



TUULIVOIMAN
TUOTANTOTILASTOT.
VUOSIRAPORTTI 2000

VTT Energian raportteja 13/2001

Hannele Holttinen, Timo Laakso, Mauri Marjaniemi

VTT Energia
PL 1606, 02044 VTT
puh. (09) 456 5005, telefax (09) 456 6538

Toukokuu 2001

ISSN 1457-3350

VTT Energian raportteja 13/2001

<p>Suorittajaorganisaatio ja osoite VTT Energia, Energijärjestelmät PL 1606 02044 VTT</p> <p>Projektipäällikkö Hannele Holttinen hannele.holttinen@vtt.fi</p> <p>Asiasanat Tuulivoima, tuulienergia, tilastot, Suomi</p>	<p>Raportin numero VTT Energian raportteja 13/2001</p> <p>VTT:n diaarinumero</p> <p>UDK-numerot</p>	
<p>Projektin nimi ja projektinumero Tuulivoimatilastot. 64TUULITIL, N15SU00191.</p>	<p>Raportin sivumäärä 34 s. + liitt. 5 s</p>	<p>Päiväys 30.5.2001</p>
<p>Raportin nimi ja kirjoittajat Hannele Holttinen, Timo Laakso, Mauri Marjaniemi</p> <p>Tuulivoiman tuotantotilastot. Vuosiraportti 2000</p>		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Suomen tuulivoimatuotanto oli 76,6 GWh vuonna 2000 (noin 0,1 % Suomen sähkönkulutuksesta). Tuulivoimakapasiteetti vuoden 2000 lopussa oli sama kuin vuoden 1999 lopussa eli 37,9 MW:a (63 laitosta). Tuulivoiman tuotanto kasvoi vuodesta 1999 27,5 GWh (56%). Tuulivoimakapasiteetti on Suomessa vielä pieni verrattuna useimpiin muihin EU-maihin. Maailman tuulivoimakapasiteetti oli vuoden lopussa 18 400 MW, ja tästä on Euroopassa noin 13600 MW.</p> <p>Kaupallisten tuulivoimalaitosten taloudellisin koko on kasvanut jatkuvasti, tällä hetkellä eniten myydään 600...1300 kW laitoksia. Vuonna 1991 pystytettyjen laitosten keskikoko oli alle 200 kW ja vuonna 1999 894 kW. Kaikkien Suomen tuulivoimalaitosten keskiteho oli vuoden lopussa 602 kW (434 kW vuonna 1998).</p> <p>Vuosi 2000 oli keskimääräinen Ahvenanmaalla ja Suomenlahdella. Selkä- ja Perämerellä vuosi oli keskimääräistä tynyempi. Keskimääräinen kapasiteettikerroin tuulivoimalaitoksilla oli 23 %. Ilmatieteen laitoksen tuotantoindeksien mukaan tuulivoimalaitosten tuotanto vuonna 2000 oli Pohjanlahdella 76–82 %, Ahvenanmaalla 97 % ja Suomenlahdella 102 % keskimääräisestä tuotannosta. Tuotantoindeksien käyttämä keskimääräinen tuotanto lasketaan 11 vuoden (vv. 1985–95) tuulennopeushavainnoista.</p> <p>Tuulivoimalaitosten tekninen käytettävyys on kaupallisessa käytössä olevilla voimalaitoksilla yleisesti ottaen korkea. Vuonna 2000 tekninen käytettävyys oli 94,3 %. Keskimääräinen käytettävyys vuosina 1996–2000 oli 95,6 %.</p> <p>Vuosiraportti sisältää laitosten tuotanto- ja käytettyystietojen lisäksi vika- ja häiriötilaston vuodelta 2000, tuotantovertailuja mm. tunnuslukuina ja alueittain sekä valtakunnan huipun aikaiset tuulivoiman tuntitehot.</p>		
<p>Jakelu: VTT Energia, kirjasto, PL 1606 02044 VTT, puh. 09 4561, telefax 09 456 5000,</p>		
<p>Raportin päävastuullinen laatija</p> <p>Tutkija Hannele Holttinen</p>	<p>Tarkastanut</p> <p>Tuotepäällikkö Esa Peltola</p>	
<p>Hyväksynyt</p> <p>Tutkimuspäällikkö Ritva Hirvonen</p>	<p>Julkisuus</p> <p>Julkinen</p>	

TIIVISTELMÄ

Suomen tuulivoimatuotanto oli vuonna 2000 76,6 GWh (noin 0,1 % Suomen sähkönkulutuksesta). Tuulivoimakapasiteetti vuoden 2000 lopussa oli sama kuin vuoden 1999 lopussa eli 37,9 MW:a (63 laitosta). Tuulivoiman tuotanto kasvoi vuodesta 1999 27,5 GWh (56%). Suomen tuulivoimakapasiteetti on tällä hetkellä vielä pieni verrattuna useimpiin muihin EU-maihin (esim. Ruotsissa 265 MW, Tanskassa yli 2300 MW ja Saksassa 6100 MW vuoden 2000 lopussa). Maailman tuulivoimakapasiteetti oli vuoden lopussa 18400 MW josta vuoden 2000 aikana asennettua kapasiteettia noin 4500 MW.

Tuulivoima on osana kauppa- ja teollisuusministeriön vuonna 1999 valmistunutta Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmaa, jossa tuulivoimalle on asetettu tavoitteeksi 500 MW vuonna 2010. Tuulivoima saa Suomessa tuotantotukea (4,1 p/kWh) sekä investointitukea jopa 40 % investoinnista. Investointituen suuruus päätetään projektikohtaisesti.

Kaupallisten tuulivoimalaitosten taloudellisin koko on kasvanut jatkuvasti, tällä hetkellä eniten myydään 600...1300 kW laitoksia. Vuonna 1991 pystytettyjen laitosten keskikoko oli alle 200 kW ja vuonna 1999 894 kW. Kaikkien Suomen tuulivoimalaitosten keskiteho oli vuoden 2000 lopussa 602 kW (434 kW vuonna 1998).

Vuosi 2000 oli keskimääräinen Ahvenanmaalla ja Suomenlahdella. Selkä- ja Perämerellä vuosi oli keskimääräistä tyynempi. Keskimääräinen kapasiteettikerroin tuulivoimalaitoksilla oli 23 %. Ilmatieteen laitoksen tuotantoindeksien mukaan tuulivoimalaitosten tuotanto vuonna 2000 oli Pohjanlahdella 76–82 %, Ahvenanmaalla 97 % ja Suomenlahdella 102 % keskimääräisestä tuotannosta. Tuotantoindeksien käyttämä keskimääräinen tuotanto lasketaan 11 vuoden (vv. 1985–95) tuulenopeushavainnoista.

Tuulivoimalaitosten tekninen käytettävyys on kaupallisessa käytössä olevilla voimalaitoksilla yleisesti ottaen korkea. Vuonna 2000 tekninen käytettävyys oli 94,3 %. Laitosten keski-ikä oli vuoden lopussa 3,8 vuotta. Keskimääräinen käytettävyys vuosina 1996-2000 oli 95,6 %.

Vuosiraportti sisältää laitosten tuotanto- ja käytettyystietojen lisäksi vika- ja häiriötilaston vuodelta 2000, 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.

Holttinen, H., Laakso, T., Marjaniemi, M., Wind power production statistics in Finland. Year report 2000, VTT Energian raportteja 13/2001 - VTT Energy Reports 13/2000, Espoo 2001, s./p. 34 + liitt./app. 5 p.

Keywords: wind power, power generation, failures, statistical data, statistics, Finland

UDK-classification:

ABSTRACT

The wind power production in Finland was 76.7 GWh in 2000 (equivalent to 0.1 % of Finland's electricity consumption). The installed capacity 37.9 MW remained the same as at the end of 1999 (63 turbines).

Wind power is part of Action Plan for Renewable Energy Sources by the Ministry of Trade and Industry. Wind energy receives investment subsidies and a production subsidy of 4.1 p/kWh. The amount of the investment subsidy is up to 40 % of the total investment. The exact amount is granted separately for each project.

The rated power of wind power plants has continued to rise steadily. The average capacity of new plants was less than 200 kW in 1991 and 894 kW in 1999. The average capacity of all wind turbines was 602 kW at the end of 2000.

Year 2000 was less windy in Gulf of Bothnia and average in Åland and Gulf of Finland. The average capacity factor of the wind turbines operated the whole year was 23 %. The production index for 2000 was 76–82 % of the 11-year-average value in Gulf of Bothnia, 97 % in Åland and 102 % in the Gulf of Finland.

The technical availability for the standard wind power plants has been high, the average value for 2000 was 94.3 %. The average age of wind turbine in Finland was 3.8 years at the end of 2000. Average availability for 1996 –2000 has been 95.6 %.

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 2000, production comparisons, and the hourly wind power figures for electricity consumption peak hour in Finland. The two research plants in Lapland (Paljasselkä and Pyhätunturi) have been 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. Vuodesta 1996 eteenpäin tuotantotilastot on kerätty VTT Energian tietokantaan siten, että Ilmatieteen laitos on toimittanut tuotantoindeksit, tuulivoiman tuottajat tuotanto- ja vikatiedot ja Suomen tuulivoimayhdistys on ollut mukana tilastojen julkistamisessa sekä myös tilastojen ylläpidossa vuonna 1999.

