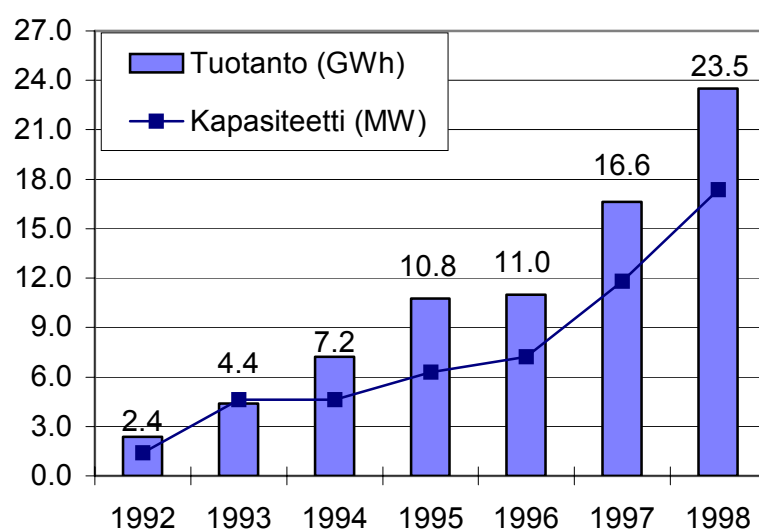


TUULIVOIMAN TUOTANTOTILASTOT. VUOSIRAPORTTI 1998



<http://www.vtt.fi/ene/enesys/AWP/statistics.html>

Hannele Holttinen

T u t k i m u s s e l o s t u s

ENE6/18/99

TUULIVOIMAN TUOTANTOTILASTOT.
VUOSIRAPORTTI 1998

Hannele Holttinen

VTT Energia
PL 1606, 02044 VTT
puh. (90) 4561, telefax (90) 456 6538

TIIVISTELMÄ

Suomen tuulivoimatuotanto oli 23,5 GWh vuonna 1998. Laitosten määrä kasvoi yhdeksällä vuodesta 1997. Vuoden lopussa verkkoon oli kytketty 40 tuulivoimalaitosta, yhteensä 17,4 MW: kasvua edellisvuoteen verrattuna kapasiteetissa 46 % ja tuotannossa 42 % (vrt 11,8 MW vuoden 1997 lopussa). Vaikka vuosi 1998 olikin asennetun kapasiteetin ja tuotannon osalta ennätysvuosi Suomessa, tuulivoimakapasiteetti on täällä vielä pieni verrattuna useimpiin muihin EU-maihin (esim. Ruotsissa 170 MW, Tanskassa yli 1300 MW ja Saksassa lähes 2500 MW). Maailman tuulivoimakapasiteetti saavutti 10 000 MW rajan alkuvuodesta 1999.

Tuulivoimalaitokset saavat edelleen Suomessa kauppa- ja teollisuusministeriön investointitukea jopa 40 % investoinnista. Tuen suuruus päätetään projektikohtaisesti.

Kaupallisten tuulivoimalaitosten taloudellisin koko on kasvanut jatkuvasti, tällä hetkellä eniten myydään 600 kW...1 MW laitoksia. Vuonna 1991 pystytettyjen laitosten keskikoko oli alle 200 kW ja vuonna 1998 617 kW. Kaikkien Suomen tuulivoimalaitosten keskiteho oli vuoden lopussa 434 kW (381 kW vuonna 1997).

Vuosi 1998 oli lähes keskimääräinen tuulisuudeltaan Ahvenanmaalla, mutta Selkä- ja Perämerellä keskimääräistä tyyneempi. Ilmatieteen laitoksen tuotantoindeksien mukaan tuulivoimalaitosten tuotanto vuonna 1998 oli Pohjanlahdella 83 – 84 % ja Ahvenanmaalla 97 % keskimääräisestä tuotannosta. Tuotantoindeksien käyttämä keskimääräinen tuotanto lasketaan 11 vuoden (vv. 1985 – 95) tuulennopeushavainnoista.

Tuulivoimalaitosten tekninen käytettävyys on kaupallisessa käytössä olevilla voimalaitoksilla yleisesti ottaen korkea, Suomessa edellisvuosina 97 – 98 %. Vuonna 1998 tapahtui useampi komponenttirikkoutuminen (vaihteisto- ja generaattorivaurioita), jotka pudottivat käytettävyyden 94 %:iin.

Vuosiraportti sisältää laitosten tuotanto- ja käytettävyystietojen lisäksi vika- ja häiriötilaston vuodelta 1998, tuotantovertailuja mm. tunnuslukuina ja alueittain sekä valtakunnan huipun aikaiset tuulivoiman tuntitehot.

Tutkimuskäytössä olevat kaksi tuulivoimalaitosta (Lapissa sijaitsevat Pyhätunturin ja Paljasselän laitokset) on useissa tarkasteluissa eroteltu standardilaitoksista, jotta tutkimuskäytön vuoksi alentunut käytettävyys ei vaikuttaisi tarkastelun kohteena oleviin asioihin.

ABSTRACT

The wind power production in Finland was 23,5 GWh in 1998 (equivalent to 0,03 % of Finland's electricity production). The installed capacity increased by 5,5 MW, from 11,9 MW (31 wind turbines) at the end of 1997 to 17,4 MW (40 turbines).

Wind power receives investment subsidies from the Ministry of Trade and Industry. The amount of the subsidy is up to 40 % of the total investment. The exact amount is granted separately for each project.

The nameplate capacity of wind power plants has continued to rise steadily. The average capacity of new plants was less than 200 kW in 1991 and 617 kW in 1998. The average capacity of all wind turbines was 434 kW at the end of 1998.

Year 1998 was almost as windy as the long term average in Åland region, but less than average in the Gulf of Bothnia. The production index for 1998 was 83 - 84 % of the 11-year-average value in Gulf of Bothnia and 97 % in Åland.

The technical availability for the standard wind power plants has been high, the average value for 1996 - 1997 was 97 - 98 %. Year 1998 saw several gear box and generator failures, which reduced the average technical availability to 94 %.

The report contains the production and availability figures from all the grid connected wind turbines in Finland as well as the component failure statistics for 1998, production comparisons, and the hourly wind power figures for electricity consumption peak hour in Finland.

The two research plants in Lapland (Paljasselkä and Pyhätunturi) were excluded from part of the evaluations as their availability has been considerably lower than that of the standard plants due to R&D activities.

ALKUSANAT

Tuulivoiman tuotantotilastoa on ylläpidetty vuodesta 1992 lähtien Suomen Tuulivoimayhdistyksessä vapaaehtois pohjalla, ja vuodesta 1994 lähtien osana VTT Energian IEA-yhteistyötä. Kesällä 1996 VTT Energia sai kauppa- ja teollisuusministeriöltä rahoituksen tuotantotilastojen kehittämisprojektille yhdessä Suomen Tuulivoimayhdistyksen ja Ilmatieteen laitoksen kanssa. Seuranta ja raportointi on jatkunut vuodesta 1997 eteenpäin niin, että Suomen Tuulivoimayhdistys tilaa tuotantotilastot VTT Energialta ja tuotantoindeksit Ilmatieteen laitokselta.

Tuotantotilastot perustuvat tietokantaan, joka luotiin projektissa ”Tuulivoiman tuotantotilastoinnin kehittäminen”. Tilastoissa on tuotannon lisäksi laitosten häiriöaikojen ja vikaerittelyiden rekisteröinti sekä Ilmatieteen laitoksen laskemat tuotantoindeksit. Tuotantoindeksi on mitta tuulienergian määrästä kunakin kuukautena verrattuna ko. kuukauden keskimääräiseen tuulisuuteen. Lisäksi tietokannassa on mm. laitosten teknisiä tietoja sekä sijoituspaikkakunta, lääni ja verkko-yhtiö erilaisten jaottelujen mahdollistamiseksi.

Tuulivoimatilastoja käytetään valtakunnallisessa ja kansainvälisessä energiatilastoinnissa. Tilastot helpottavat julkisen investointituen kohdentumisen ja tuloksellisuuden seuranta. Kun tuulivoimalaitoksista raportoidaan tuotannon lisäksi häiriöajat, ja tuulisuuden vaihtelu otetaan huomioon tuotantoindeksinä, voidaan tietoja käyttää arvioidun ja toteutuneen tuotannon mittarina. Lisäksi tilastoaineistoa voidaan käyttää laitosten teknisen toimivuuden seurantaan, mistä on yhdessä tuotannon arvioinnin parantumisen kanssa apua uusia tuulivoimalaitoshankkeita suunniteltaessa sekä vertailtaessa eri tyyppisten laitosten toimintaa Suomessa ja Euroopassa.

