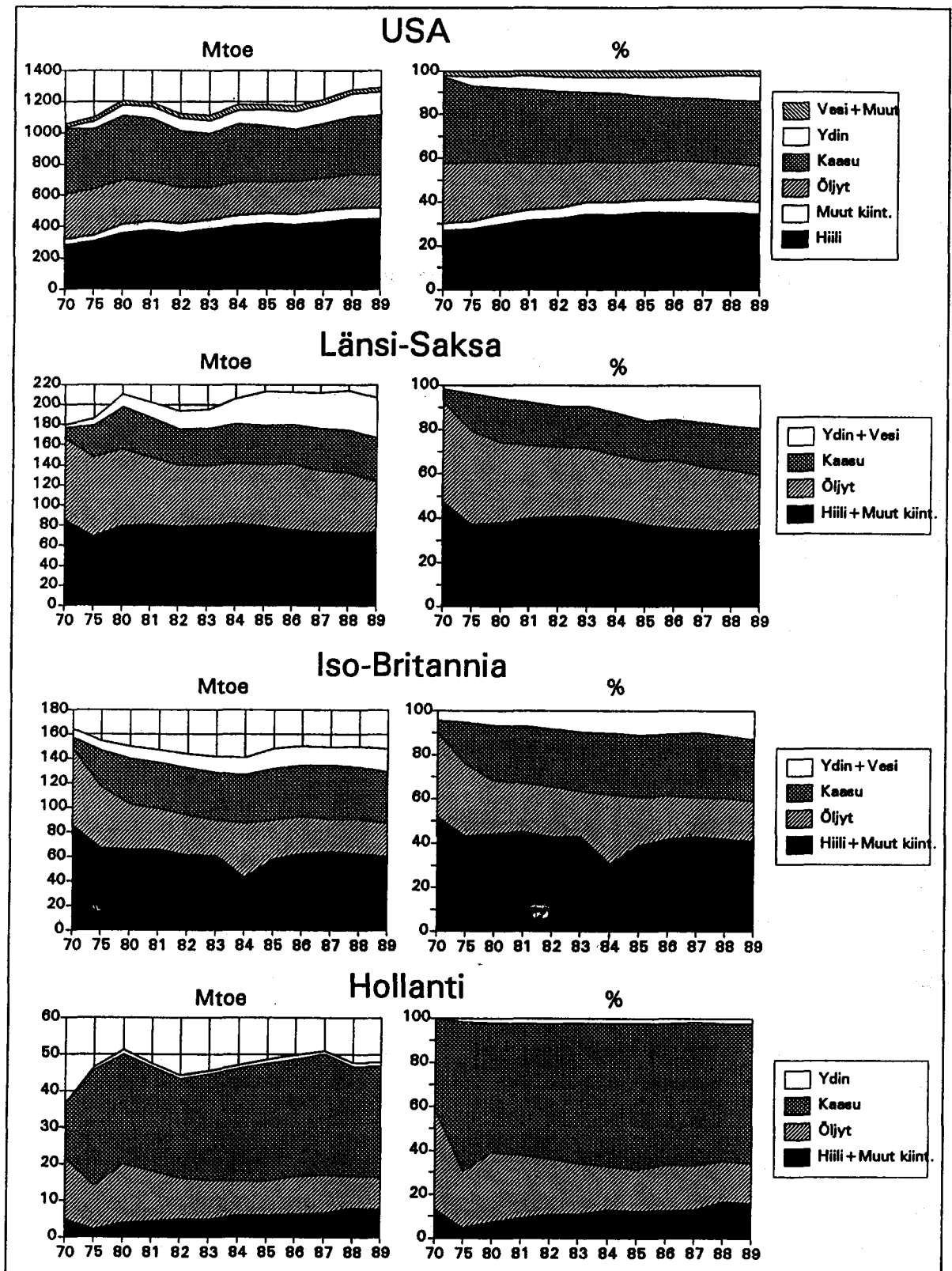
Alla olevaan taulukkoon on tehty yhteenveto teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankäytön kehityksestä.

Maa	Energiankulutuksen keskimääräinen vuosimuutos, % p.a.						
	70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89	70-89
USA	-1,7	0,5	-2,4	1,4	-0,6	-0,7	-0,7
Länsi-Saksa	-1,0	1,3	-1,3	-2,8	0,1	-2,0	-0,9
Iso-Britannia	-1,2	-1,9	-0,4	-0,7	-1,5	-0,5	-1,1
Hollanti	4,8	1,5	-1,1	-1,8	3,1	-1,4	1,0
Ruotsi	-0,6	-3,1	-4,4	-5,0	-1,8	-4,6	-3,2
Suomi	-0,1	0,1	-3,7	3,1	0,0	-0,7	-0,3

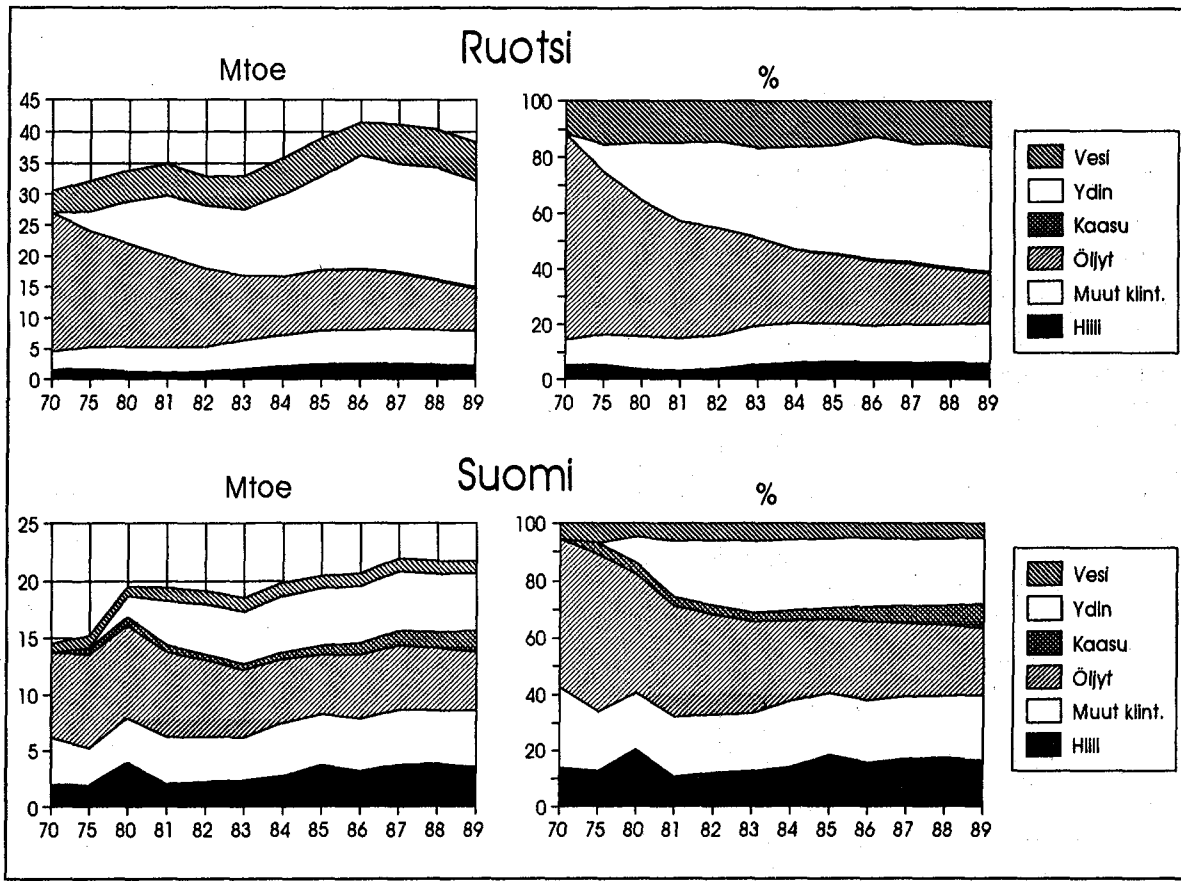
**Taulukko L2.** Teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankulutuksen keskimääräinen vuosimuutos, % p.a. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