Tuotantotilastot perustuvat tietokantaan, joka luotiin projektissa “Tuulivoiman tuotantotilastoinnin kehittäminen” vuonna 1996. 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 verkkoyhtiö erilaisten jaottelujen mahdollistamiseksi. Vuonna 2000 käynnistyi kauppa- ja teollisuusministeriön rahoituksella hanke, Tuulivoiman seuranta ja tilastointi. Hankkeessa tilastointia kehitetään edelleen ja siihen liitetään uutena asiana tuulivoiman taloudellisten tunnuslukujen (investointi- ja käyttökulut) seuranta.

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 Tuulensilmä ja Vindögat lehdissä. Internet-sivuilla on nähtävissä yhteenveto tuotantotilastoista osoitteessa <http://www.vtt.fi/ene/tuloksia/windstat.htm>. Kuukausittaiset laitospohaiset yhteenvedot on nähtävissä osoitteessa <http://www.vtt.fi/ene/tuloksia/turbine.htm>. Suomi on mukana EUWINet-tilastoissa, jotka on perustettu osana EU:n Altener-rahoitteista projektia <http://euwinet.iset.uni-kassel.de/>. Tilastokeskukselle on toimitettu vuosittain brutto- ja nettotuotannot laitoksittain osaksi Suomen ja Euroopan energiatilastoja.

Erityinen kiitos tästä tuotanto- ja vikatilastoihin perustuvasta raportista kuuluu tuulivoimatuottajille, joiden toimittamien tietojen perusteella tilastot on laadittu.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT.....	4
ALKUSANAT	5
SISÄLTÖ	6
1 Kuukausiraportointi.....	7
2 Tilastointiin osallistuvat laitokset	8
2.1 Tuulivoimalaitokset tyypeittäin	10
3 Määritelmät ja tunnusluvut.....	13
4 Tuulen energiasisältö.....	14
4.1 Tuotantoindeksit	14
5 Asennetun tehon ja tuotannon kehitys	17
5.1 Teho ja sähköntuotanto 90-luvulla	17
5.2 Laitoskoon kehitys.....	19
5.3 Tunnuslukuja	19
6 Tuotantovertailuja	21
6.1 Tuotannon tunnusluvut vuonna 2000	21
6.2 Tuotannon jaotteluja vuodelta 2000	22
6.3 Vertailuja euroopan tuulivoimatuotantoon	24
7 Käyttökatkot	27
7.1 Tekninen käytettävyys	27
7.2 Käyttökatkojen erittelyt	27
7.3 Jäätymiset ja kylmä aika.....	30
8 Tuulivoima ja sähkön kulutus	31
8.1 Tuulivoiman kausivaihtelu	31
8.2 Tuulivoimatuotanto valtakunnan huipun aikana.....	32
LÄHDELUETTELO.....	34
Liite 1: Tuulivoimatilastojen kuukausiseurantalomake sekä uuden laitoksen ilmoittaminen tilastointiin.	
Liite 2: Tuulivoiman tuotantotilastot 2000.	

1 KUUKAUSIRAPORTOINTI

Tilastointiin ovat osallistuneet kaikki Suomen verkkoonkytketyt yli 50 kW tuulivoimalaitokset. Inkoon Kopparnäsin tutkimuslaitokset, jotka purettiin vuoden 2001 alussa, eivät ole osallistuneet tilastointiin.

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. Uusista laitoksista häiriöaikatietoja on kerätty vasta käyttöönoton jälkeen (noin 1 kk verkkoonkytkennästä).

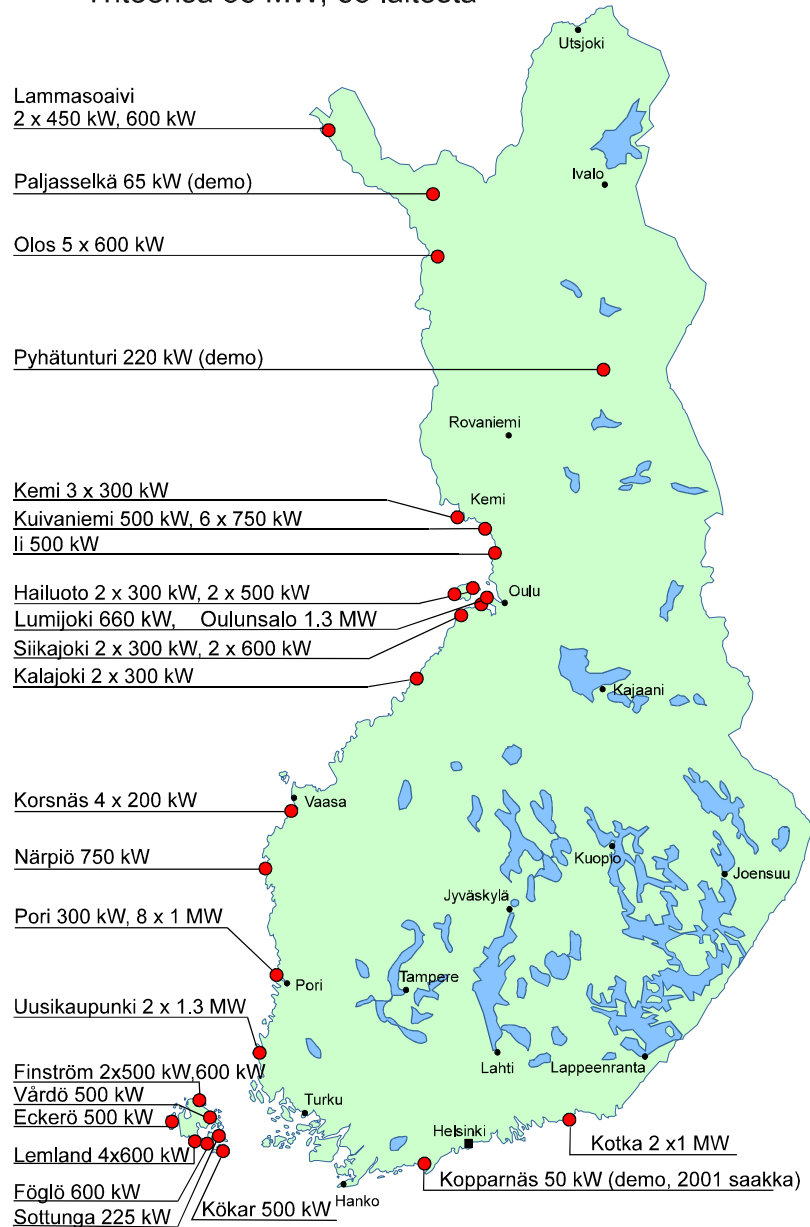
Vuodesta 1999 lähtien kuukausiraportoinnissa on siirrytty käyttämään excel-tiedostoja, joiden tiedot siirtyvät tilastotietokantaan automaattisesti tietokantaan rakennetun ohjelman avulla. Tiedot on kerätty tuulivoimalaitosten omistajilta tai heidän nimeämiltään operaattoreilta. Kuukausiraportoinnissa käytetyt lomakkeet sekä tarvittavat tiedot uusista laitoksista on esitetty liitteessä 1.

Kuukausittain on ilmoitettu arvio kokonaistuulisähköntuotannosta kuukauden 10. päivään mennessä raportoineiden voimaloiden perusteella SENERille Suomen sähkötilastojen pikatilastoja varten. Kuukausittaiset laitoskohtaiset yhteenvedot on nähtävissä osoitteessa <http://www.vtt.fi/ene/tuloksia/monthly.htm>.

2 TILASTOINTIIN OSALLISTUVAT LAITOKSET

Laitosten sijainti on esitetty karttakuvassa 1.

Suomen tuulivoimalat v. 2000 Yhteensä 38 MW, 63 laitosta



Kuva 1. Suomen verkkoonkytkettyjen tuulivoimalaitosten sijainti vuonna 2000. Vuoden 2000 aikana verkkoon ei kytketty uusia voimaloita.

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; Siikajoki, jossa laitokset 1–2 ovat Varessäikän ja laitokset 3–4 Tauvon kalasatamassa; Kuivaniemi, jossa laitokset 2–4 sijaitsevat Kuivamatalalla noin 0,5 km rannikosta, sekä Pori, jossa laitokset 1 ja 6 ovat Reposaassa, laitokset 2–5 Reposaaren Pengertiellä ja laitokset 7–9 Tahkoluodossa. Laitokset on numeroitu tuotannon aloittamiskuukauden mukaan.