Tämä vuosiraportti on tehty seuraten soveltuvin osin Ruotsin tuulivoimatilastojen vuosiraporttia /1/.

Tuotantotilastot kuukausituotantoluvuista julkaistaan neljännesvuosittain Tuulen silmä ja Vindögar lehdissä. Internet-sivuilla on nähtävissä yhteenveto tuotantotilastoista osoitteessa <http://www.vtt.fi/ene/enesys/AWP/statistics.html>.

Erityinen kiitos kuuluu tuulivoimalaitosten käyttäjille, joiden toimittamien tietojen perusteella nämä tilastot on laadittu.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1 KUUKAUSIRAPORTOINTI	7
2 TILASTOINTIIN OSALLISTUVAT LAITOKSET	8
2.1 TUULIVOIMALAITOKSET TYYPEITTÄIN	10
3 MÄÄRITELMÄT JA TUNNUSLUVUT	11
4 TUULEN ENERGIASISÄLTÖ	12
4.1 TUOTANTOINDEKSIT	12
5 ASENETTUN TEHON JA TUOTANNON KEHITYS	14
5.1 TEHO JA SÄHKÖNTUOTANTO 90-LUVULLA	14
5.2 LAITOSKOON KEHITYS	15
5.3 TUNNUSLUKUJA	16
6 TUOTANTOVERTAILUJA	18
6.1 TUOTANNON TUNNUSLUVUT VUONNA 1998	18
6.2 TUOTANNON JAOTTELUJA VUODELTA 1998	19
7 KÄYTTÖKATKOT	22
7.1 TEKNINEN KÄYTETTÄVYYS	22
7.2 KÄYTTÖKATKOJEN ERITTELYT	22
8 TUULIVOIMA JA SÄHKÖN KULUTUS	25
8.1 TUULIVOIMAN KAUSIVAIHTELU	25
8.2 TUULIVOIMATUOTANTO VALTAKUNNAN HUIPUN AIKANA	26
9 VUODEN 1998 TUOTANTOTILASTO	27
LÄHDELUETTELO	28

Liite 1: Tuulivoimatilastojen kuukausiseuranta- ja vikailmoituslomake sekä uuden laitoksen ilmoittaminen tilastointiin

1 KUUKAUSIRAPORTOINTI

Tilastointiin ovat osallistuneet kaikki Suomen verkkoonkytketyt yli 50 kW tuuli-voimalaitokset. Inkoon Kopparnäsin tutkimuslaitokset eivät ole osallistuneet tilastointiin, koska niitä ei ole kytketty pysyvästi verkkoon.

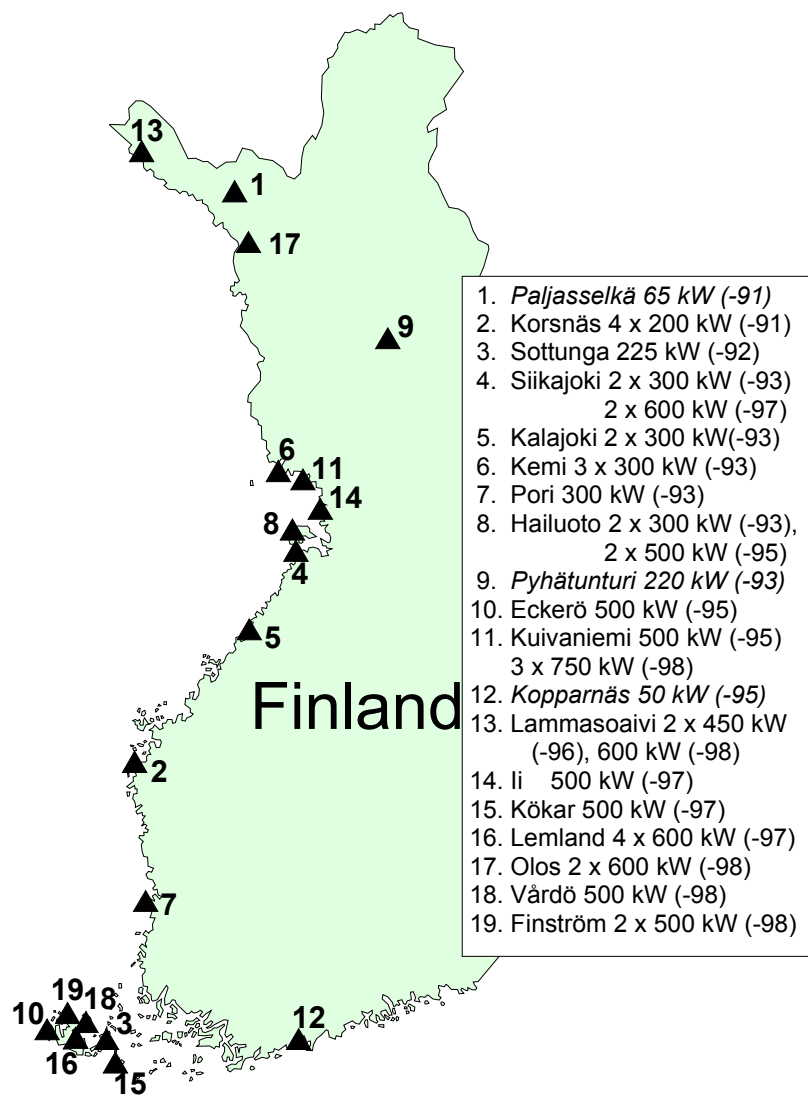
Tavoitteena on ollut saada jokaisesta laitoksesta kuukausittain sekä tuotantotiedot (brutto ja netto) että mahdolliset häiriöajat erittelyineen.

Kaikki laitokset ovat raportoineet sekä tuotanto- että häiriöaikatiedot. Koska häiriöaikatietojen saaminen ei varsinkaan vanhempien laitosten seurantajärjestelmistä ole automaattista, osa häiriöajoista on jouduttu jälkeinpäin arvioimaan.

Kuukausiraportoinnissa käytetyt lomakkeet sekä tarvittavat tiedot uusista laitoksista on esitetty liitteessä 1.

2 TILASTOINTIIN OSALLISTUVAT LAITOKSET

Rannikon tuulivoimalaitokset on nimetty sijaintipaikkansa kunnan mukaan ja Lapin tuulivoimalaitokset sijoituspaikkatunturin mukaan. Nimen perässä olevien numeroiden perusteella voi päätellä kuinka monen laitoksen ryhmästä on kyse. Tästä muodostavat poikkeuksen Hailuoto, jossa laitokset 1 - 3 sijaitsevat ryhmänä Marjaniemessä ja laitos 4 on Huikussa saaren itäkärjessä, sekä Siikajoki, jossa laitokset 1 - 2 ovat Varessäikän ja laitokset 3 - 4 Tauvon kalasatamassa. Laitokset on numeroitu tuotannon aloittamiskauden mukaan. Laitosten sijainti on esitetty karttakuvassa 1.



Kuva 1. Suomen verkkoonkytkettyjen tuulivoimalaitosten sijainti

Taulukko 1. Suomen verkkoonkytketyt tuulivoimalaitokset. Omistusmuoto-lyhenne on selitetty taulukossa 2. Ensimmäinen laitos, 300 kW Kopparnäs, on purettu vuonna 1995.