### 8.3 Energiatalouden energian kulutus

Yhdistämällä voimalaitosten panoskäytön ja teollisuuden ja muiden sektoreiden energian kulutuksen, saadaan voimalaitosten ja polttoaineiden poltosta syntyviä päästöjä vastaava energiankulutus. Tämä on esitetty kuviossa L3.



Kuvio L3. Eri primäärienergiälähteiden kulutus voimalaitoksissa sekä teollisuudessa ja muilla sektoreilla. (Lähde: OECD, 1991a ja 1991b)



**Kuvio L3. (jatk.)** Eri primäärienergiälähteiden kulutus voimalaitoksissa sekä teollisuudessa ja muilla sektoreilla. (Lähde: OECD, 1991a ja 1991b)

Alla olevaan taulukkoon on tehty yhteenveto energiatalouden primäärienergiapanosten kulutuksesta. Taulukossa näkyy myös rikkipolttoaineiden osuus energiataloudessa.

Maa	Primäärienergian kulutuksen keskimääräinen vuosimuutos, % p.a.							Rikkipolttoaineiden osuus kaikista, %				
	70-75	75-80	80-85	85-89	70-80	80-89	70-89	1970	1975	1980	1985	1989
USA	0,8	1,9	-0,4	2,2	1,3	0,8	1,1	57,6	58,2	58,1	58,2	56,5
Länsi-Saksa	0,7	2,5	0,3	-0,7	1,6	-0,2	0,8	92,4	79,4	74,1	66,1	59,6
Iso-Britannia	-1,2	-0,6	-0,3	0,0	-0,9	-0,1	-0,5	89,8	75,8	68,3	60,8	58,9
Hollanti	4,9	1,9	-1,0	-0,4	3,3	-0,7	1,4	59,0	30,6	39,2	31,6	34,4
Ruotsi	1,0	1,0	2,9	-0,5	1,0	1,4	1,2	88,3	74,9	64,6	45,2	38,3
Suomi	0,9	5,2	0,8	1,6	3,0	1,2	2,1	94,6	89,1	82,3	66,6	63,5

**Taulukko L3.** Primäärienergiälähteiden kulutuksen muutos energiataloudessa (voimalaitokset sekä teollisuus ja muut sektorit), % p.a.; ja rikkipolttoaineiden osuus kaikista energiatalouden primäärienergiälähteistä, %. (Lähteet: OECD, 1991a ja 1991b)

#### 8.4 Ympäristöllinen kuormittavuus ja teknologinen muutos

Voimalaitoksia tarkasteltaessa kappaleissa 3-5 ympäristöllinen kuormittavuus laskettiin suhteuttamalla voimalaitosten päästöt niiden *tuottamaan energiaan*. Tässä liitteessä ja kappaleessa 6, joissa tarkastellaan energiataloutta, päästöt suhteutetaan kuitenkin käytettyihin *energiapanoksiin*. Tarkkaan ottaen nämä eivät siten kuvaa samalla tavalla laskettua ympäristöllistä kuormittavuutta. Tämä voidaan kaavamuodossa nähdä kaavasta (3a) sivulla 4. Voimalaitosten osalta ympäristöllinen kuormittavuus,  $T$ , on siis päästöt per tuotanto ( $e/Q$ ), kun taas nyt energiatalouden kohdalla ympäristöllinen kuormittavuus on päästöt per panoskäyttö ( $e/I$ ). Kaavassa (3a) tämä tarkoittaa sitä, että hyötysuhteen käänteisluku ( $I/Q$ ) on jätetty tulolausekkeesta pois.

Kuitenkaan ympäristöllisen kuormittavuuden muutokseen  $I/Q$ :n poisjättäminen ei juurikaan vaikuta, mikäli hyötysuhde on pysynyt muuttumattomana. Kuten kappaleessa 4.2 todettiin, niin hyötysuhde on useimmissa maissa ollut hyvin vakaa, erityisesti 1980-luvulla (ks. taulukko 9). Siten alla esitetty energiatalouden ympäristöllisen kuormittavuuden muutos on hyvin vertailukelpoinen kappaleessa 5 esitettyyn voimalaitosten ympäristöllisen kuormittavuuden muutokseen (rikkipäästöjen osalta).