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

Laitos ID	Nimi	Aloituss-pvm	Omistaja	OMISTUS-MUOTO	Yhteyshenkilö	Valmistaja	Teho kW
1	Kopparnäs	11.86	Fortum Power and Heat Oy	U	Kaj Pikulinsky	DWT	(300)
2	Paljasselkä	02.91	Tunturituuli Oy	U	Seppo Partonen	Nordtank	65
3-6	Korsnäs 1-4	11.91	Korsnäsin Tuulivoimapuisto Oy	C	Herbert Byholm	Nordtank	4x200
7	Sottunga	01.92	Ålands Vindenergiandelsglag	C	Robert Mansén	Vestas	225
8-9	Siikajoki 1-2	04.93	Vattenfall sähkötuoantanto Oy	U	Jussi Malkamäki	Nordtank	2x300
10-11	Kalajoki 1-2	04.93	Vattenfall sähkötuoantanto Oy	U	Jussi Malkamäki	Nordtank	2x300
12-14	Kemi 1-3	08.93	Kemin Tuulivoimapuisto Oy	C	Anne Salo-oja	Nordtank	3x300
15	Pori	09.93	Pori energia	U	Janne Vettervik	Nordtank	300
16-17	Hailuoto 1-2	10.93	Vattenfall sähkötuoantanto Oy	U	Jussi Malkamäki	Nordtank	2x300
18	Pyhänturi	10.93	Kemijoki Arctic Technology Oy	U	Esa Aarnio	WindWorld	220
19-20	Hailuoto 3-4	04.95	Vattenfall sähkötuoantanto Oy	U	Jussi Malkamäki	Nordtank	2x500
21	Eckerö	08.95	Ålands Vindenergiandelsglag	C	Robert Mansén	Vestas	500
22	Kuivaniemi	08.95	Kuivaturve Oy	U	Sakari Herva	Nordtank	500
23-24	Lammasoaiivi 1-2	10.96	Tunturituuli Oy	U	Seppo Partonen	Bonus	2x450
25	li	01.97	lin Energia Oy	U	Risto Paaso	Nordtank	500
26-27	Siikajoki 3-4	04.97	Vattenfall sähkötuoantanto Oy	U	Jussi Malkamäki	Nordtank	2x600
28	Kökar	10.97	Ålands Vindenergiandelsglag	C	Robert Mansén	Enercon	500
29	Lemland 1	11.97	Ålands Vindenergiandelsglag	C	Robert Mansén	Vestas	600
30	Lemland 2	11.97	Ålands Skogsägarförbund	O	Robert Mansén	Vestas	600
31-32	Lemland 3-4	11.97	Ålands Vindkraft Ab	C	Robert Mansén	Vestas	2x600
33	Vårdö	09.98	Ålands Vindenergiandelsglag	C	Robert Mansén	Enercon	500
34-35	Finström 1-2	10.98	Ålands Vindkraft Ab	C	Robert Mansén	Enercon	2x500
36-38	Kuivaniemi 2-4	10.98	VAPOn tuulivoima Oy	I	Mauno Oksanen	NEGMicon	3x750
39-40	Olos 1-2	11.98	Tunturituuli Oy	U	Seppo Partonen	Bonus	2x600
41	Lammasoaiivi 3	11.98	Tunturituuli Oy	U	Seppo Partonen	Bonus	600
42	Lumijoki 1	03.99	Lumituuli Oy	C	Aarne Koutaniemi	VESTAS	660
43-50	Pori 2-9	06.99	Suomen Hyötytuuli Oy	U	Timo Mäki	Bonus	8x1000
51	Oulunsalo 1	08.99	Oulun Seudun Sähkö KOK	U	Juho Kankaanpää	Nordex	1300
52	Närpiö 1	09.99	Ab Öskata Vind Närpes Oy	C	Martin Smith	NEGMicon	750
53-54	Kotka 1-2	09.99	Kotkan energia Oy	U	Olli Parila	Bonus	2x1000
55-57	Olos 3-5	09.99	Tunturituuli Oy	U	Seppo Partonen	Bonus	3x600
58	Finström 3	10.99	Ålands Vindkraft Ab	C	Robert Mansén	Enercon	600
59	Föglö	09.99	Ålands Vindenergiandelsglag	C	Robert Mansén	Enercon	600
60-61	Uusikaupunki 1-2	10.99	Propel Voima Oy	U	Harri Salminen	Nordex	2x1300
62-64	Kuivaniemi 5-7	11.99	VAPOn tuulivoima Oy	I	Mauno Oksanen	NEGMicon	3x750

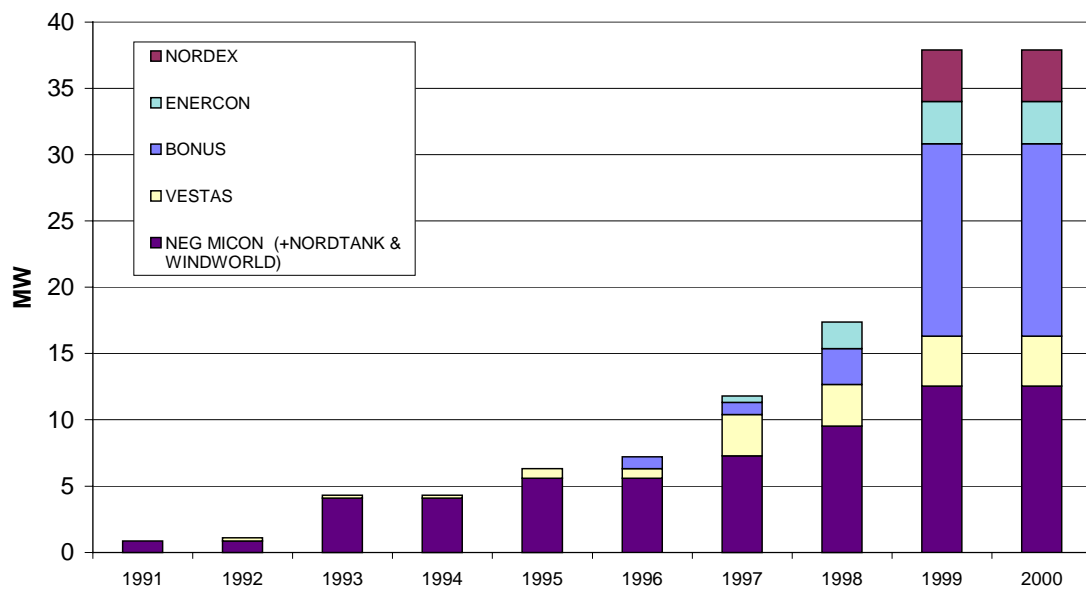
Vuoden 2000 tilastoissa olevien laitosten käynnistyspäivämäärät vaihtelevat tammikuusta 1991 (Enontekiön 65 kW laitos) marraskuuhun 1999 (Kuivaniemen 750 kW laitokset). Vuonna 2000 verkkoon ei kytketty uusia tuulivoimaloita. Suomen ensimmäinen verkkoonkytketty tuulivoimalaitos, Kopparnäsin 300 kW tutkimuslaitos, purettiin vuonna 1995. Inkoon Kopparnäsin tutkimuslaitokset (purettu vuoden 2001 alussa) eivät ole osallistuneet tilastointiin.

Taulukko 2. Suomen verkkoonkytkettyjen tuulivoimalaitosten omistusmuodot vuonna 2000. Omistusmuoto-jaottelu Euroopan tilastojen EUWINet mukaan.

Omistusmuoto	Laitoksia		Kapasiteetti		
	lkm	%	MW	%	
U Sähköyhtiö (Utility company)	36	57.1 %	24.485	64.5 %	
C Kuluttajaomisteinen (Consumer owned)	20	31.7 %	8.335	22.0 %	
I Teollisuus (Industry owned company)	6	9.5 %	4.5	11.9 %	
O Muu yritys (Other)	1	1.6 %	0.6	1.6 %	
YHTEENSÄ		63	100.0 %	37.92	100.0 %

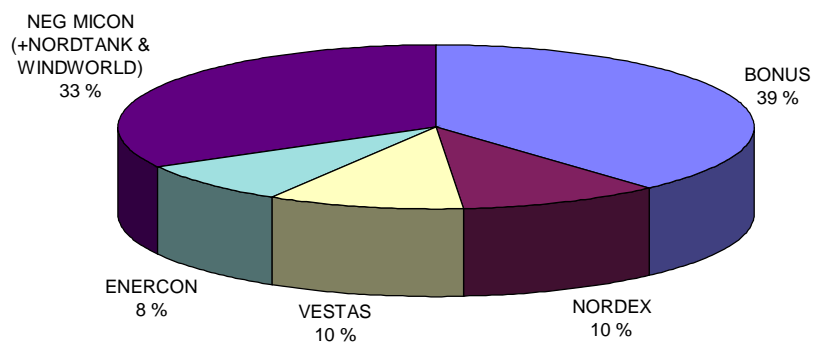
2.1 TUULIVOIMALAITOKSET TYYPEITTÄIN

Suomen tuulivoimalaitokset ovat kuutta saksalaista Enerconin laitosta lukuunottamatta tanskalaisvalmisteisia Nordtankin, Vestaksen, Bonuksen ja WindWorldin laitoksia. Nordtankin ja Miconin fuusion seurauksena vuonna 1997 Nordtank on nykyisin nimeltään NEGMicon, ja WindWorld on liitetty samaan yritykseen vuonna 1998. Tuulivoimalavalmistajien markkinaosuuksien kehittyminen Suomessa vuodesta 1991 on esitetty kuvassa 2. Valmistajien markkinaosuudet Suomen koko tuulivoimakapasiteetista vuonna 2000 on esitetty kuvassa 3. Suomessa olevat tuulivoimalaitostyyppit on koottu taulukkoon 3.