Laitos ID	Nimi	Aloituspvm	Omistaja	Omistusmuoto	Yhteyshenkilö	Valmistaja	Teho kW
1	Kopparnäs	11.86	Fortum Power and Heat Oy	V	Kaj Pikulinsky	DWT	(300)
2	Paljasselkä	02.91	Tunturituuli Oy	T	Kimmo Dahl	Nordtank	65
3	Korsnäs 1	11.91	Korsnäsin Tuulivoimapuisto Oy	T	Herbert Byholm	Nordtank	200
4	Korsnäs 2	11.91	Korsnäsin Tuulivoimapuisto Oy	T	Herbert Byholm	Nordtank	200
5	Korsnäs 3	11.91	Korsnäsin Tuulivoimapuisto Oy	T	Herbert Byholm	Nordtank	200
6	Korsnäs 4	11.91	Korsnäsin Tuulivoimapuisto Oy	T	Herbert Byholm	Nordtank	200
7	Sottunga	01.92	Ålands Vindenergiandelslag	T	Robert Mansén	Vestas	225
8	Siikajoki 1	04.93	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	300
9	Siikajoki 2	04.93	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	300
10	Kalajoki 1	04.93	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	300
11	Kalajoki 2	04.93	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	300
12	Kemi 1	08.93	Kemin Tuulivoimapuisto Oy	T	Anne Salo-oja	Nordtank	300
13	Kemi 2	08.93	Kemin Tuulivoimapuisto Oy	T	Anne Salo-oja	Nordtank	300
14	Kemi 3	08.93	Kemin Tuulivoimapuisto Oy	T	Anne Salo-oja	Nordtank	300
15	Pori	09.93	Pori energia	E	Janne Vettervik	Nordtank	300
16	Hailuoto 1	10.93	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	300
17	Hailuoto 2	10.93	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	300
18	Pyhätunturi	10.93	Kemijoki Arctic Technology Oy	M	Esa Aarnio	WindWorld	220
19	Hailuoto 3	04.95	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	500
20	Hailuoto 4	06.95	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	500
21	Eckerö	08.95	Ålands Vindenergiandelslag	T	Robert Mansén	Vestas	500
22	Kuivaniemi	08.95	Kuivaturve Oy	V	Sakari Herva	Nordtank	500
23	Lammasoaiivi 1	10.96	Tunturituuli Oy	T	Kimmo Dahl	Bonus	450
24	Lammasoaiivi 2	10.96	Tunturituuli Oy	T	Kimmo Dahl	Bonus	450
25	li	01.97	lin Energia Oy	E	Risto Paaso	Nordtank	500
26	Siikajoki 3	04.97	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	600
27	Siikajoki 4	04.97	Revon Voima Oy	V	Jussi Malkamäki	Nordtank	600
28	Kökar	10.97	Ålands Vindenergiandelslag	T	Robert Mansén	Enercon	500
29	Lemland 1	11.97	Ålands Vindenergiandelslag	T	Robert Mansén	Vestas	600
30	Lemland 2	11.97	Ålands Skogsägarförbund	M	Robert Mansén	Vestas	600
31	Lemland 3	11.97	Ålands Vindkraft Ab	T	Robert Mansén	Vestas	600
32	Lemland 4	11.97	Ålands Vindenergiandelslag	T	Robert Mansén	Vestas	600
33	Vårdö	09.98	Ålands Vindenergiandelslag	T	Robert Mansén	Enercon	500
34	Finström 1	10.98	Ålands Vindkraft Ab	T	Robert Mansén	Enercon	500
35	Finström 2	10.98	Ålands Vindkraft Ab	T	Robert Mansén	Enercon	500
36	Kuivaniemi 2	10.98	VAPOn tuulivoima Oy	T	Mauno Oksanen	NEGMicon	750
37	Kuivaniemi 3	10.98	VAPOn tuulivoima Oy	T	Mauno Oksanen	NEGMicon	750
38	Kuivaniemi 4	10.98	VAPOn tuulivoima Oy	T	Mauno Oksanen	NEGMicon	750
39	Olos 1	11.98	Tunturituuli Oy	T	Kimmo Dahl	Bonus	600
40	Olos 2	11.98	Tunturituuli Oy	T	Kimmo Dahl	Bonus	600

41	Lammasoaivi 3	11.98	Tunturituuli Oy	T	Kimmo Dahl	Bonus	600
----	---------------	-------	-----------------	---	------------	-------	-----

Vuoden 1998 tilastoissa olevien laitosten käynnistyspäivämäärät vaihtelevat tammiukuusta 1991 (Enontekiön 65 kW laitos) marraskuuhun 1998 (Ahvenanmaan 500 kW laitokset sekä Lapin 600 kW laitokset). Suomen ensimmäinen verkkoonkytketty tuulivoimalaitos, Kopparnäsin 300 kW tutkimuslaitos, purettiin vuonna 1995. Inkoon Kopparnäsin tutkimuslaitokset eivät ole osallistuneet tilastointiin, koska niitä ei ole kytketty pysyvästi verkkoon.

Taulukko 2. Suomen verkkoonkytkettyjen tuulivoimalaitosten omistusmuodot vuonna 1998.

Omistusmuoto		Laitoksia		Kapasiteetti	
		lkm	%	MW	%
V	Voimayhtiö	11	27 %	4.500	26 %
E	Energialaitos	2	5 %	0.800	5 %
T	Tuulivoimayhtiö	25	63 %	11.240	65 %
M	Muu	2	5 %	0.820	4 %
YHTEENSÄ		40	100 %	17.360	100 %

2.1 TUULIVOIMALAITOKSET TYYPEITTÄIN

Suomen tuulivoimalaitokset ovat neljää saksalaista Enerconin laitosta lukuunottamatta tanskalaisvalmisteisia Nordtankin, Vestaksen, Bonuksen ja WindWorldin laitoksia. Nordtankin ja Miconin fuusion seurauksena Nordtank on nykyisin nimeltään NEGMicon.

Taulukko 3. Suomen tuulivoimalaitostyyppit

Valmistaja	Nimellisteho (kW)	Laitosten lkm
Nordtank	300	10
Vestas	600	4
Nordtank	500	4
Nordtank	200	4
Enercon	500	4
NEGMicon	750	3
Bonus	600	3
Nordtank	600	2
Bonus	450	2
WindWorld	220	1
Vestas	500	1
Vestas	225	1
Nordtank	65	1
Yhteensä		40

3 MÄÄRITELMÄT JA TUNNUSLUVUT

Koska tuulivoimalaitokset ovat eri kokoisia, laitosten tuotantoa ei voi suoraan verrata toisiinsa. Tuulivoimalaitosten tuotantoa verrataan yleensä kahden tunnusluvun avulla: suhteuttamalla tuotanto nimellistehoon (huipunkäyttöaika kWh/kW eli h) tai roottorin pyörähdyspinta-alaan (kWh/m²). Mikäli tuulivoimalaitoksen vuosituotanto ylittää 1000 kWh/m² tai huipunkäyttöaika on yli 2400 h, on laitos tuottanut erittäin hyvin. Heikko tunnusluku johtuu joko huonoista tuulisuusolosuhteista (sijointupaikka on huono tai tuulisuus on ollut keskimääräistä heikompaa), suuresta häiriötuntimäärästä, tai teknisistä seikoista: laitos, jolla on suuri roottori suhteessa generaattorin kokoon (niinsanottu heikkojen tuulien laitos) antaa suuren huipunkäyttöajan mutta pienen tuotannon pyörähdyspinta-alaa kohden, kun taas erittäin tuulisille paikoille suunniteltu laitos (suuri generaattori suhteessa roottoriin) antaa päinvastaiset tulokset.

Tuotanto roottorin pyrkäisyypinta-ala kohti e (kWh/m²):
$$e = \frac{Tuot.(kWh)}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Kapasiteettikerroin CF :
$$CF = \frac{Tuot.(kWh)}{Nimellisteho(kW) \cdot tunnit(h)}$$

Huipunkäyttöaika t_h (h):
$$t_h = \frac{Tuot.(kWh)}{Nimellisteho(kW)}$$

Häiriöaika (h): aika, jolloin tuulivoimalaitoksella on käyttökatko huollon, vian, ohimenevän häiriön tai muun pysäytyksen vuoksi. Häiriöaikaan ei lasketa laitoksen normaalitoimintaan kuuluvia aikoja, jolloin tuulen nopeus on alle laitoksen käynnistymisnopeuden (3 ... 5 m/s) tai yli myrskyrajan (20 ... 25 m/s), tai kun lämpötila on alle laitoksen toimintalämpötilarajan (-15 ... -30 °C riippuen laitoksesta). Häiriöaikaan lasketaan mukaan myös sähköverkosta aiheutuneet seisokit, jotka eivät kuitenkaan vähennä laitoksen teknistä käytettävyyttä.

Tekninen käytettävyys (%):
$$\frac{tunnit - (Häiriöaika - sähköverkkohäiriöt)}{tunnit}$$

esim. tekninen käytettävyys vuodelta 1998: tunnit saa arvon 8760 h

Tuotantoindeksi (%): sääasemalta mitattujen tuulennopeushavaintojen perusteella laskettu tuotanto suhteessa 11 vuoden havainnoista laskettuun keskimääräiseen tuotantoon. Tuulennopeushavainnot muutetaan keskitehoksi käyttäen 500 kW tuulivoimalaitoksen tehokäyrää (ilman tiheyden vaikutus tehontuotantoon otetaan huomioon).

Napakorkeus Z (m): korkeus maan pinnasta roottorin (ja navan) keskipisteeseen.

Roottorin halkaisija D (m): laitoksen roottorin halkaisija

4 TUULEN ENERGIASISÄLTÖ

Tuulivoimalle on ominaista tuotannonvaihtelut niin tunti-, kuukausi- kuin vuositasollakin. Tuulienergialle on etsitty indeksi kuvaamaan jakson tuulisuutta verrattuna keskimääräiseen tuulisuuteen (vrt energiatilastojen astepäiväluku, joka kuvaa lämmitysenergian riippuvuutta ulkolämpötilasta).

Indeksiksi on valittu tuotantoindeksi, joka saadaan laskennallisesti muuttamalla Ilmatieteen laitoksen sääasemilla mitatut tuulen nopeustiedot tuulivoimalaitoksen tehokäyrän avulla tehoarvoiksi.