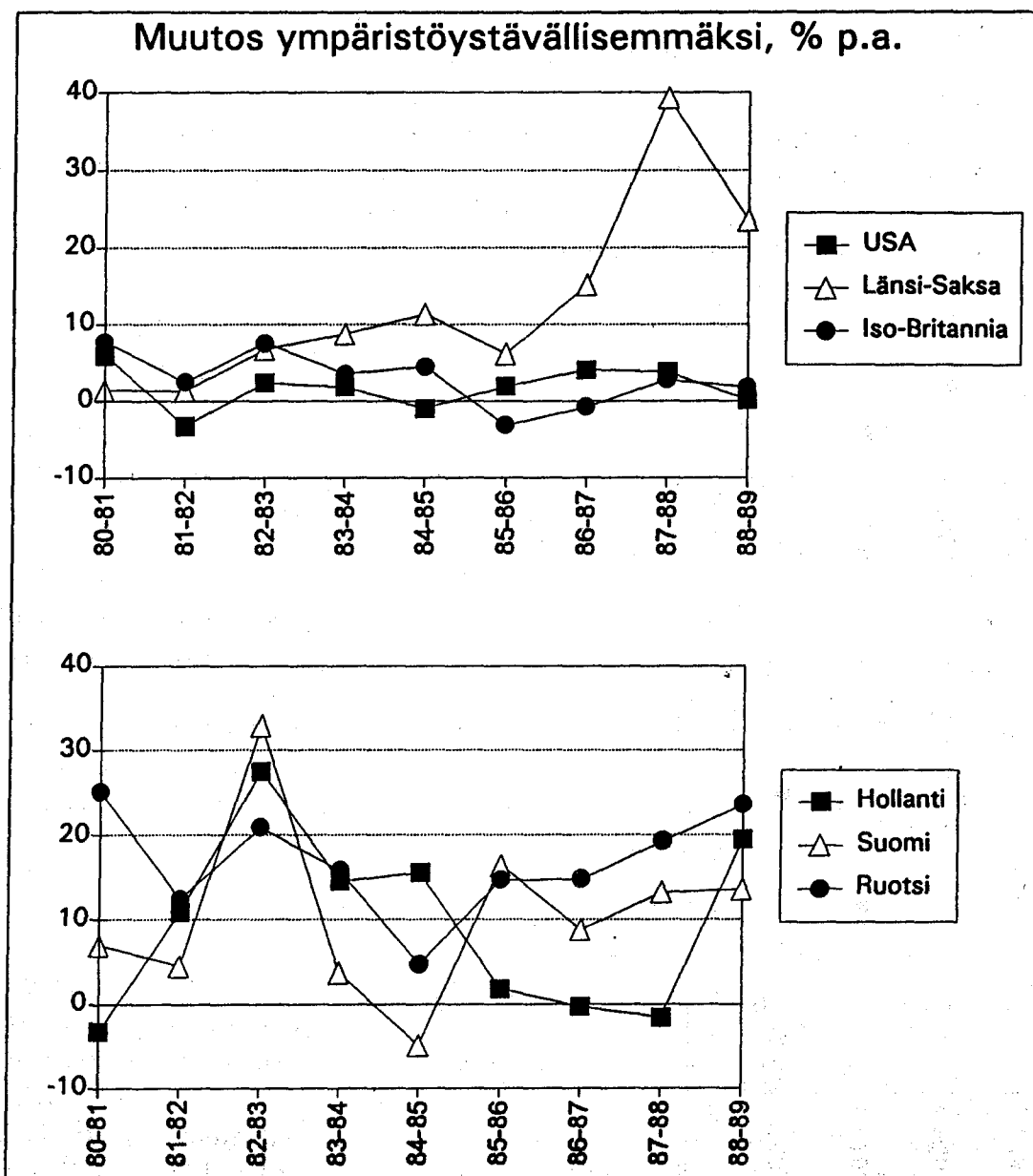
Alla olevassa taulukossa on esitetty kunkin maan energiatalouden ympäristöllinen kuormittavuus ja sen keskimääräinen vuosimuutos. Ympäristöllinen kuormittavuus on laskettu nyt siis suhteuttamalla energiatalouden  $SO_x$ -päästöt energiataloudessa käytettyyn energiaan.

Maa	Energiatalouden ympäristöllinen kuormittavuus, <sup>a</sup> 1000 tn/Mtoe					Muutos ympäristöystävällisemmäksi, % p.a. <sup>b</sup>			
	1970	1975	1980	1985	1989	70-75	75-80	80-85	85-89
USA	20,1	18,4	15,8	14,9	13,5	1,8	3,0	1,2	2,5
Länsi-Saksa	19,5	16,6	14,1	10,3	3,8	3,1	3,3	6,0	22,0
Iso-Britannia	37,6	33,5	31,6	24,3	24,1	2,3	1,2	5,2	0,2
Hollanti	18,1	6,1	7,3	3,5	2,8	19,5	-3,5	13,6	5,3
Suomi	18,3	19,4	16,9	10,2	5,8	-1,1	2,8	9,7	13,1
Ruotsi	n.a.	13,6	9,7	4,0	1,8	n.a.	6,6	16,1	18,2

a) Energiatalouden  $SO_x$ -päästöt (1000 tn) per käytetty energia (Mtoe).  
b) Eli ympäristöllisen kuormittavuuden muutoksen käänteisluku.  
n.a. = ei tietoa.

**Taulukko L4.** Energiatalouden ympäristöllinen kuormittavuus (1000 tn/Mtoe); ja energiatalouden muutos ympäristöystävällisemmäksi (% p.a.).

Seuraavalla sivulla olevassa kuviossa on tarkasteltu energiatalouden muuttumista ympäristöystävällisemmäksi 1980-luvulla. Tarkastelu on siinä esitetty vuositasolla.