Kuva 2. Markkinaosuuksien kehitys Suomessa kapasiteetin mukaan vuosina 1991-2000.

Valmistajien markkinaosuudet Suomessa (yht. 37 920 kW)



Kuva 3. Tuulivoimalavalmistajien markkinaosuudet Suomen tuulivoimakapasiteetista vuonna 2000.

Taulukko 3. Suomen tuulivoimalaitostyyppit.

Valmistaja	Nimellisteho (kW)	LKM	Yhteensä MW
BONUS	1000	10	10000
NORDTANK	300	10	3000
BONUS	600	6	3600
NORDTANK	200	4	800
VESTAS	600	4	2400
ENERCON	500	4	2000
NEG MICON	750	4	3000
NORDTANK	500	4	2000
NEGMICON	750	3	2250
NORDEX	1300	3	3900
BONUS	450	2	900
NORDTANK	600	2	1200
ENERCON	600	2	1200
WINDWORLD	220	1	220
VESTAS	225	1	225
VESTAS	500	1	500
VESTAS	660	1	660
NORDTANK	65	1	65
Yhteensä		63	37920

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 (sijoituspaikka on huono tai tuulisuus on ollut keskimääräistä heikompaa), suuresta häiriötuntimäärästä, tai teknisistä seikoista: laitos, jolla on suuri roottori suhteessa generaattorin kokoon (niin sanottu 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 pyyhkäisyypinta-alaa 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 2000: tunnit saa arvon 8760 +24 h (karkausvuosi). Keskimääräinen käytettävyys kaikille laitoksille: häiriöaika yhteensä poislukien sähköverkkohäiriöt. Tunnit yhteensä kaikille laitoksille ottaen huomioon kesken vuotta aloittaneiden laitosten pienemmän tuntimäärän.

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.

4 TUULEN ENERGIASISÄLTÖ

Tuulivoimalle on ominaista tuotannonvaihtelut tunti-, kuukausi- ja vuositasolla. Tuulivoimatuotantoa arvioitaessa on siis huomioitava myös tarkasteltavan jakson tuulisuus (energiasisältö) verrattuna keskimääräiseen.

Tuulienergialle on etsitty indeksi kuvaamaan jakson tuulisuutta verrattuna keskimääräiseen tuulisuuteen, hieman samaan tapaan kuin 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).

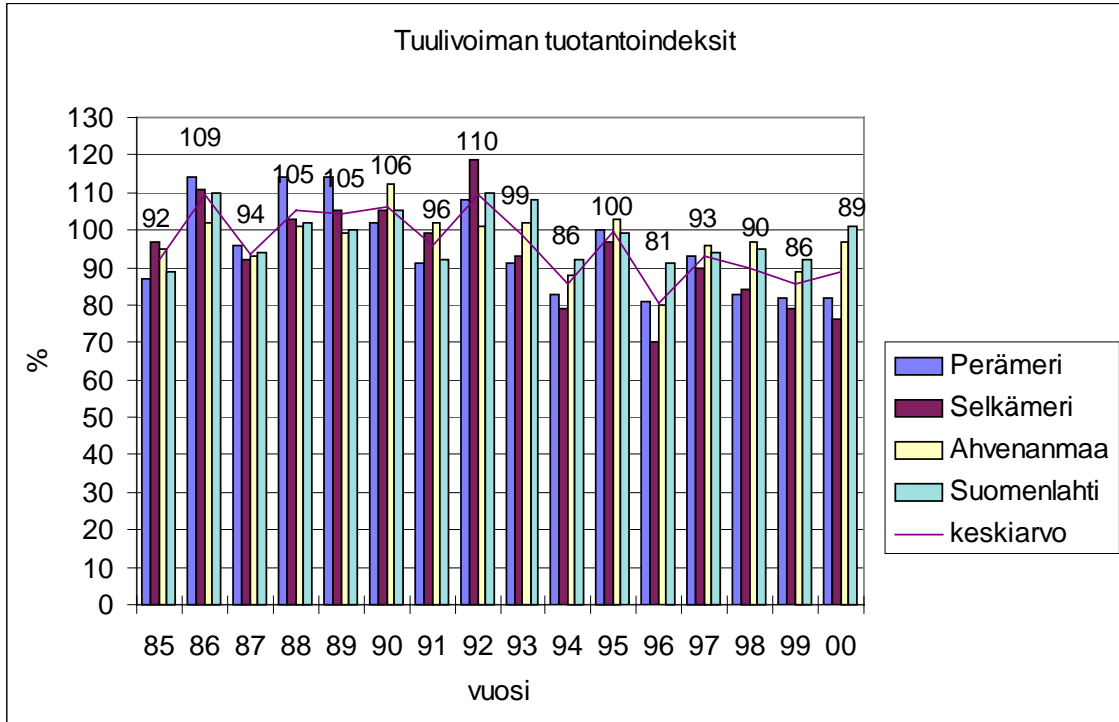
Lapin tunturialueilta ei valitettavasti ole saatavilla pitkän ajan keskiarvon määrittämiseen vaadittavaa havaintoaineistoa, joten Lapin indeksiä ei voida vielä määrittää.

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.

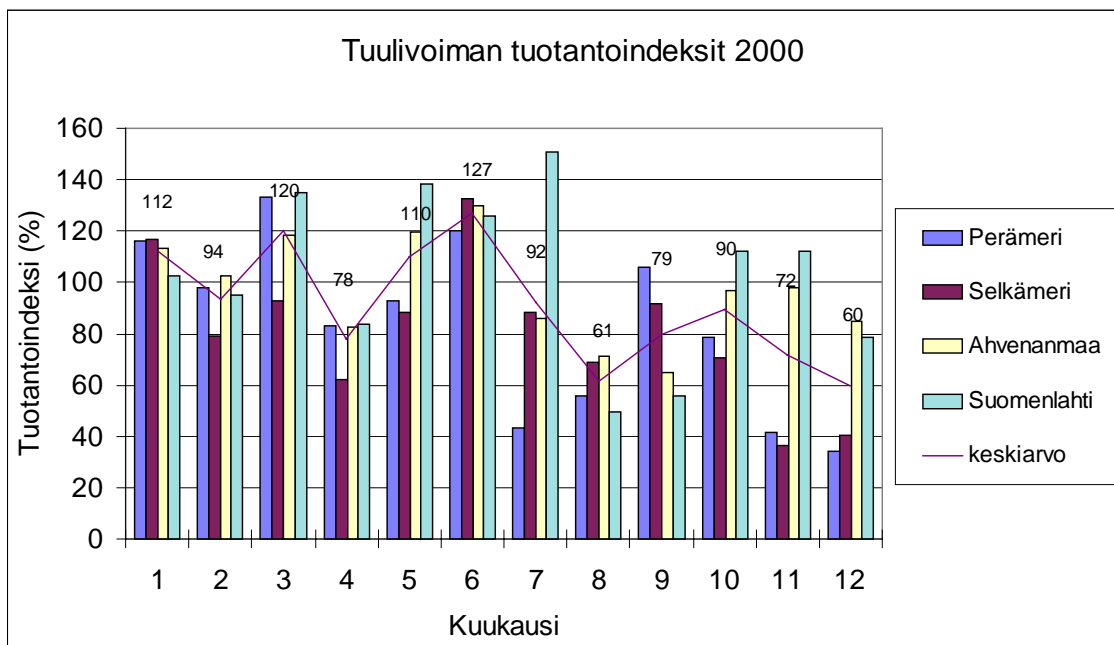
4.1 TUOTANTOINDEKSIT

Vuosi 2000 oli Ahvenanmaalla ja Suomenlahdella keskimääräinen. Selkä- ja Perämerellä vuosi oli keskimääräistä tyynempi. Ilmatieteen laitoksen tuotantoindeksien mukaan tuulivoimalaitosten tuotanto vuonna 2000 oli Pohjanlahdella 76–82 %, Ahvenanmaalla 97 % ja Suomenlahdella 102 % keskimääräisestä tuotannosta. Vuosittaiset tuotantoindeksit sekä niiden keskiarvo on esitetty kuvassa 4. Kuukausitason indeksit vuodelta 2000 on esitetty kuvassa 5. Vuoden keskimääräistä tuulisemmat kuukaudet sijoittuivat alkuvuoteen. Loppuvuosi oli keskimääräistä tyynempi.

Merialueiden tuulisuudessa oli selviä eroja. Loppuvuodesta loka-, marras- ja joulukuussa olivat Suomenlahti ja Ahvenanmaa selvästi tuulisempia alueita verrattuna Selkä- ja Perämereen.



Kuva 4. Tuulivoiman tuotantoindeksit Suomen rannikolla vuosina 1985–2000. 100 % on keskimääräinen tuotanto vertailuajanjaksolla 1985 – 1995. Keskiarvo on merkitty viivalla ja numeroilla.