Indeksit lasketaan neljältä sääasemalta, jotka on valittu kuvaamaan Suomen neljää merialuetta (mittausmaston korkeus ilmoitettu suluissa):

1. Suomenlahti: Helsinki Isokari (17 m)
2. Ahvenanmaa ja Saaristomeri: Korppoo Utö (17 m)
3. Selkämeri ja Merenkurkku: Mustasaari Valassaaret (18 m)
4. Perämeri: Kemi Ajos (34 m).

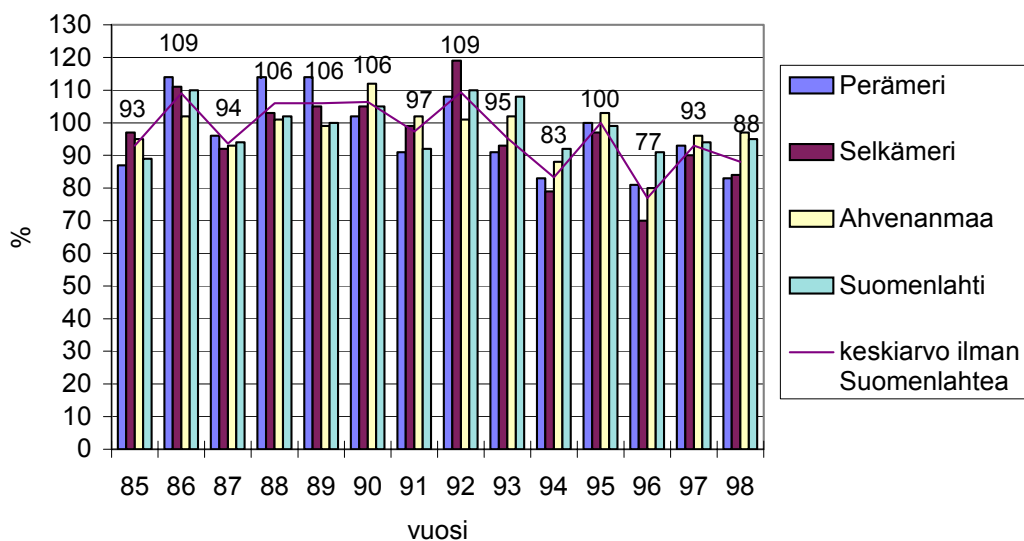
Lapin tunturialueilta ei valitettavasti ole saatavilla pitkän ajan keskiarvon määrittämiseen vaadittavaa havaintoaineistoa, joten Lapin indeksiä ei voida vielä määrittää.

Pitkän ajan keskimääräisenä referenssijaksona on käytetty 11 vuoden 1985 – 95 perusteella laskettua tuotantoa. Kemi Ajoksesta ja Korppoo Utöstä on kahden ensimmäisen vuoden 1985 – 86 tuulennopeusarvot korjattu vastaamaan nykyistä, korkeampaa mittarin korkeutta, jotta näiltä asemilta saataisiin yhtä pitkä vertailuajanjakso kuin muilta asemilta /2/.

4.1 TUOTANTOINDEKSIT

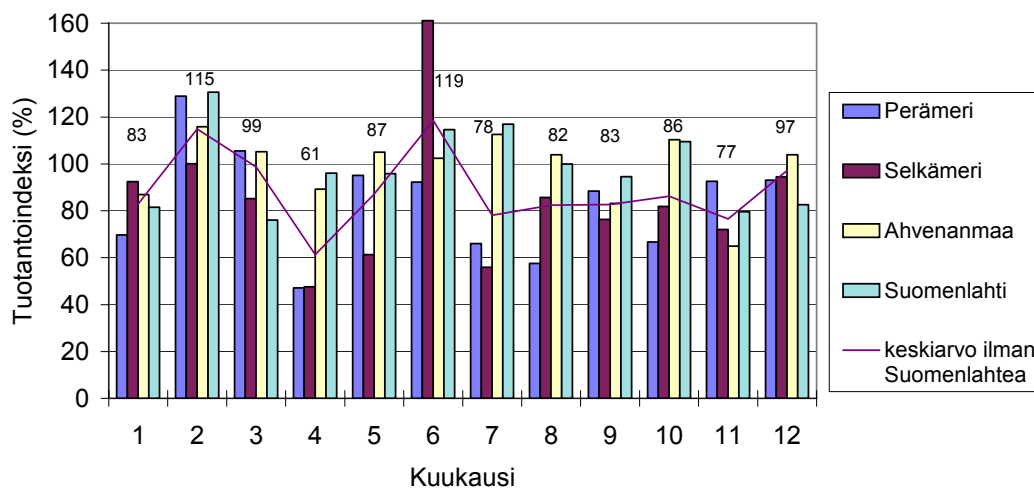
Vuosi 1998 oli lähes keskimääräinen tuulisuudeltaan Ahvenanmaalla, mutta Selkä- ja Perämerellä keskimääräistä tynnempi. Ilmatieteen laitoksen tuotantoindeksien mukaan tuulivoimalaitosten tuotanto vuonna 1998 oli Pohjanlahdella 83 – 84 % ja Ahvenanmaalla 97 % keskimääräisestä tuotannosta. Koska Suomenlahdella ei ole verkkoonkytkettyjä tuulivoimaloita, on indeksien keskiarvo laskettu Perämeren, Selkämeren ja Ahvenanmaan indeksien keskiarvona (kuva 2). Kuukausitason indeksit vuodelta 1998 on esitetty kuvassa 3. Helmi- ja kesäkuu olivat keskimääräistä tuulisempia, tammi-, syys- ja marraskuu puolestaan keskimääräistä tynnempinä. Lisäksi on nähtävissä selviä eroja eri merialueiden tuulisuudessa.

Tuulivoiman tuotantoindeksit



Kuva 2. Tuulivoiman tuotantoindeksit Suomen rannikolla vuosina 1985 – 1998. Keskiarvo kolmesta asemasta on merkitty viivalla ja numeroilla.

Tuulivoiman tuotantoindeksit 1998

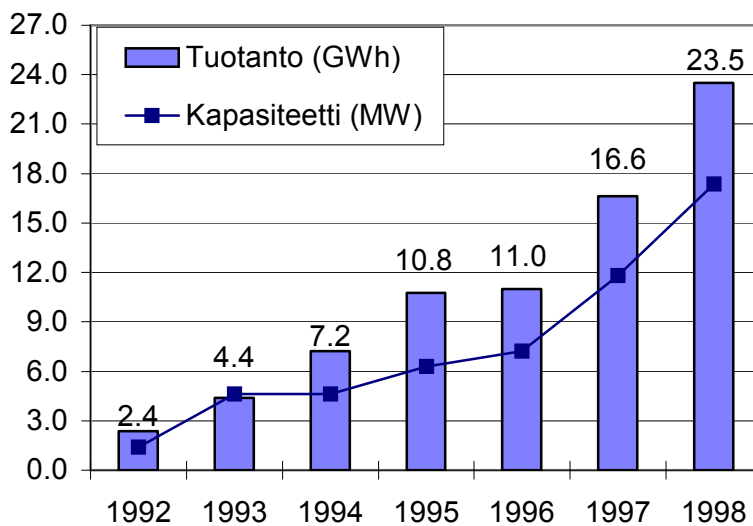


Kuva 3. Vuoden 1998 kuukausittaiset tuotantoindeksit neljältä sääasemalta. Keskiarvo kolmesta asemasta on merkitty viivalla ja numeroilla.

5 ASENNETUN TEHON JA TUOTANNON KEHITYS

5.1 TEHO JA SÄHKÖNTUOTANTO 90-LUVULLA

Tuulivoimalaitosten kapasiteetti on vuodesta 1991 kasvanut 0 – 5,5 MW vuosivauhtia ja tuotanto vastaavasti 0,2 – 6,9 GWh. Vuosi 1998 oli tähän mennessä paras: kasvua edellisvuoteen verrattuna kapasiteetissa 5,55 MW (46 %) ja tuotannossa 6,9 GWh (42 %). Tuotannon kehitys 1992 – 98 on esitetty kuvan 4 pylväinä. Samassa kuvassa näkyy myös asennettu kapasiteetti vuoden lopussa.