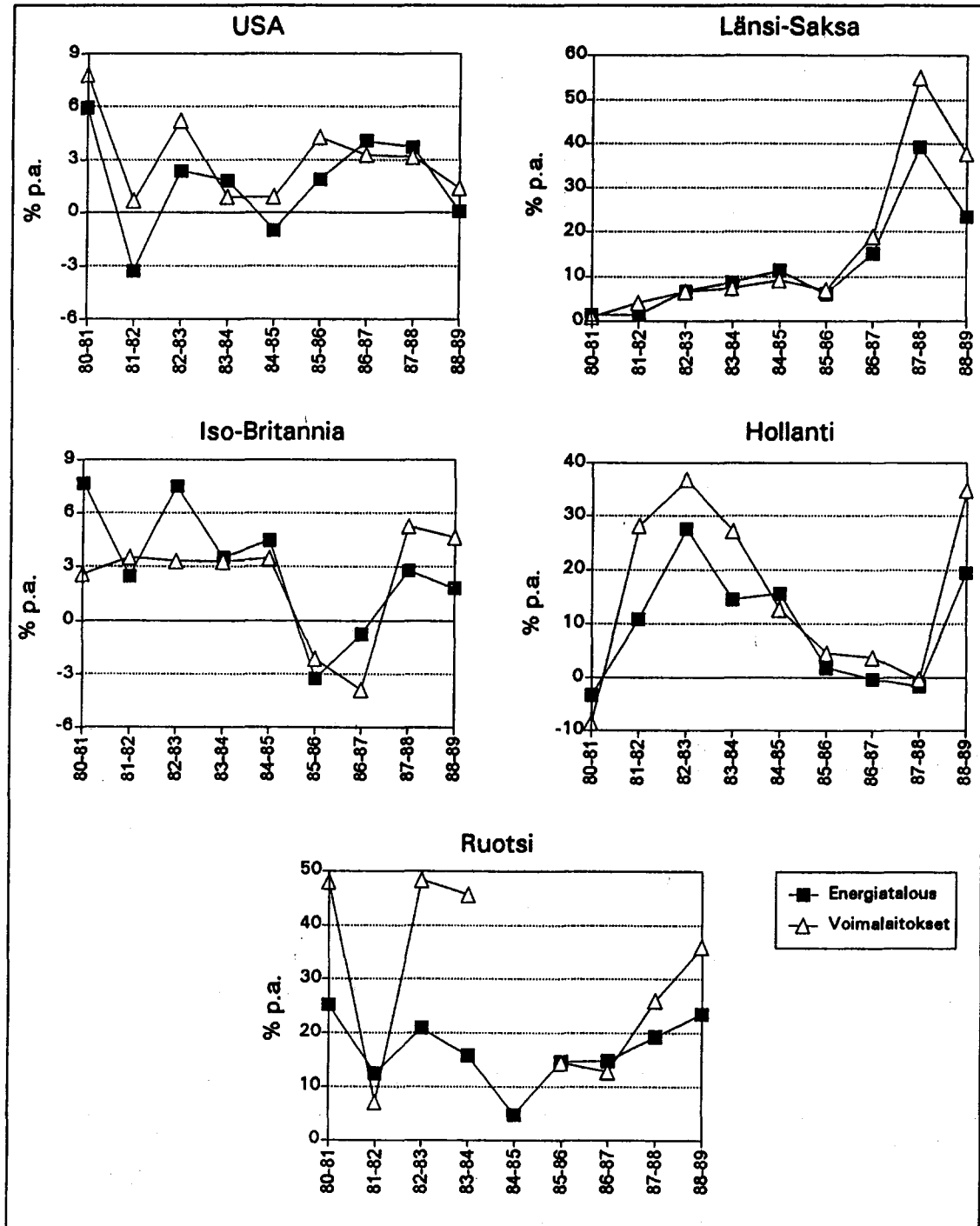
**Kuvio L4.** Energiatalouden muuttuminen ympäristöystävällisemmäksi 1980-luvulla. Muutos, % p.a.

### 8.5 Teknologisen muutoksen vertailu voimalaitoksissa ja energiataloudessa

Kappaleessa 6.4 on pohdittu voitaisiinko energiatalouden muuttumisesta ympäristöystävällisemmäksi tehdä jotain johtopäätöksiä koskien voimalaitosten muuttumisesta ympäristöystävällisemmäksi. Seuraavalla sivulla olevassa kuviossa on yhdistetty sekä voimalaitosten ympäristöystävällisemmäksi muuttumista kuvaava käyrä kappaleen 5 kuvioista 5 ja vastaava käyrä energiatalouden osalta kuvioista L4.

Voidaan havaita, että käyrät käyttäytyvät hyvin samalla tavalla. Muutokset niissä ovat samansuuntaisia. Kuitenkin käyrät eivät kulje selvästikään samassa tasossa: erot tiet-

tyinä vuosina voivat vaihdella suuresti. Lisäksi voimalaitoskäyrä ei kulje systemaattisesti energiatalouskäyrän yläpuolella tai päinvastoin. Kuvion perusteella voidaan siis vain päätellä, että voimalaitosten kehittyminen ympäristöystävälliseksi on hyvin *samanmuotoinen* kuin energiatalouden kehittyminen ympäristöystävälliseksi. Oletettavasti siten myös Suomen voimalaitosten kehittymistä ympäristöystävälliseksi kuvaava käyrä on kuviossa L4 olevan Suomen energiatalouden käyrän kaltainen, mutta sen kunkin vuoden arvoista emme voi tehdä mitään tarkkoja päätelmiä.



Kuvio L5. Voimalaitosten ja energiatalouden muuttuminen ympäristöystävällisemmäksi, % p.a.



## LIITE 2. KÄYTETYT TILASTOT JA NIIDEN SOVELTAMISESTA

### 9 PÄÄSTÖTILASTOT

Tutkimuksessa käytetty päästötilasto on OECD:n julkaisema *Environmental Data*-tilasto (OECD, 1993a), joka ilmestyy joka toinen vuosi. OECD on kerännyt tiedot jäsenmailtaan, ja ne perustuvat parhaisiin käytettävissä oleviin mittausmenetelmiin kunakin ajanjaksona. Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu rikin ja typen oksidipäästöjä ( $\text{SO}_x$  ja  $\text{NO}_x$ ). Päästötiedot kattavat pääsääntöisesti vuodet 1970, 1975 ja 1980-1989. Erityisesti Japanin ja Suomen, mutta jossain määrin myös Ruotsin tiedot ovat monin osin vajavaisemmat. Tekstin, kuvion tai taulukon asianomaisessa kohdassa on tarkemmin selitetty tarpeelliset huomioonotettavat seikat.

OECD (1993a) on tilastoinut päästöt jaoteltuina seuraaviin neljään luokkaan:

1. Liikkuvat lähteet - *Mobile sources*: Liikenteen päästöt
2. Voimalaitokset - *Power stations*: Voimalaitosten (sähkö-, lämpö- yms. voimalat) päästöt
3. Polttoaineiden poltto - *Fuel combustion*: Päästöt eri polttoaineiden polttamisesta talouden eri sektoreilla (esim. teollisuus, kotitaloudet, maatalous, yms.)
4. Teolliset prosessit - *Industrial processes*: Tuotteiden ja materiaalien tuotantoprosesseissa syntyvät päästöt

Valtion kokonaispäästöt ovat kaikki ryhmät yhteensä. Sekä päästölähteiden määritelmät että mittausmenetelmät saattavat vaihdella maittain, mikä saattaa vaikuttaa jonkin verran tuloksiin. Tässä tutkimuksessa esiintyvät maittaiset poikkeamat on esitetty seuraavassa, mutta ne on pyritty tuomaan mahdollisimman selvästi esiin myös varsinaisen tekstin asianomaisessa kohdassa.

#### 9.1 Voimalaitospäästöt

Tässä tutkimuksessa käytetään hyväksi OECD:n tilastoimia seitsemän maan voimalaitospäästöjä vuosilta 1970, 1975 ja 1980-1989. Maat ovat USA, Länsi-Saksa, Iso-Britannia, Hollanti, Suomi, Ruotsi ja Japani. Päästöinä ovat rikin oksidit ( $\text{SO}_x$ ) ja typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ). Seuraavat poikkeamat on syytä mainita:

##### Japani:

- ♦ Ei päästötietoja vuosilta 1970, 1975, 1981-1982, 1984, 1987-1988.