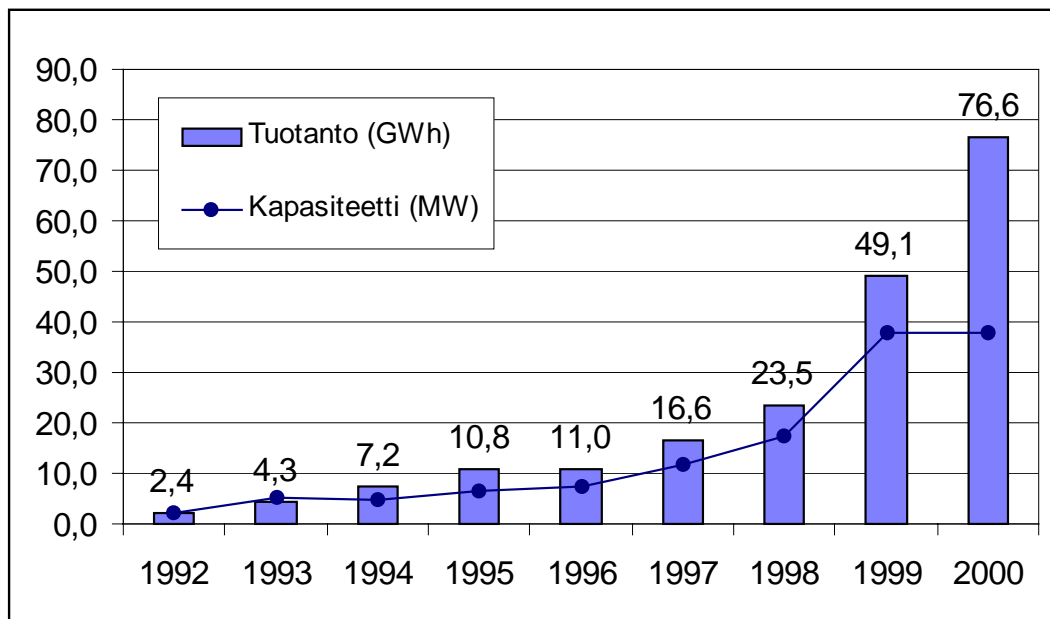
Kuva 5. Kuukausittaiset tuotantoindeksit v. 2000 neljältä sääasemalta. 100% on keskimääräinen kuukausituotanto vertailuajanjaksolla 1985-1995. Keskiarvo on merkitty viivalla ja numeroilla.

5 ASENNETUN TEHON JA TUOTANNON KEHITYS

Vuoden 2000 tuotantotilasto tuulivoimalaitoksittain on esitetty taulukkona liitteessä 2.

5.1 TEHO JA SÄHKÖNTUOTANTO 90-LUVULLA

Vuoden 2000 tuulivoimatuotanto oli 76,6 GWh ja kapasiteetti vuoden lopussa 38 MW. Tuulivoimalaitosten kapasiteetti on vuosina 1992–98 kasvanut 0–5,5 MW vuosivauhtia ja tuotanto vastaavasti 0,2–6,9 GWh (taulukko 4). Vuosi 1999 oli tähän mennessä paras: kasvua edellisvuoteen verrattuna kapasiteetissa 20,56 MW (118 %) ja tuotannossa 25,6 GWh (109 %). Vuonna 2000 Suomessa ei rakennettu lisäkapasiteettiä. Tuotanto kasvoi vuonna 2000 27,5 GWh (56%). Tuotannon kasvu selittyy edellisen vuoden loppupuolella käyttöön otetulla kapasiteetilla. Tuotannon kehitys 1992–2000 on esitetty kuvan 6 pylväänä. Samassa kuvassa näkyy myös asennettu kapasiteetti vuoden lopussa. Kuvassa 7 näkyy Suomen tuulivoimatuotanto kuukausittain sekä kapasiteetin kasvu.

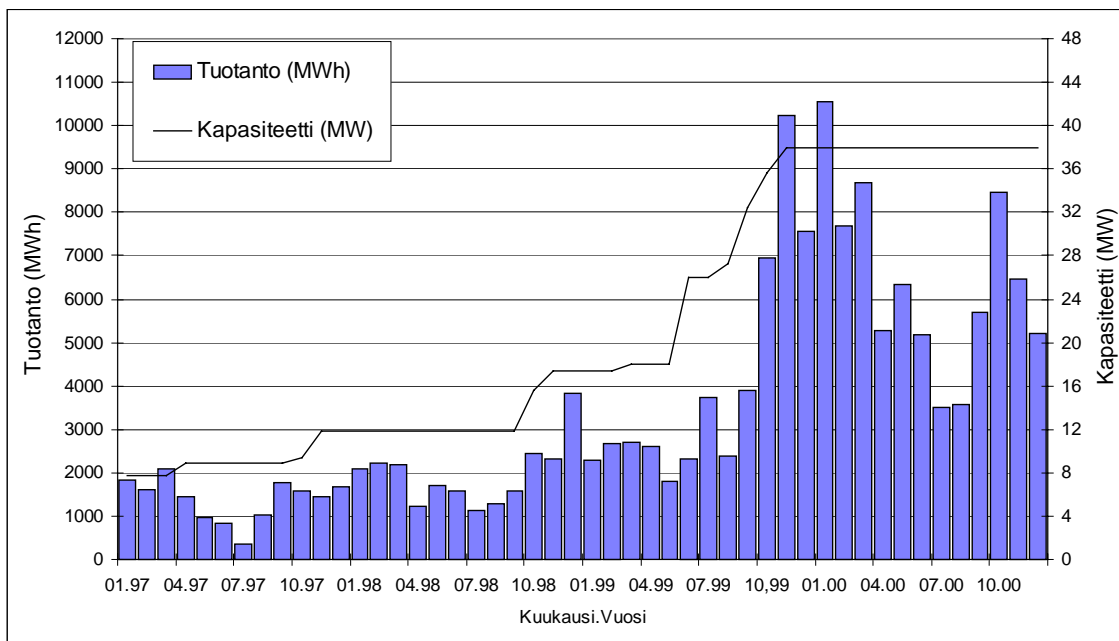


Kuva 6. Asennetun tuulivoimakapasiteetin ja tuotannon kehitys Suomessa vuosina 1992 – 2000.

Taulukko 4. Suomeen rakennetun tuulivoimakapasiteetin kehittyminen vuosina 1991–2000.

Vuosi	Vuoden aikana asennettu		Vuoden lopussa	
	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
1999	20.56	23	37.92	63
2000	0	0	37.92	63

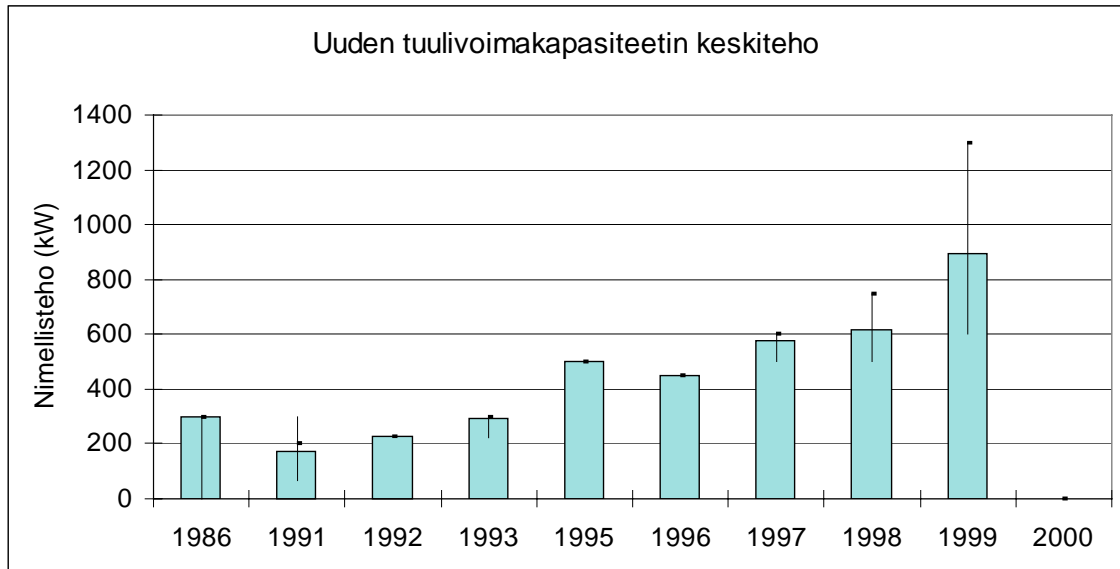
* Kopparnäsin 300 kW laitos purettiin vuonna 1995.



Kuva 7. Tuulivoimatuotanto ja asennettu kapasiteetti Suomessa kuukausittain vuosina 1997 – 2000.

5.2 LAITOSKOON KEHITYS

Asennetun uuden kapasiteetin keskiteho on kasvanut 173 kW:sta (vuonna 1991) 894 kW:iin (vuonna 1999). Vuoden 2000 lopussa Suomen tuulivoimalaitosten keskikoko oli 602 kW (63 laitosta, yht. 37920 kW).