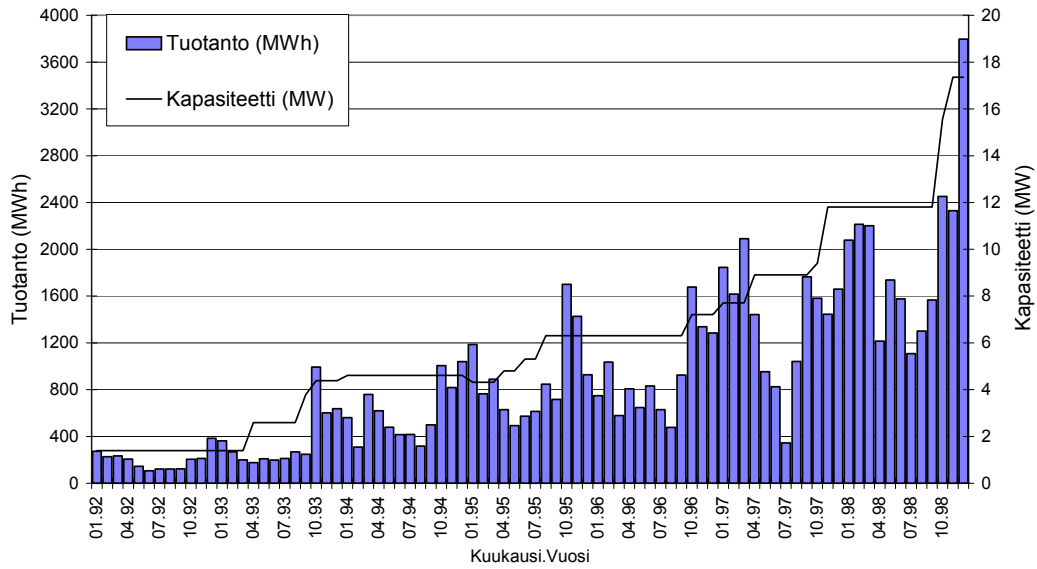


Kuva 4. Asennetun tuulivoimakapasiteetin ja tuotannon kehitys Suomessa vuosina 1992 – 1998.

Taulukko 4. Suomeen rakennetun tuulivoimakapasiteetin kehittyminen vuosina 1991 – 1998.

Vuosi	Vuoden lopussa		Vuoden aikana asennettu		Vuoden lopussa	
	MW	lkm	MW	lkm	MW kumul.	lkm
1991	0.865	5			1.165	6
1992	0.225	1			1.39	7
1993	3.22	11			4.61	18
1994	0	0			4.61	18
1995*	2	4			6.31	21
1996	0.9	2			7.21	23
1997	4.6	8			11.81	31
1998	5.55	9			17.36	40

* Kopparnäsin 300 kW laitos purettiin vuonna 1995.

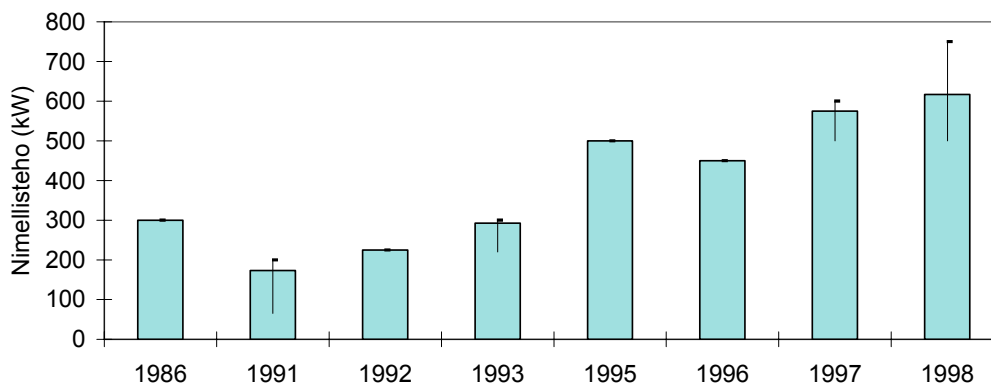


Kuva 5. Tuulivoimatuotanto ja asennettu kapasiteetti Suomessa kuukausittain vuosina 1992 – 1998.

5.2 LAITOSKOON KEHITYS

Asennetun uuden kapasiteetin keskitiho on kasvanut 173 kW:sta (vuonna 1991) 617 kW:iin (vuonna 1998). Vuoden 1998 lopussa Suomen tuulivoimalaitosten keskikoko oli 434 kW (40 laitosta, yht. 17360 kW).

Uuden tuulivoimakapasiteetin keskiteho



Kuva 6. Vuosittain asennetun uuden tuulivoimakapasiteetin keskitehon kehitys 1986 – 1998. Laitoskoon vaihteluväli näkyy pystysuorana viivana.

5.3 TUNNUSLUKUJA

Eri vuosien tuotannon vertailemiseksi on laitosten yhteenlasketusta tuotannosta laskettu keskimääräiset tunnusluvut taulukkoon 5. Taulukossa on myös yksittäisten laitosten maksimi- ja minimiarvot. Laskelmiin on otettu mukaan ainoastaan ne laitokset, jotka ovat olleet koko vuoden toiminnassa. Tutkimuslaitokset eivät ole mukana taulukon luvuissa.

Taulukko 5. Standardilaitosten yhteenlasketusta tuotannosta laskettuja tunnuslukuja vuosilta 1992 – 1998. Taulukossa näkyvät myös yksittäisten laitosten suurimmat ja pienimmät tunnusluvut.

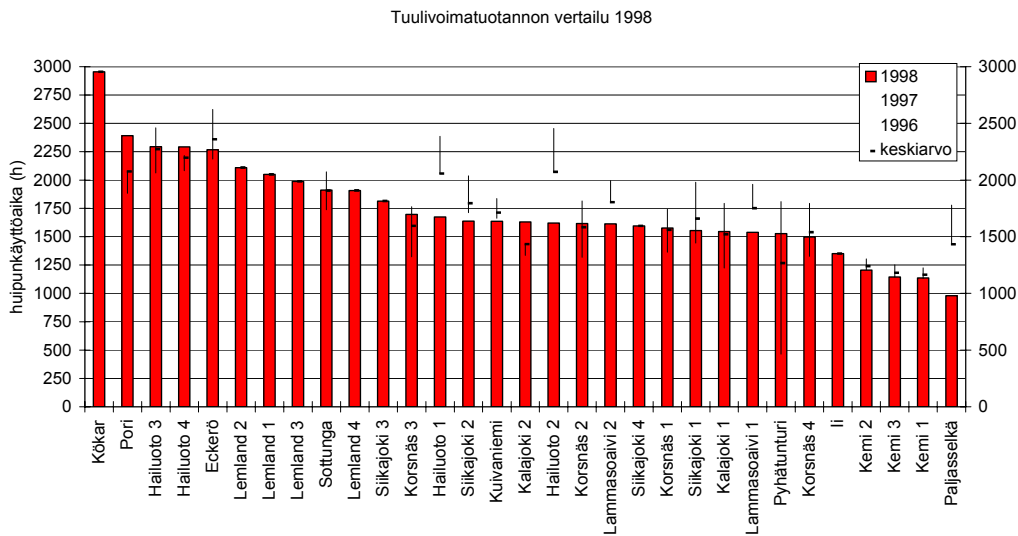
Vuosi	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Laitosten lukumäärä	4	5	15	15	19	21	29
Vuosituotanto (MWh)	1644	1838	6707	8123	10049	13553	21063
Eniten tuottaneen laitoksen tuotanto	425	530	694	812	1085	1312	1477
Vähiten tuottaneen laitoksen tuotanto	382	318	307	385	263	349	299
Huipunkäyttöaika keskimäärin (h)	2073	1793	1666	2018	1668	1929	1828
Suurin huipunkäyttöaika	2125	2354	2314	2706	2170	2623	2954
Pienin huipunkäyttöaika	1908	1590	1032	1370	1131	1224	1136
Tuotanto pyyhkäisyypinta-alaa kohti keskimäärin (kWh/m²)	865	736	670	813	663	790	727
Suurin tuotanto kWh/m ²	894	925	920	1076	953	1126	1158
Pienin tuotanto kWh/m ²	803	669	410	545	450	486	452
Kapasiteettikerroin keskimäärin	0,24	0,20	0,19	0,23	0,19	0,22	0,21
Suurin kapasiteettikerroin	0,24	0,27	0,26	0,31	0,25	0,30	0,34
Pienin kapasiteettikerroin	0,22	0,18	0,12	0,16	0,13	0,14	0,13

Vuoden 1998 keskimääräiset tunnusluvut ovat heikompia kuin vuonna 1997. Tämä johtuu toisaalta Pohjanlahden heikommista tuuliolosuhteista vuonna 1998 ja toisaalta tuotantotappioita aiheuttaneista laitevaurioista kahdeksassa laitoksessa. Suurimpien tunnuslukujen osalta saavutettiin ennätys vuoden 1998 aikana Ahvenanmaan Kökarin hyvin tuottaneen laitoksen ansiosta: huipunkäyttöaika 2954 h, kapasiteettikerroin 34 % ja tuotanto pyyhkäisyypintalalle 1158 kWh/m².