##### Suomi:

- ♦ Voimalaitospäästöjä ei ole tilastoitu erikseen rikin oksidien osalta.

- ♦ Typen oksidien osalta päästöjä ei ole tilastoitu vuosina 1970, 1980-1984. Vuoden 1975 päästötieto on vuodelta 1977.

Ruotsi:

- ♦ Ei päästötietoa vuodelta 1970.

## 9.2 Energiatalouden päästöt

Koska Suomen kohdalla voimalaitosten SO<sub>x</sub>-päästöjä ei ole erikseen tilastoitu, vaan päästöt voimalaitoksista ja polttoaineiden poltosta on tilastoitu yhtenä lukuna, on kappaleessa 6 tarkasteltu Suomen energiatalouden rikkipäästöjen ja teknologian ympäristöllisen kuormittavuuden kehitystä. Energiatalouden päästöillä ymmärretään siten päästöjä voimalaitoksista sekä polttoaineiden poltosta yhteensä. Lisäksi liitteessä 1 on vertailun vuoksi tarkasteltu myös muita maita vastaavalla tavalla lukuunottamatta Japania, jonka tiedot olivat mielekkään vertailun tekemiseksi liian vajanaiset ja poikkeavat muista maista. Energiatalouden päästöihin pätee samat poikkeavuudet kuin edellä voimalaitospäästöjen osalta, ja lisäksi seuraavat polttoaineiden polton rikkipäästöjä koskevat poikkeavuudet:

Suomi:

- ♦ Päästöt polttoaineiden poltosta sisältävät myös voimalaitospäästöt.

Ruotsi:

- ♦ Ei päästötietoa vuodelta 1970.
- ♦ Päästöt polttoaineiden poltosta sisältävät myös keskuslämmityksen, teollisuuden lämmityksen ja muun lämmityksen päästöt.

## 10 ENERGIATILASTOT

Käytetyt energiataseet ovat OECD:n laatimia (OECD, 1991a ja 1991b). Näissä taulukoissa kaikki energia on muutettu miljooniksi öljyekvivalenteiksi tonneiksi (Mtoe) käyttäen tiettyjä hyötysuhde- ja muuntokertoimia.<sup>99</sup> Seuraavassa käymme läpi hieman tarkemmin energiataseiden tämän tutkimuksen kannalta tärkeimmät osat.

Seuraavalla sivulla on esitetty yksinkertaistettu energiatase, joka on jaoteltu energialähteittäin sarakkeisiin. Rivit kertovat kunkin energialähteen kulutuksen ja tarjonnan. Rivi 6, TPES eli primäärienergian tarjonta (*total primary energy supply*) muodostuu viiden ensimmäisen rivin summasta. Rivin 6 sarakkeessa I on ilmoitettu sähkön nettotuonti.

Rivi 7 on tilastollinen ero. Riveillä 8-12 on ilmoitettu eri energiamuotojen muuntaminen toiseen muotoon, kuten sähköksi ja lämmöksi. Rivi 13 on jakeluhävikki, esimer-

<sup>99</sup> Katso tarkemmin asianomaiset tilastot.

kiksi sähkön siirtohävikki verkossa.<sup>100</sup> Rivi 14, TFC eli kokonaiskulutus (*total final consumption*) on rivi 6 vähennettynä riveillä 7-13. TFC on myös rivien 15-18 summa, jotka ilmaisevat eri sektoreiden energiankulutuksen. Esimerkiksi hiilen (sarake A) 1,15 Mtoe:n kokonaiskulutuksesta teollisuus käytti 0,75 Mtoe:a.

TARJONTA JA KULUTUS	Muut kiinteät Raaka-		Muut (tuuli,							Yhteensä <sup>b</sup>	
	Hiili (A)	polttoaineet <sup>c</sup> (B)	öljy (C)	Öljytuotteet (D)	Kaasu (E)	Ydin (F)	Vesi (G)	aurinko, jne.) (H)	Sähkö (I)		Lämpö (J)
(1) Kotimainen tuotanto	-	4,18	-	-	-	1,83	0,88	-	-	-	6,89
(2) Tuonti	3,79	-	13,12	2,95	0,79	-	-	-	0,20	-	20,86
(3) Vienti	-	-	-	-2,14	-	-	-	-	-0,10	-	-2,24
(4) Kv. tankkerit	-	-	-	-0,59	-	-	-	-	-	-	-0,59
(5) Varaston muutos	0,64	-0,21	-0,07	-0,28	-	-	-	-	-	-	0,08
<b>(6) TPES</b>	<b>4,43</b>	<b>3,97</b>	<b>13,05</b>	<b>-0,06</b>	<b>0,79</b>	<b>1,83</b>	<b>0,88</b>	<b>-</b>	<b>0,10</b>	<b>-</b>	<b>25,00</b>
(7) Tilastollinen ero	-0,11	-	-0,14	-0,46	-0,03	-	-	-	-	-	-0,75
(8) Julkinen sähkön- tuotanto	-2,24	-0,26	-	-0,23	-0,12	-1,83	-0,88	-	2,41	-	-3,15
(9) Sähkön itsetuottajat <sup>c</sup>	-0,18	-0,27	-	-0,29	-0,07	-	-	-	0,63	-	-0,18
(10) CHP-laitokset <sup>d</sup>	-0,63	-0,28	-	-0,34	-0,12	-	-	-	0,47	0,81	-0,10
(11) Keskuslämmitys	-0,11	-0,06	-	-0,47	-	-	-	-	-	0,45	-0,19
(12) Kaasulaitokset	-	-	-	-0,01	0,01	-	-	-	-	-	-
(13) Jakeluhävikki	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,20	-0,11	-0,31
<b>(14) TFC</b>	<b>1,15</b>	<b>3,10</b>	<b>-</b>	<b>10,30</b>	<b>0,45</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>3,20</b>	<b>1,15</b>	<b>19,35</b>
(15) Teollisuus	0,75	2,16	-	3,28	0,41	-	-	-	1,96	0,12	8,68
(16) Liikenne	-	-	-	2,99	-	-	-	-	0,02	-	3,01
(17) Muut sektorit (maa- talous, kotitaloudet,...)	0,06	0,93	-	3,55	0,04	-	-	-	1,22	1,03	6,82
(18) Ei-energiäkäyttö	0,35	-	-	0,49	-	-	-	-	-	-	0,84

a) Muut kiinteät polttoaineet sisältävät mm.: puu, puujäte, mustalipeä, teollisuus- ja yhdyskuntajäte, jne.  
b) Yhteensä sarake = sarakkeiden A - J summa.  
c) Sähkön itsetuottaja (engl. *Autoproducer of electricity*) on laitos, joka päätoimintansa lisäksi tuottaa sähköä kokonaan tai osittain omaan käyttöönsä (esim. teollisuuslaitokset, rautatiet, öljynjalostamot, jne.).  
d) CHP (*combined heat and power*) = yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto.