Kuva 8. Vuosittain asennetun uuden tuulivoimakapasiteetin keskitehon kehitys 1986 – 2000. 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 (parhaiten tuottanut laitos ja huonoiten tuottanut laitos). 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 1994 – 2000. Taulukossa näkyvät myös yksittäisten laitosten suurimmat ja pienimmät tunnusluvut. Laskelmissa mukana koko kalenterivuoden toiminnassa olleet laitokset, pois lukien tutkimuslaitokset 2 kpl.

Vuosi	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Laitosten lukumäärä	15	15	19	21	29	38	61
Vuosituotanto (MWh)	6707	8123	10049	13553	21063	30666	76225
Eniten tuottaneen laitoksen tuotanto	694	812	1085	1312	1477	1387	2960
Vähiten tuottaneen laitoksen tuotanto	307	385	263	349	299	275	307
Huipunkäyttöaika keskimäärin (h)	1666	2018	1668	1929	1828	1765	2025
Suurin huipunkäyttöaika	2314	2706	2170	2623	2954	2775	2842
Pienin huipunkäyttöaika	1032	1370	1131	1224	1136	1166	1218
Tuotanto pyyhkäisy-pinta-alaa kohti keskimäärin (kWh/m²)	670	813	663	790	727	730	856
Suurin tuotanto kWh/m ²	920	1076	953	1126	1158	1088	1154
Pienin tuotanto kWh/m ²	410	545	450	486	452	463	484
Kapasiteettikerroin keskimäärin	0,19	0,23	0,19	0,22	0,21	0,20	0,23
Suurin kapasiteettikerroin	0,26	0,31	0,25	0,30	0,34	0,32	0,32
Pienin kapasiteettikerroin	0,12	0,16	0,13	0,14	0,13	0,13	0,14
Tekninen käytettävyys keskimäärin			98,1 %	96,7 %	94,1 %	96,6 %	94,3 %
Tuotantoindeksi keskimäärin*	82 %	99 %	78 %	93 %	89 %	84 %	88 %

*Laitosten tuotannolla painotettu keskiarvo Perämeren, Selkämeren, Suomenlahden ja Ahvenanmaan tuotantoindekseistä

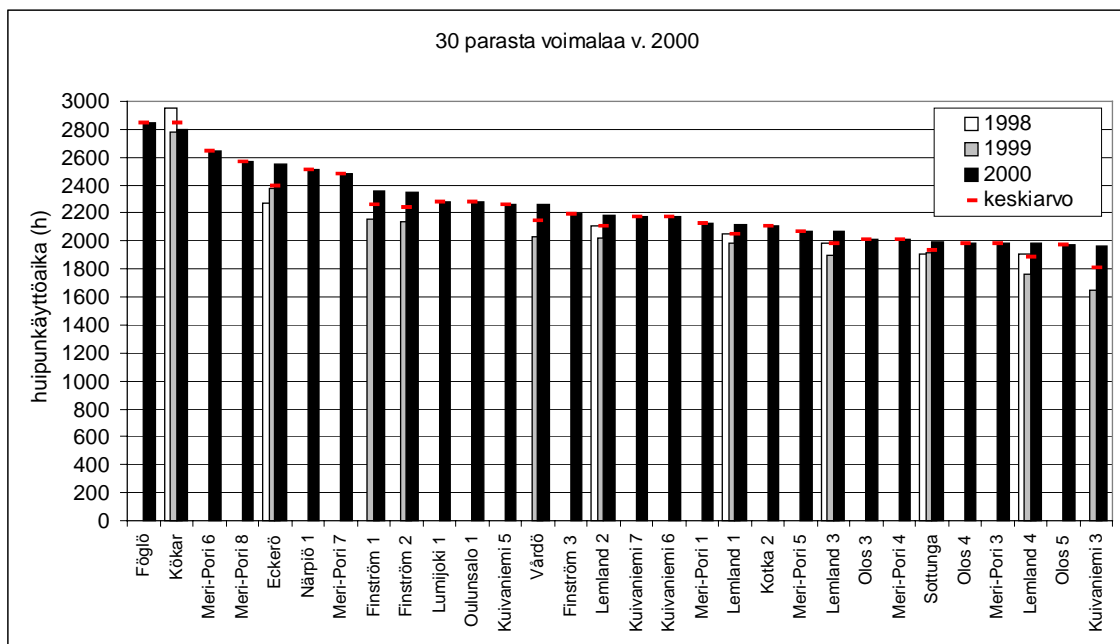
Vuoden 2000 keskimääräiset tunnusluvut olivat parempia kuin vuoden 1999 tunnusluvut. Tämä johtuu edellisvuotta paremmista tuuliolosuhteista. Lisäksi on huomattava että laitokset tuottavat enemmän kuin vuonna 1998, jolloin tuuliolosuhteet olivat samanlaiset. Uudet laitokset tuottavat paremmin kuin vanhat, ne ovat paremmissa tuuliolosuhteissa sekä korkeamman torninsa että hyvin valittujen sijoituspaikkojensa ansiosta.

Eniten tuottaneen laitoksen tuotanto kasvoi yli kaksinkertaisesti. Tämä selittyy vuonna 1999 asennettujen laitosten suuremmalla koolla. Kolmentoista parhaan laitoksen tuotanto ylitti 2200 tunnin huipunkäyttöajan (kapasiteettikerroin yli 25 %), näillä laitoksilla tuotanto suhteessa roottorin pyörimispinta-alaan oli yli 850 kWh/m².

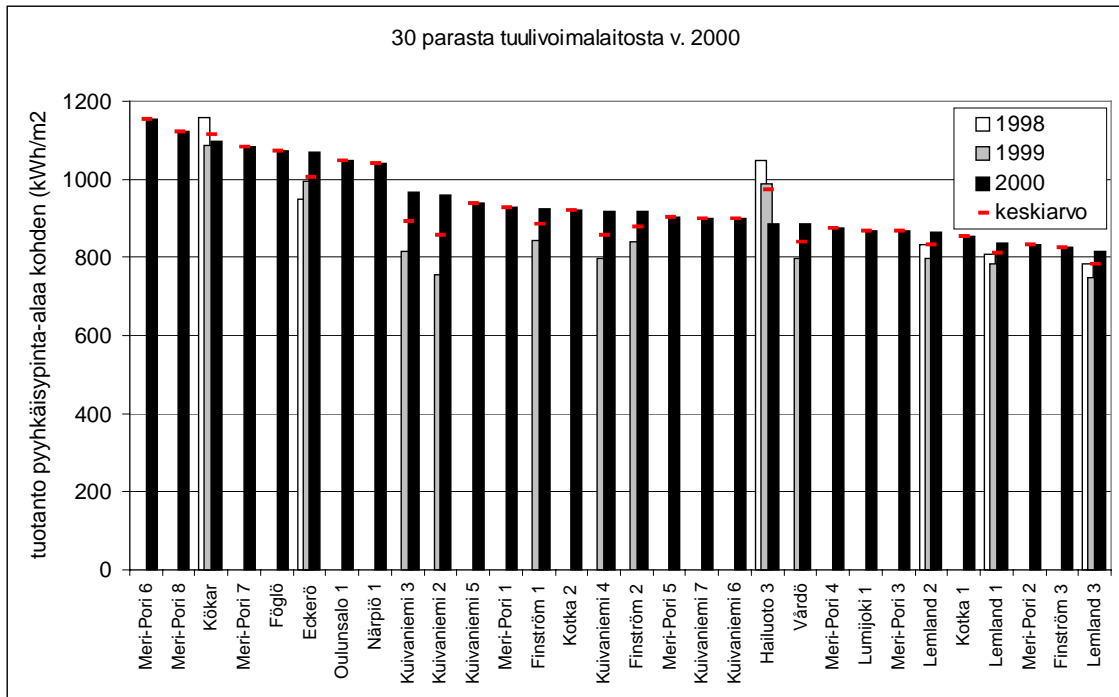
6 TUOTANTOVERTAILUJA

6.1 TUOTANNON TUNNUSLUVUT VUONNA 2000

Eri nimellistehoisten tuulivoimalaitosten tuotannon vertailemiseksi on laitosten vuosituotannon tunnusluvut esitetty kuvina (kuvat 9–10). Parhaat laitokset ovat ylänneet yli 2400 h huipunkäyttöaikaan ja yli 1000 kWh/m² tuotantoon pyyhkäisyypinta-alaa kohti (Ahvenanmaan Föglö, Kökar ja Eckerö ja Selkämeren Meri-Pori ja Närpiö). Kuvissa on esitetty myös vuosien 1999 ja 1998 tuotannosta lasketut tunnusluvut niille laitoksille, jotka oli asennettu näiden vuosien alussa. Vuosi 2000 oli keskimääräinen Ahvenanmaalla ja Suomenlahdella. Perämerellä vuosi 2000 oli keskimääräistä tyynempi. Vuosi 1999 oli tyynempi kuin vuosi 2000 ja tämä näkyy kuvissa 9-10 voimalaitosten tunnusluvuissa. Vuosi 1998 oli keskimääräinen Ahvenanmaalla ja keskimääräistä vähätuulisempi Pohjanlahdella.