6 TUOTANTOVERTAILUJA

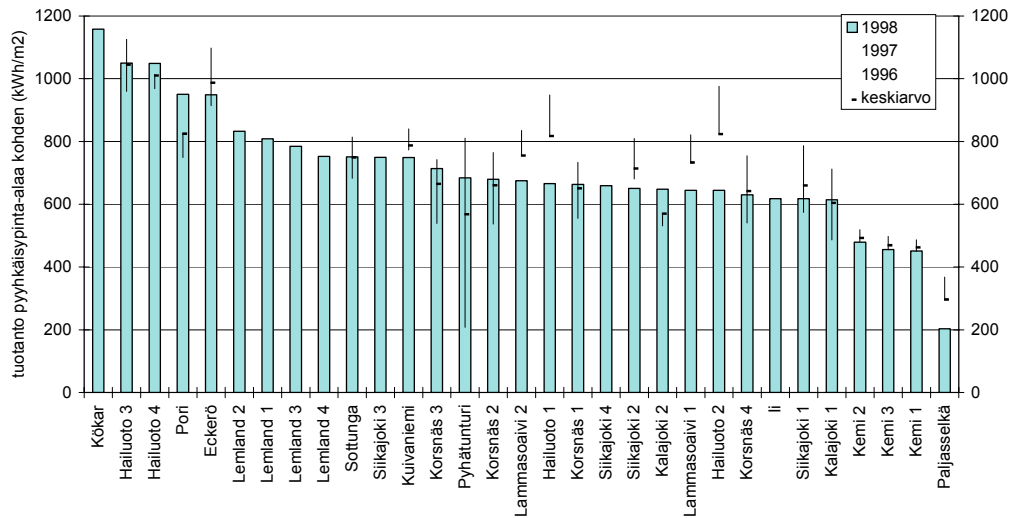
6.1 TUOTANNON TUNNUSLUVUT VUONNA 1998

Eri nimellistehoisten tuulivoimalaitosten tuotannon vertailemiseksi on laitosten vuosituotannon tunnusluvut esitetty kuvina (kuvat 7 – 8). Parhaat laitokset ovat ylittäneet yli 2200 h huipunkäyttöaikaan ja yli 900 kWh/m² tuotantoon pyyhkäisyypinta-alaa kohti (Ahvenanmaan Kökar ja Eckerö, Perämeren Hailuoto ja Selkämeren Pori). Kuvissa on esitetty vaihteluvälinä vuosien 1997 ja 1996 tuotannosta lasketut tunnusluvut niille laitoksille, jotka oli asennettu näiden vuosien alussa. Vuosi 1998 oli keskimääräinen Ahvenanmaalla ja keskimääräistä vähätuulisempi Pohjanlahdella, vuosi 1997 oli lähes keskimääräinen ja 1996 erittäin vähätuulinen verrattuna pitkän ajan keskiarvoon. Eri vuosien tuotantoluvuista näkyy myös isommat laiterikot: vuonna 1997 Pyhätunturin, Porin ja Kalajoki 2:n sekä vuonna 1998 Hailuoto 1 ja 2:n, Siikajoki 1 ja 2:n ja Kuivaniemen kohdalla.



Kuva 7. Suomen tuulivoimalaitokset vuoden 1998 huipunkäyttöajan mukaisessa järjestyksessä. Vertailun vuoksi on merkitty pystysuoralla viivalla vaihteluväliksi vuosien 1997 ja 1996 huipunkäyttöajat sekä vaakasuoralla viivalla kolmen vuoden keskiarvo.

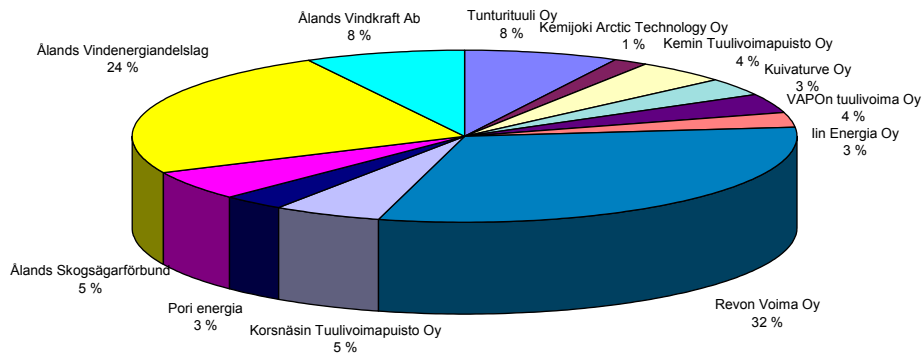
Tuulivoimatuotannon vertailu 1998



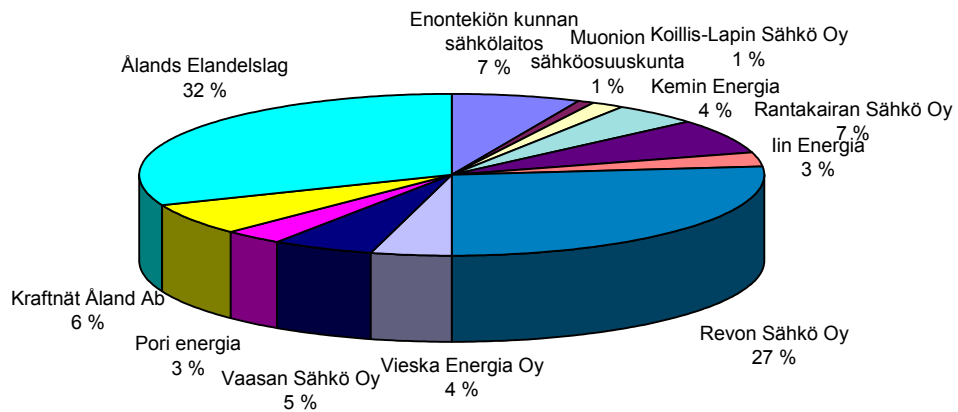
Kuva 8. Suomen tuulivoimalaitokset järjestettynä vuoden 1998 ominaistuotannon (tuotanto pyyhkäisy-pinta-alaa kohden) mukaan. Vertailun vuoksi on merkitty pystysuoralla viivalla vaihteluväliksi vuosien 1997 ja 1996 ominaistuotannot sekä vaakasuoralla viivalla kolmen vuoden keskiarvo.

6.2 TUOTANNON JAOTTELUJA VUODELTA 1998

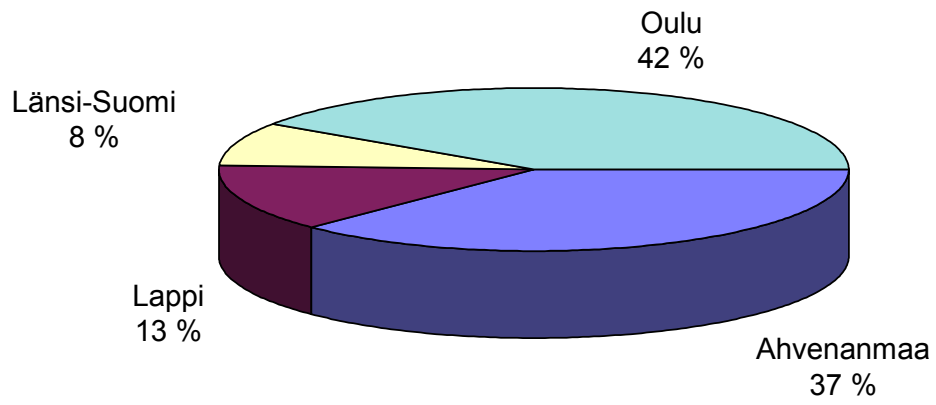
Tuulivoimatuotanto vuonna 1998 jaoteltuna omistajien mukaan on esitetty kuvassa 9. Suurimmat tuulivoimatuottajat olivat Revon Voima Oy (32 % Suomen tuulisähköstä) ja Ålands Vindenergiandelslag (24 %). Kuvassa 10 on esitetty ne jakeluverkkoyhtiöt, joiden verkkoon tuulivoimaa on vuonna 1998 syötetty. Tuulivoimatuotannon jakautuminen lääneittäin on esitetty kuvassa 11. Oulun läänissä tuotettiin 1998 Suomen tuulisähköstä 42 % ja Ahvenanmaalla 37 %.



Kuva 9. Tuulivoimalaitosten omistajien osuudet tuulivoimatuotannosta vuonna 1998.



Kuva 10. Jakeluverkkoyhtiöiden osuudet tuulivoiman tuotannosta vuonna 1998.



Kuva 11. Läänien osuudet tuulivoiman tuotannosta 1998.