- = nolla.

**Taulukko L5. Yksinkertaistettu energiatase; Suomi, 1980, Mtoe.<sup>101</sup> (Lähde: OECD, 1991b, s.192)**

<sup>100</sup> Monet riveistä, jotka OECD:n energiatilastoissa sijaitsevat TPES:n ja TFC:n välissä, on jätetty tässä pois (ks. tarkemmin esim. OECD, 1991b). Poisjätetyt rivit ovat öljynjalostamot, hiilen muunto, nesteytys, muu muunto ja oma käyttö. Taulukossa on esitetty tämän tutkimuksen kannalta vain oleelliset energiataseen erät.

<sup>101</sup> Useat taulukon eristä ovat laskennallisia perustuen tiettyihin OECD/IEA:n käyttämiin muuntokerroksiin. Esimerkiksi mitä sähkön tuotantoon tulee (rivit 8-10), on IEA muuttanut voimalaitosten sähköntuotannon Mtoe:ksi käyttäen muuntokerrointa 1 TWh = 0,086 Mtoe. Lisäksi laskuissa oletetaan esimerkiksi vesivoimalla tuotetun sähkön tehokkuudeksi 100 prosenttia (ts. muuntokerroin on 1 TWh = 0,086 Mtoe), kun taas ydinvoimaloissa käytetään 33 prosentin tehokkuusoletusta (muuntokerroin on 1 TWh = [0,086 / 0,33] Mtoe). Ks. OECD (1991b) tarkemmin.

Sarakkeet A-H kertovat eri energialähteiden tarjonnan ja kulutuksen. Sarakkeiden I ja J riveillä 8-12 sekä sarakkeen E rivillä 12 on ilmoitettu sähkön, lämmön ja kaasun bruttotuotanto eri voimalaitoksissa. Näiden rivien (rivit 8-12) sarakkeet A-H puolestaan kertovat miten paljon kutakin energiapanosta on sähkön, lämmön ja kaasun tuottamiseen käytetty. Helposti voi havaita, että bruttotuotanto on pienempi kuin panoskäyttö. Tämä johtuu siitä, ettei kaikkea energiamäärää saada talteen kun energia muutetaan toiseen muotoon. Tämä hävikki, eli bruttotuotannon ja panoskäytön erotus on sarakkeessa K riveillä 8-12. Muilla riveillä saraketta K, joka on sarakkeiden A-J summa, ei voida tulkita vastaavanlaisiksi hävikiksi.

### 10.1 Voimalaitokset

Voimalaitoksiksi on luettu tässä tutkimuksessa rivit 8-12. Voimalaitosten panoskäyttö eri polttoaineisiin jaoteltuina saadaan sarakkeista A-H ja riveiltä 8-12, paitsi rivi 12 sarake E, joka kertoo kaasun bruttotuotannon. Esimerkiksi Suomessa vuonna 1980 hiilen panoskäyttö voimalaitoksissa oli suuruudeltaan 3,16 Mtoe ( $= 2,24 + 0,18 + 0,63 + 0,11$ ).

Voimalaitosten bruttotuotanto saadaan sarakkeista I-J ja riveiltä 8-12 ja lisäksi sarakkeesta E riviltä 12, joka on kaasun bruttotuotanto. Esimerkiksi Suomen voimalaitosten bruttotuotanto vuonna 1980 oli 4,78 Mtoe. Tämä koostui kaasuntuotannosta (0,01 Mtoe), sähköntuotannosta ( $2,41 + 0,63 + 0,47 = 3,51$  Mtoe) ja lämmöntuotannosta ( $0,81 + 0,45 = 1,26$  Mtoe).

### 10.2 Polttoaineiden poltto

Koska kappaleessa 6 on tarkasteltu energiatalouden päästöjä, eli päästöjä voimalaitoksista ja polttoaineiden poltosta yhteensä, joudumme tarkastelemaan myös polttoaineiden polttoa vastaavaa energiankulutusta. Polttoaineiden poltto sisältää päästöt teollisuuden, kotitalouksien yms. energiankulutuksesta. Siten tätä vastaavat energiataseen erät ovat yllä olevan taulukon mukaisesti rivit 15 ja 17, eli teollisuuden ja muiden sektoreiden energiankulutus, poislueutuna sähkön- ja lämmönkulutus (sarakkeet I ja J). Kaasun käytöstä (sarake E) on vähennetty lisäksi kaasun bruttotuotanto voimalaitoksissa (rivi 12, sarake E). Näin ei tule mitään erää laskettua kahteen kertaan.

### 10.3 Lisähuomautuksia

OECD/IEA:n energiatilastoissa voi eri maiden osalta esiintyä joitain puutteellisuuksia tai eroja laskentatavoissa eri energiataseen erissä (ks. OECD, 1991b, 27-32). Nämä seikat voivat vaikuttaa jonkin verran tutkimuksen tuloksiin, mutta niiden korjaamiseksi ei tässä tutkimuksessa ole keskitytty lainkaan. On kuitenkin todennäköistä, etteivät nämä seikat vaikuta merkittävästi tuloksiin ja ainakaan tehtyihin johtopäätöksiin. Nämä puutteellisuudet/poikkeavuudet siten ohitetaan tällä huomautuksella.

Energy Source	Plant Type	Net Plant Efficiency	Sulphur Content of Fuel (% by weight)	Emission Controls (Type)	Abatement Efficiency (%)	SO <sub>2</sub> Emission Factor (mg/MJ)	SO <sub>2</sub> Emissions (tonnes per MW-yr)
Coal (3%-sulph.)	dry bottom, wall fired	34,0 %	3 %	none	0 %	1929	180
Coal (3%-sulph.)	dry bottom, tang. fired	33,1 %	3 %	FGD	90 %	1929	18
Coal (3%-sulph.)	AFBC (Deep bubbling bed)	33,8 %	3 %	--	85 %	1929	27
Coal (3%-sulph.)	PFB, combined cycle	38,9 %	3 %	--	92 %	1929	13
Coal (3%-sulph.)	IGCC	38,0 %	3 %	--	99 %	1929	2
Coal (1%-sulph.)	dry bottom, wall fired	34,0 %	1 %	none	0 %	643	60
Coal (1%-sulph.)	dry bottom, tang. fired	33,1 %	1 %	FGD	90 %	643	6
Coal (1%-sulph.)	AFBC (Deep bubbling bed)	33,8 %	1 %	--	85 %	643	9
Coal (1%-sulph.)	PFB, combined cycle	38,9 %	1 %	--	92 %	643	4
Coal (1%-sulph.)	IGCC	38,0 %	1 %	--	99 %	643	1
Municipal solid waste	mass feed boiler	20,3 %	0,13 %	none	0 %	199	31
Fuel oil, residual	boiler, opposed wall	35,2 %	3 %	none	0 %	1395	126
Fuel oil, residual	boiler, front wall	34,4 %	3 %	FGD	90 %	1395	13
Fuel oil, distillate	combustion turbine	28,7 %	0,3 %	none	0 %	133	15
Natural gas	boiler, opposed wall	35,2 %	0,002 %	none	0 %	1	0,07
Natural gas	conv.boiler	35,2 %	0,002 %	none	0 %	1	0,07
Natural gas	GT, simple cycle	28,1 %	0,002 %	none	0 %	1	0,09
Natural gas	GT, combined cycle	44,7 %	0,002 %	none	0 %	1	0,06