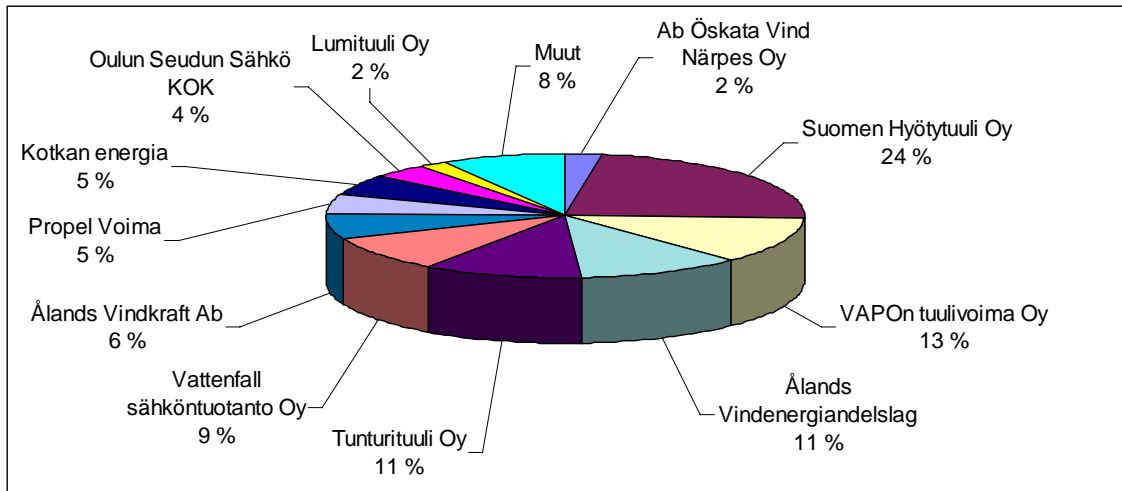
Kuva 9. Suomen 30 parasta tuulivoimalaitosta vuoden 2000 huipunkäyttöajan mukaisessa järjestyksessä. Vertailun vuoksi on merkitty myös vuosien 1998 ja 1999 huipunkäyttöajat sekä vaakasuoralla viivalla kolmen vuoden keskiarvo.



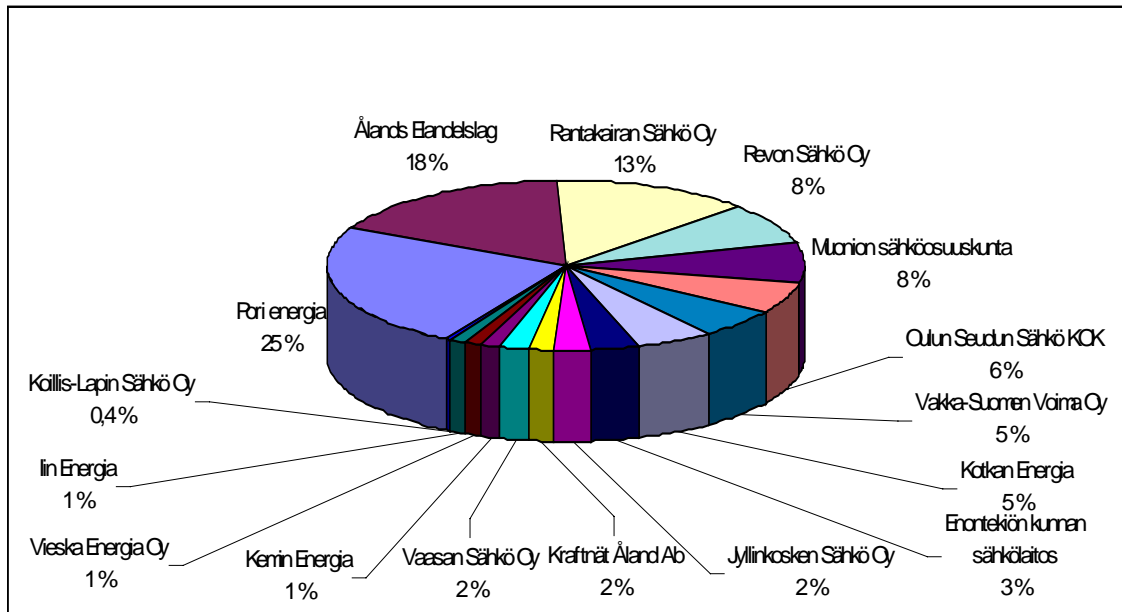
Kuva 10. Suomen 30 parasta tuulivoimalaitosta järjestettynä vuoden 2000 ominaistuotannon (tuotanto pyyhkäisy-pinta-alaa kohden) mukaan. Vertailun vuoksi on merkitty myös vuosien 1998 ja 1999 ominaistuotannot sekä vaakasuoralla viivalla kolmen vuoden keskiarvo.

6.2 TUOTANNON JAOTTELUJA VUODELTA 2000

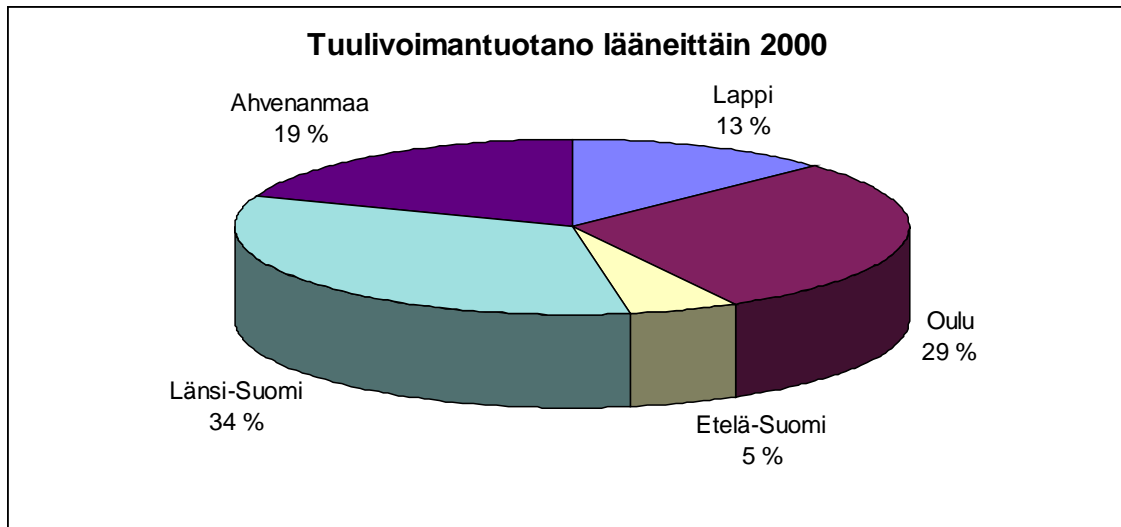
Tuulivoimatuotanto vuonna 2000 jaoteltuna omistajien mukaan on esitetty kuvassa 11. Suurimmat tuulivoimatuottajat olivat Suomen Hyötytuuli Oy (24 % Suomen tuulisähköstä) ja VAPOn tuulivoima Oy (13 %). Kuvassa 12 on esitetty ne jakeluverkkoyhtiöt, joiden verkkoon tuulivoimaa on vuonna 2000 syötetty. Tuulivoimatuotannon jakautuminen lääneittäin on esitetty kuvassa 13. Oulun läänissä tuotettiin vuonna 2000 Suomen tuulisähköstä 29 %, Länsi-Suomessa 34 % ja Ahvenanmaalla 19 %.



Kuva 11. Tuulivoimatuottajien osuudet tuulivoimatuotannosta vuonna 2000 (yhteensä 76,6 GWh).



Kuva 12. Jakeluverkkoyhtiöiden osuudet tuulivoiman tuotannosta vuonna 2000 (tuulivoimatuotanto yhteensä 76,6 GWh).