7 KÄYTTÖKATKOT

7.1 TEKNINEN KÄYTETTÄVYYS

Tuulivoimalaitosten tekniset käytettävyydet ovat pääosin edelleen pysyneet korkeina vuonna 1998: 17 standardilaitoksella 29:stä tekninen käytettävyys oli yli 95 %. Vuonna 1998 oli kuitenkin poikkeuksellisen paljon suurempia komponenttirikkoja, yhteensä 10 laitoksella: vaihdelaatikko vaihdettiin kuuteen, generaattori kolmeen ja lavat yhteen laitokseen. Seitsemällä laitoksella tekninen käytettävyys putosi alle 90 %:iin. Lisäksi viidellä laitoksella käytettävyys oli hieman pienentynyt eli välillä 90 – 95 %. Keskimääräinen käytettävyys koko vuoden toiminnassa olleille laitoksille on ollut 94,2 % (standardilaitoksille). Teknisessä käytettävyydessä ei ole otettu huomioon sähköverkon aiheuttamia käyttökatkoja. Muut häiriöt (vuosihuollot, korjaukset ja häiriöt jolloin tuulivoimala ei ole ollut valmiustilassa) on otettu huomioon käytettävyyttä vähentävinä (kts. luku 3)

7.2 KÄYTTÖKATKOJEN ERITTELYT

Käyttökatkojen aiheuttamat häiriöajat on jaoteltu taulukossa 6 häiriön synn mukaan. Huollot ovat suunniteltuja huoltoja, jotka tuulivoimalaitoksissa tehdään yleensä puolivuositain. Kohtaan häiriöt on kerätty ne keskeytykset, joissa toimenpiteeksi on riittänyt voimalan manuaalinen uudelleenkäynnistys. Kohdassa muu syy on esim. tutkimuksen tai esittelyn vuoksi aiheutunut häiriöaika. Vika tarkoittaa niitä tapauksia, joissa on jouduttu tekemään korjaustoimenpiteitä.

Taulukossa 7 vikatunnit on jaoteltu lisäksi vikaantuneen komponentin ja vian synn mukaan, ja taulukossa näkyy myös komponenttivikojen lukumäärät. Komponentit on ryhmitelty kuvaan 12, jossa näkyy käyttökatkojen jakautuminen eri komponenttien välille.

Vuonna 1998 oli poikkeuksellisen paljon suurten komponenttien laiterikkoja: 6 vaihdelaatikkoa ja kolme generaattoria vaihdettiin, lisäksi yhden laitoksen lavat vaihdettiin. Osa laiterikoista tapahtui takuuaikana, osa vanhemmille laitoksille. Nämä kymmenen laiterikkoa aiheuttivat lähes 60 % kaikesta häiriöajasta, ja johtivat keskimääräisen teknisen käytettävyyden putoamiseen 3,5 prosenttiyksiköllä. Vuonna 1998 välttyttiin suuremmilta samamavaurioilta, salama vaurioitti ainoastaan kahden paikan modeemiyhteyttä.

Taulukko 6. Suomen tuulivoimalaitosten käyttökatkot vuonna 1998. Häiriötunnit on eritelty häiriön syyän mukaan.

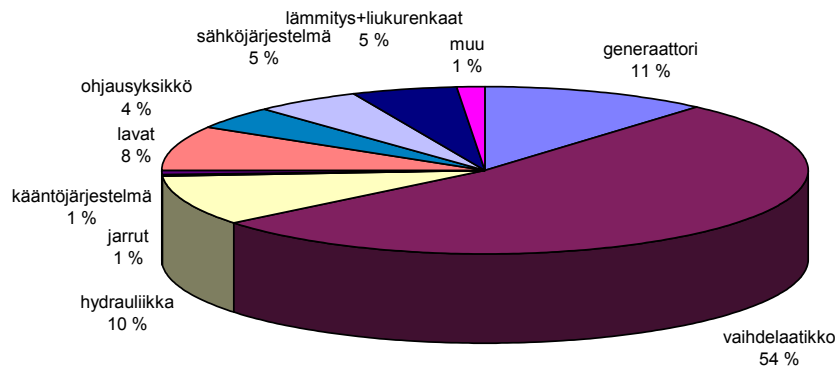
Häiriö	Häiriöaika standardilaitokset	Häiriöaika tutk. laitokset	Häiriöaika kaikki laitokset
huolto	398	26	424
häiriö	1571	32	1603
jäätyminen	168	0	168
muu syy	166	430	596
sähköverkko	319	0	319
vika	13177	744	13921
YHTEENSÄ	15799	1232	17031
% ajasta	5,9 %	7,0 %	6,0 %

Jäätymistapauksia raportoitiin vähemmän kuin edellisinä vuosina. Jos lasketaan sekä raportoidut lapojen ja tuulimittareiden jäätymiset rannikon laitoksissa että viat, jotka ovat aiheutuneet jäästä tai kylmästä, saadaan näiden käyttökatkojen osuudeksi 18 ja 20 % vuosina 1996 ja 1997, ja 6 % vuonna 1998.

Taulukko 7. Suomen tuulivoimalaitoksissa sattuneet viat vuonna 1998: häiriötunnit komponenttien ja vian aiheuttajien mukaan.

Komponentti	Häiriö- aika yht.	vikojen lkm yht.	jää/ lumi	kulu- minen	käyttö- virhe	muu	myrs- ky	oiko- sulku	salama	säätöjärj. toiminta- virhe	valmis- tusvirhe
generaattori	1569	4		50				1519			
vaihdelaatikko	1063	2		1063							
vaihteen ham- maspyörät	6307	4		6307							
lapa	1183	6	744	15							424
hydrauliikka	1329	5	28	1231		70					
ilmajarrut	70	1		70							
liukurenkaat	120	1		120							
lämmitys	604	4		504							100
mekaaninen jarru	5	1		5							
kääntömoottori	110	1		110							
ohjausyksikkö	356	2		126							230
anturit	259	4			7	40				6	206
releet	176	2		100				76			
kytkimet	325	4		325							
tehoelektroniikka	193	2				43				150	
verkkoonkytkentä	66	3					66				
muu	186	6				174		12			
YHTEENSÄ	13921	52	772	10026	7	327	66	1595	12	156	960
% häiriöajasta			6 %	72 %	0 %	2 %	0 %	11 %	0 %	1 %	7 %

Viat 1998



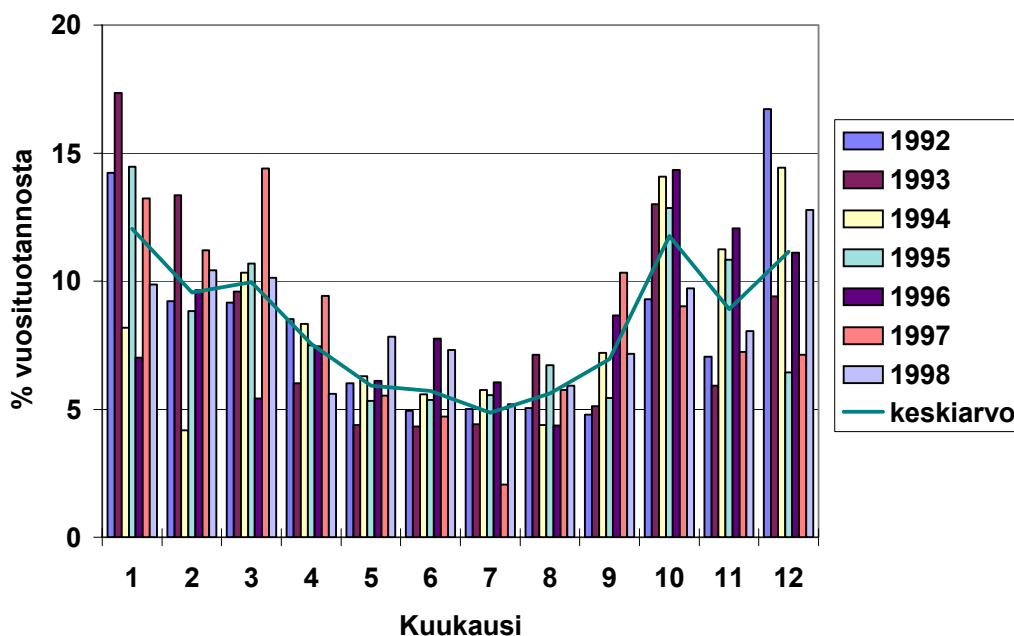
Kuva 12. Tuulivoimalaitoksissa aiheutuneiden vikojen jakautuminen eri komponenteille vuonna 1998.