Taulukko L6. Eri voimalaitostyyppien rikkidioksidipäästöt. (Lähde: OECD, 1989, 203)

Energy Source	Plant Type	Net Plant Efficiency	Emission Controls (Type)	Abatement Efficiency (%)	NO <sub>x</sub> Emission Factor (mg/MJ)	NO <sub>x</sub> Emissions (tonnes per MW-yr)
Coal (3%-sulph.)	dry bottom, wall fired	34,0 %	none	0 %	438	41
Coal (3%-sulph.)	dry bottom, tang. fired	33,1 %	Lo-NOx + SCR	85 %	313	4
Coal (3%-sulph.)	AFBC (Deep bubbling bed)	33,8 %	staged comb.	n.a.	250	23
Coal (3%-sulph.)	PFB, combined cycle	38,9 %	--	n.a.	240	20
Coal (3%-sulph.)	IGCC	38,0 %	--	n.a.	240	20
Coal (1%-sulph.)	dry bottom, wall fired	34,0 %	none	0 %	438	41
Coal (1%-sulph.)	dry bottom, tang. fired	33,1 %	Lo-NOx + SCR	85 %	313	4
Coal (1%-sulph.)	AFBC (Deep bubbling bed)	33,8 %	staged comb.	n.a.	250	23
Coal (1%-sulph.)	PFB, combined cycle	38,9 %	--	n.a.	240	20
Coal (1%-sulph.)	IGCC	38,0 %	--	n.a.	240	20
Municipal solid waste	mass feed boiler	20,3 %	none	0 %	133	21
Fuel oil, residual	boiler, opposed wall	35,2 %	none	0 %	395	36
Fuel oil, residual	boiler, front wall	34,4 %	Low-NOx	50 %	191	9
Fuel oil, distillate	combustion turbine	28,7 %	none	0 %	203	22
Natural gas	boiler, opposed wall	35,2 %	none	0 %	290	26
Natural gas	conv. boiler	35,2 %	Lo-NOx + SCR	60 %	240	9
Natural gas	GT, simple cycle	28,1 %	Stream inj.	70 %	169	6
Natural gas	GT, combined cycle	44,7 %	Steam inj.	70 %	168	4

**Taulukko L7. Eri voimalaitostyyppien typenoksidipäästöt. (Lähde: OECD, 1989, 205)**

## ENGLISH SUMMARY

This paper analyses how technological change has influenced sulphur and nitrogen oxide emissions of power stations in seven countries in the 1970s and 1980s. The analysed countries include the United States, the United Kingdom, the Federal Republic of Germany, the Netherlands, Japan, Sweden and Finland.

In the first step, a figure called *environmental loading* is calculated for each country and for each year. The environmental loading is calculated using the following equation

$$(3a) \quad T_t = \frac{e_t}{Q_t} = \left[ \frac{e}{I_p} \right]_t \times \left[ \frac{I_p}{I} \right]_t \times \left[ \frac{I}{Q} \right]_t$$

where  $T$  is environmental loading,  $e$  is emissions ( $\text{SO}_x$  or  $\text{NO}_x$ ) from power stations (1000 tonnes),  $Q$  is gross production of energy in power stations (Mtoe),  $I_p$  is the input-usage of fuels that are potentially polluting (Mtoe),  $I$  is total input-usage of various fuels (Mtoe). Sub-index  $t$  refers to the year in question.

In (3a) the factor  $e/I_p$  is called *unit emissions*. It tells how large are emissions compared to input-usage of fuels that are potentially polluting.  $I_p/I$  is the share of potentially polluting fuels out of total input usage.  $I/Q$  reveals how efficiently power stations, as an aggregate, use their energy inputs.

In the second step, a rate of change of environmental loading between two years is calculated by the following equation

$$(6) \quad \tau_{t,u} = \left[ \frac{T_t}{T_u} \right]^{\frac{1}{t-u}} - 1 \text{ (\% p.a.)}$$

where a sub-index  $t$  refers to the last year of the period under consideration and sub-index  $u$  refers to the first year. The above equation gives the (average) rate of change in per cents *per annum*. Equation (6) gives a negative number for  $\tau$  if environmental loading has decreased, i.e. it has improved. By taking the opposite number of  $\tau$ , one can present the improvement (i.e. the decrease) of environmental loading as a positive number. This is called *technological change to cleaner production methods*, which is then

$$(7) \quad -\tau_{t,u} = 1 - \left[ \frac{T_t}{T_u} \right]^{\frac{1}{t-u}}$$

The above method is used to derive the environmental loading and technological change for power stations of each seven countries in different years.

The paper's results show that the environmental loading of power stations is smallest in Sweden and Japan both for sulphur and nitrogen oxides. This is due to two factors. First, in both countries the structure of input-usage favours low emissions. Sweden produces much of the energy with nuclear and hydro power. In Japan, too, the shares of nuclear and hydro power, as well as gas, are comparatively high. In addition, the use of coal has been small in both countries, especially in Sweden. Second, both

countries have low unit emissions (cf. equation (3a)). Low unit emissions imply, among others, a wide use of emission cleaning devices (flue-gas scrubbers, etc.). It is clear that both countries have implemented strict emission standards on their power stations which have been obliged to install effective cleaning devices to restrict sulphur and nitrogen emissions.

Also the environmental loading of the power stations is on a good level in the Netherlands and the F.R.G. compared to the power stations of the UK and the USA, which emit remarkably high amounts of sulphur and nitrogen oxides compared to their energy production. In both of the two latter country the use of coal is high and emission standards are less stringent compared to the other countries.