8 TUULIVOIMA JA SÄHKÖN KULUTUS

Tuulivoiman tuotanto on talvella suurempaa kuin kesällä, joten tuotanto seuraa sähkön kulutusta siinä suhteessa. Kun sähkön kulutuksessa on huippu, ei tuulivoimaa kuitenkaan aina ole saatavilla. Valtakunnan huipun aikaista tuulivoimaa voidaan käyttää hyväksi, kun arvioidaan tuulivoiman kapasiteettivaikutusta valtakunnan ja jakelusähkölaitoksen kannalta. Tutkimusten perusteella tuulivoiman kapasiteettivaikutus valtakunnan tasolla on tuotannon kapasiteettikertoimen suuruusluokkaa /3/.

8.1 TUULIVOIMAN KAUSIVAIHTELU

Tuulivoimatuotanto on yleensä talvikuukausina huomattavasti suurempaa kuin kesäkuukausina /4/. Vuosien 1992 – 1998 tuotannot kuukausittain on esitetty kuvassa 13. Mukana ovat ainoastaan ne voimalaitokset, jotka ovat olleet käytössä koko vuoden (tutkimuslaitoksia ei ole mukana).



Kuva 13. Tuulivoiman kausivaihtelu: Suomen standardilaitosten yhteenlasketun tuotannon jakautuminen eri kuukausille vuosina 1992 – 1998.

8.2 TUULIVOIMATUOTANTO VALTAKUNNAN HUIPUN AIKANA

Tuulivoimalaitosten tuntitehot on kysytty valtakunnan huippujen ajalta (taulukko 8). Kaikista laitoksista ei ole ollut käytettävissä tuntitehoja, joten taulukossa 8 on ilmoitettu kunkin vuoden kohdalla kyselyyn vastanneiden laitosten nimellisteho, ja tuotettu teho prosenttina nimellistehosta.

Taulukko 8. Tuulivoimatuotanto valtakunnan kulutushuipun aikana.

Talvikausi	Valtakunnan huippu	Tuulivoiman tuntiteho	% nimellistehosta	Nimellisteho
91/92	20.1.92 klo 09-10	634 kW	79 %	0,8 MW
92/93	27.1.93 klo 09-10	0 kW	0 %	0,8 MW
93/94	11.2.94 klo 20-21	529 kW	13 %	4,0 MW
94/95	31.1.95 klo 20-21	1364 kW	36 %	3,8 MW
95/96	9.2.96 klo 20-21	42 kW	1 %	5,3 MW
96/97	19.12.96 klo 08-09	1679 kW	35 %	4,8 MW
97/98	2.2.98 klo 08-09	1061 kW	16 %	6,5 MW
98/99	29.1.99 klo 08-09	3035 kW	20 %	15,47 MW

Taulukon 8 perusteella saadaan kahdeksan vuoden keskimääräiseksi tuulivoimatuotannoksi 25 % (tuulivoimateholla painotettu keskiarvo 20 %), mikä on tuotannon kapasiteettikertoimen suuruusluokkaa. Tämä aineisto ei kuitenkaan vielä riitä määrittämään keskimääräistä käyttöastetta huipun aikana eikä sitä voida suoraan rinnastaa kapasiteettivaikutukseen.

9 VUODEN 1998 TUOTANTOTILASTO

Taulukko 9. Suomen tuulivoimalaitosten tuotantotilasto 1998.

Nimi	Teho kW	Valmistaja	Z/D m	Arvio MWh	Tuotanto MWh	t _h h	e kWh/m ²	CF	Häiriöaika h	Käytettävyys
Paljasselkä	65	Nordtank	26/20		64	980	203	0.11	15	100%
Korsnäs 1	200	Nordtank	32/25	380	315	1577	663	0.18	791	91%
Korsnäs 2	200	Nordtank	32/25	380	323	1616	680	0.18	267	97%
Korsnäs 3	200	Nordtank	32/25	380	339	1697	714	0.19	405	96%
Korsnäs 4	200	Nordtank	32/25	380	299	1497	630	0.17	1046	88%
Pyhäntunturi	220	WindWorld	31/25	600	336	1527	684	0.17	1217	86%
Sottunga	225	Vestas	30/27	450	430	1911	751	0.22	18	100%
Siikajoki 1	300	Nordtank	30/31	650	466	1555	618	0.18	1402	84%
Siikajoki 2	300	Nordtank	30/31	670	491	1637	650	0.19	1515	83%
Kalajoki 1	300	Nordtank	30/31	660	464	1545	614	0.18	41	100%
Kalajoki 2	300	Nordtank	30/31	660	489	1630	648	0.19	9	100%
Kemi 1	300	Nordtank	35/31	610	341	1136	452	0.13	104	99%
Kemi 2	300	Nordtank	35/31	610	362	1206	479	0.14	98	99%
Kemi 3	300	Nordtank	35/31	610	344	1145	455	0.13	231	97%
Pori	300	Nordtank	30/31	700	717	2391	950	0.27	8	100%
Hailuoto 1	300	Nordtank	30/31	725	502	1675	666	0.19	1768	80%
Hailuoto 2	300	Nordtank	30/31	725	486	1620	644	0.18	1923	78%
Lammasoivi 2	450	Bonus	35/37	1100	726	1612	675	0.18	588	93%
Lammasoivi 1	450	Bonus	35/37	1100	693	1539	644	0.18	1346	85%
Hailuoto 3	500	Nordtank	35/37	1195	1147	2294	1050	0.26	55	99%
Hailuoto 4	500	Nordtank	37/37	1275	1146	2292	1049	0.26	9	100%
Kuivaniemi 1	500	Nordtank	35/37	1060	818	1636	749	0.19	619	93%
li	500	Nordtank	39/37	1030	675	1351	618	0.15	307	97%
Eckerö	500	Vestas	40/39	1200	1134	2268	949	0.26	548	94%
Kökar	500	Enercon	44/40	1200	1477	2954	1158	0.34	134	99%
Vårdö	500	Enercon	55/40	1200	311	aloitti syyskuussa -98			25	99%
Finström 1	500	Enercon	55/40	1200	313	aloitti lokakuussa -98			70	97%
Finström 2	500	Enercon	55/40	1200	300	aloitti lokakuussa -98			117	95%
Siikajoki 3	600	Nordtank	49/43	1350	1088	1814	749	0.21	525	94%
Siikajoki 4	600	Nordtank	45/44	1350	957	1595	659	0.18	1128	87%
Lemland 1	600	Vestas	45/44	1200	1230	2049	809	0.23	265	97%
Lemland 2	600	Vestas	45/44	1200	1266	2110	833	0.24	46	100%
Lemland 3	600	Vestas	45/44	1200	1193	1988	784	0.23	48	100%
Lemland 4	600	Vestas	50/44	1200	1144	1907	753	0.22	52	100%
Lammasoivi 3	600	Bonus	41/44	1400	85	aloitti marraskuussa -98			36	100%
Olos 1	600	Bonus	41/44	1400	128	aloitti marraskuussa -98			6	100%
Olos 2	600	Bonus	41/44	1400	100	aloitti marraskuussa -98			106	93%
Kuivaniemi 2	750	NEGMicon	50/44	1500	289	aloitti lokakuussa -98			60	98%
Kuivaniemi 3	750	NEGMicon	50/44	1500	276	aloitti lokakuussa -98			57	98%
Kuivaniemi 4	750	NEGMicon	50/44	1500	270	aloitti lokakuussa -98			50	98%
YHTEENSÄ	17360			38150	23533					
KESKIARVO	434					1734	709	0.20	533	94%
Maksimi	750			1500	1477	2954	1158	0.34	1923	100%
Minimi	65			380	64	980	203	0.11	8	78%

Teho	Nimellisteho
Z/D	Napakorkeus ja roottorin halkaisija
Arvio	Keskimääräinen arvioitu vuosituotanto
t_h	Huipunkäyttöaika kWh/kW
e	Tuotanto suhteessa roottorin pyyhkäisyypinta-alaan kWh/m ²
CF	Kapasiteettikerroin (kWh/kW,h)
Käytettävyys	Tekninen käytettävyys (häiriöajasta on vähennetty sähköverkkohäiriöt)

LÄHDELUETTELO

/1/ Andersson, A., Olsson, G. Driftuppföljning av Vindkraftverk över 50 kW. Årsrapport 1996. Vattenfall, Tukholma, 1997.

/2/ Tammelin, B., Hyvönen, R. Tuulivoiman tuotantoindeksit. Taustaraportti. Ilmatieteen laitos, Helsinki, 1999 (julkaistaan myöhemmin tänä vuonna).

/3/ Peltola, E., Petäjä, J. Tuulivoima Suomen energiahuollossa. VTT Julkaisuja 775, Espoo, 1993.

/4/ Holttinen, H. et al. Tuulivoimatuotannon vaihtelut ja niiden arviointi. VTT Tiedotteita 1800, Espoo, 1996.