In Finland the environmental loading for nitrogen oxides is satisfactory. This is due to structural factors: Hydro and nuclear power account for more than half of all fuel inputs in power stations. What is alarming, though, is that environmental loading increased in Finland in the late 1980s which is quite opposite to the other countries' experience. What is more, in 1989 unit emissions for nitrogen oxides were highest in Finland among the seven countries studied. This implies that the Finnish legislation has not put much effort to restrict  $\text{NO}_x$  emissions from power stations.

In the 1970s and the 1980s the technological change to cleaner production methods was fastest in Swedish power stations. This progress was due to the intensive construction of nuclear power and the fast decrease of unit emissions. Also the Netherlands and the F.R.G. has occasionally experienced fast progress in the decrease of environmental loading. Especially, the F.R.G. has taken the lead of the progress among the seven countries in the late 1980s.

The progress in Japan slowed down in the 1980s and was slower than in the above mentioned European countries. There is likely to be a good reason for that, however. The environmental loading of Japanese power stations is already so low that further reductions in it may be hard to achieve, at least in the short run. Nevertheless, the progress in Japan in 1980s was faster than in the UK or the USA. In both of these two countries the decrease of the environmental loading was scant in the 1970s and 1980s.

What this study implies, is that stricter emission standards are needed in order for a country to experience a progress in environmental loading. In many cases a new legislation or stricter standards have given a boost for the improvement of environmental loading of technology. When it comes to the environmental legislation of a country, international agreements may play an important role, however. It seems that those countries that have signed the 1985 Helsinki Protocol on the Reduction of Sulphur Emissions or the 1988 Sofia Protocol on the Control of Emissions of Nitrogen Oxides, have also experienced faster progress in the reduction of environmental loading of power stations compared to non-signers.

The method used in this paper seems to give intuitively reasonable results. Sweden, Japan, the Netherlands and the F.R.G. are known to be countries that put much weight on air protection, whereas in the UK and the USA air protection has been less keen. Finland seem to lie in between. It has taken an active role in the reduction of sulphur emissions, but is likely to become a free-rider regarding the Nitrogen Oxides Protocol.



## LÄHTEET:

- Baumol, William J. & Alan S. Blinder** (1988) "*Economics - Principles and Policy*", 4th edition. Harcourt Brace Jovanovich Publishers. 926 s.
- Bohm, Peter** (1994) "Environment and Taxation: The Case of Sweden", teoksessa "*Environment and Taxation: The Cases of the Netherlands, Sweden and the United States*", OECD Documents, OECD, Paris. 51-101.
- Cavendish, William & Dennis Anderson** (1994) "Efficiency and Substitution in Pollution Abatement", *Oxford Economic Papers*, 46, 774-799.
- Ethier, Wilfred J.** (1988) "*Modern International Economics*", 2nd edition, W.W. Norton & Company, Inc., New York. 556+62 s.
- European Commission** (1994) "Eco-industries in the EC", teoksessa "*Panorama of EU Industry 94*", Directorate General III, Luxembourg. 53-61.
- Färe, Rolf, Shawna Grosskopf, C.A. Knox Lovell & Suthathip Yaisawarng** (1993) "Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: a Distance Function Approach", *The Review of Economics and Statistics*, ?(?), 374-380.
- Hetemäki, Lauri** (1994) "*Do Environmental Regulations Lead Firms Into Trouble? Evidence from a Two-Stage Distance Function Model with Panel Data*". The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 509. Department of Forest Resources, Helsinki. 40 s.
- IEA** (1991) "*IEA Coal Research: Emission standards handbook*", IEACR/43, December 1991.
- Kulmala, Antti** (1992) "*Ilmansuojeluohjelmien yhteensovittaminen*". Selvitys 119. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto, Helsinki. 77 s.
- Landsberg, Hans H.** (1989) "US Energy Policy in Historical Perspective", *Resources Policy*, December 1989, 297-308.
- Macchiato, M.F., C. Cosmi, M. Ragosta & G. Tosato** (1994) "Atmospheric Emission Reduction and Abatement Costs in Regional Environmental Planning", *Journal of Environmental Management*, 41, 141-156.
- Milliman, Scott R. & Raymond Prince** (1989) "Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management*, 17, 247-265.
- Nan, Gehuang D.** (1994) "Sulphur Dioxide Emissions and US New Regulation", *Resources Policy*, 20 (1), 71-75.
- Newberry, David** (1993) "The Impact of EC Environmental Policy on British Coal", *Oxford Review of Economic Policy*, vol.9, 4, 66-95.

- OECD** (1988) "*Environmental Policies in Finland*". OECD, Paris. 229 s.  
 (1989) "*Energy and the Environment: Policy Overview*". OECD/IEA, Paris. 222 s.  
 (1991a) "*IEA Statistics: Energy Balances of OECD Countries 1960-1979*". OECD/IEA, Paris. 733 s.  
 (1991b) "*IEA Statistics: Energy Balances of OECD Countries 1980-1989*". OECD/IEA, Paris. 450 s.  
 (1993a) "*OECD Environmental Data: Compendium 1993*". OECD, Paris. 324 s.  
 (1993b) "*OECD Environmental Performance Reviews - Germany*". OECD, Paris. 227 s.  
 (1994) "*OECD Environmental Performance Reviews - Japan*". OECD, Paris. 210 s.
- Oosterhuis, F.H. & A.F. de Savornin Lohman** (1994) "Environment and Taxation: The Case of the Netherlands", teoksessa "*Environment and Taxation: The Cases of the Netherlands, Sweden and the United States*", OECD Documents, OECD, Paris. 7-50.
- Pearce, David & Inger Brisson** (1993) "BATNEEC: The Economics of Technology-based Environmental Standards, with a UK Case Illustration", *Oxford Review of Economic Policy*, vol.9, 4, 24-40.
- Sarkkinen, Seppo** (1993) "Air Pollution Control Policies in Finland", *Ilmansuojeluuutiset*, 5-6/93, 6-7.
- Tilastokeskus** (1994) "*Ympäristötilasto*". Ympäristö 1994:3. Tilastokeskus, Helsinki. 216 s.
- Turner, R. Kerry, David Pearce & Ian Bateman** (1994) "*Environmental Economics - An Elementary Introduction*". Harvester Wheatsheaf, Hertfordshire. 328 s.
- Wirl, Franz & H.-J. Hoffmann** (1993) "Environmental Policy in the F.R.G.: its Economic Costs and the Sectorial Impact", *Journal of Environmental Management*, 37, 103-115.
- Ympäristöministeriö** (1991) "*Ympäristönsuojelun taloudellinen ohjaus 1990-luvulla*". Työryhmän mietintö 59. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. 135 s.