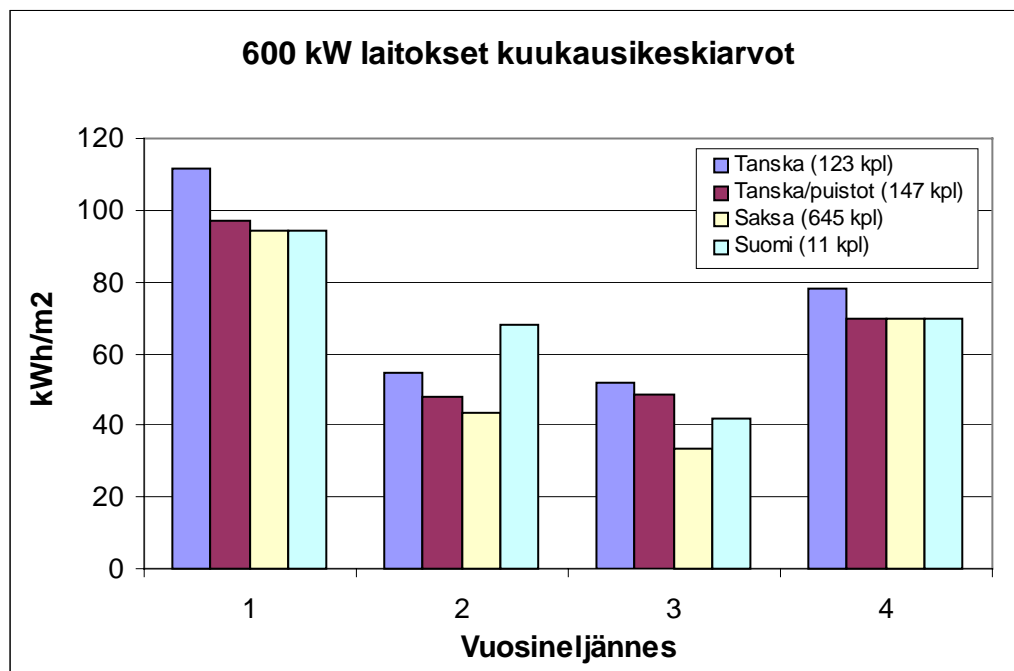
Kuva 13. Tuulivoimantuotannon alueellinen jakautuminen Suomessa. Läänien osuudet tuulivoiman tuotannosta 2000 (yhteensä 76,6 GWh).

6.3 VERTAILUJA EUROOPAN TUULIVOIMATUOTANTOON

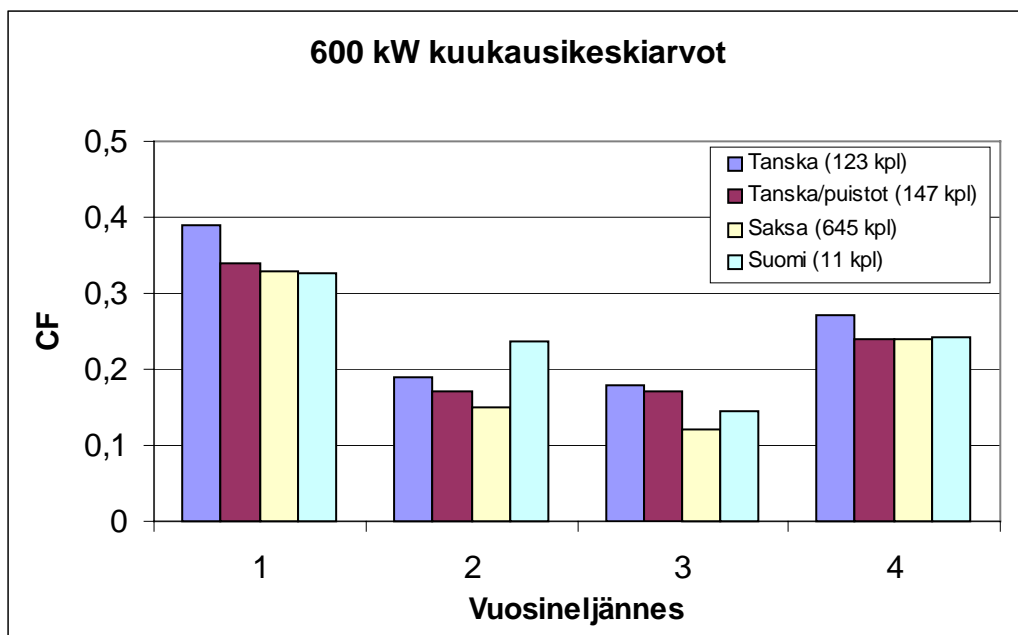
Taulukossa 6 on esitetty Euroopan tuulivoimakapasiteetti ja sen vuotuinen lisäys vuosina 1999 ja 2000. Kuvissa 14 ja 15 on kuukausikeskiarvot vuosineljänneksittäin kapasiteettikertoimille ja tuotannolle roottorin pyyhkäisyypinta-alaa kohti 600 kW tuulivoimaloille Tanskassa, Saksassa ja Suomessa. Kuviin mukaan otettujen laitosten häiriöaika on ollut alle 10 % jokaisena vuosineljänneksen kuukautena. Kuvissa näkyy myös keskiarvot tilastoinnissa mukana olleiden laitosten määrästä. Toinen vuosineljännes oli Suomessa vertailumaita tuulisempi.

Taulukko 6. Euroopan tuulivoimakapasiteetti /5/.

MW	Uusi kapasiteetti v. 1999	Kapasiteetti v. 1999 lopussa	Uusi kapasiteetti v. 2000	Kapasiteetti v. 2000 lopussa
Itävalta	9	34	35	69
Belgia	1	11	8	19
Tanska	325	1738	603	2341
Suomi	21	38	0	38
Ranska	4	25	38	63
Saksa	1568	4442	1665	6107
Kreikka	103	158	116	274
Irlanti	10	74	49	122
Italia	80	277	147	424
Luxemburg	1	6	0	6
Hollanti	54	433	40	473
Norja	4	13	0	13
Portugali	10	61	50	111
Espanja	932	1812	1024	2836
Ruotsi	44	220	45	265
Sveitsi	0	3	0	3
Turkki	0	9	10	19
Britannia	24	362	63	425
Muu Eurooppa	2	20,9	0,8	21,6
Yhteensä	3192	9737	3894	13630



Kuva 14. Vuoden 2000 kuukausikeskiarvot vuosineljänneksittäin. Tuotanto roottorin pyyhkäisy-pinta-alaa kohti 600 kW laitoksille /6/.



Kuva 15. Vuoden 2000 kapasiteettikertoimien kuukausikeskiarvot 600 kW laitoksille vuosineljänneksittäin /6/.

7 KÄYTTÖKATKOT

Laitosten keski-ikä oli vuoden lopussa 3,8 vuotta.

7.1 TEKNINEN KÄYTETTÄVYYS

Vuonna 2000 standardilaitosten keskimääräinen tekninen käytettävyys oli 94,3 %. Käytettävyyttä laskivat vuoden aikana tehdyt vaihdelaatikkojen ja roottorin laakerien vaihdot. Edelliseen vuoteen (1999, 97 %) verrattuna käytettävyys laski hiukan. Vuosina 1996–97 käytettävyydet olivat 97–98 %. Vuonna 1998 tapahtui useampi komponenttirikkoutuminen (vaihteisto- ja generaattorivaurioita), jotka pudottivat käytettävyyden 94 %:iin.

Vuonna 2000 peräti 72 % käyttökatkoista aiheutui voimansiirtoon liittyvien osien (vaihdelaatikko, vaihteen hammaspyörät ja akseli) kulumisista ja pääakselin laakereiden vaihdoista. Viidellä laitoksella tekninen käytettävyys putosi alle 85 %:iin. Lisäksi yhdeksällä laitoksella käytettävyys oli 85–90 %. Keskimääräinen käytettävyys koko vuoden toiminnassa olleille laitoksille on ollut 94,3 % (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

Taulukossa 7 on esitetty raportoidut käyttökatkot vuodesta 1997 lähtien. Käyttökatkojen aiheuttamat häiriöajat on jaoteltu taulukossa häiriön syyn mukaan. Huollot ovat suunniteltuja huoltoja, jotka tuulivoimalaitoksissa tehdään yleensä puolivuositain. Kohtaan häiriöt on kerätty ne keskeytykset, joissa toimenpiteeksi on riittänyt voimalan uudelleenkäynnistys. Kohdassa muu syy on esim. tutkimuksen tai esittelyn vuoksi aiheutunut häiriöaika. Vika tarkoittaa niitä tapauksia, joissa on jouduttu tekemään korjaustoimenpiteitä. Sähköverkosta aiheutuneet häiriöt eivät alenna laitoksen käytettävyyttä. Samoin osa jäätyishäiriöistä on aiheuttanut ainoastaan alentuneen tuotannon, jolloin laitoksen käytettävyys ei ole alentunut.

Taulukossa 8 vuoden 2000 vikatunnit on jaoteltu eteenpäin vikaantuneen komponentin ja vian syyn mukaan, ja taulukossa näkyy myös komponenttivikojen lukumäärät. Komponentit on ryhmitelty kuvaan 14, jossa näkyy käyttökatkojen jakautuminen eri komponenttien välille.

Roottorin laakerointi (kuvassa 14 pääakseli ryhmässä) oli suurin yksittäinen vikojen aiheuttaja: yhteensä kolmasosa vikojen käyttökatkoista. Nämä viat eivät olleet itse laakereiden, vaan voiteluaineiden valinnasta johtuvia. Suuri osa muistakin vuoden 2000 vioista ja häiriöistä aiheutui vastaavista arktisista modifikaatioista, joita Suomeen ostettuihin voimalaitoksiin on tehtävä, jotta voimala toimii kylmällä ja kylmien aikojen jälkeen.

Vaihdelaatikkoon liittyvät viat aiheuttivat 40 % käyttökatkoista. Kuvassa 15 on esitetty vikoja aiheuttaneiden komponenttien osuus käyttökatkoista koko vikatilastointialjalta 1996–2000.

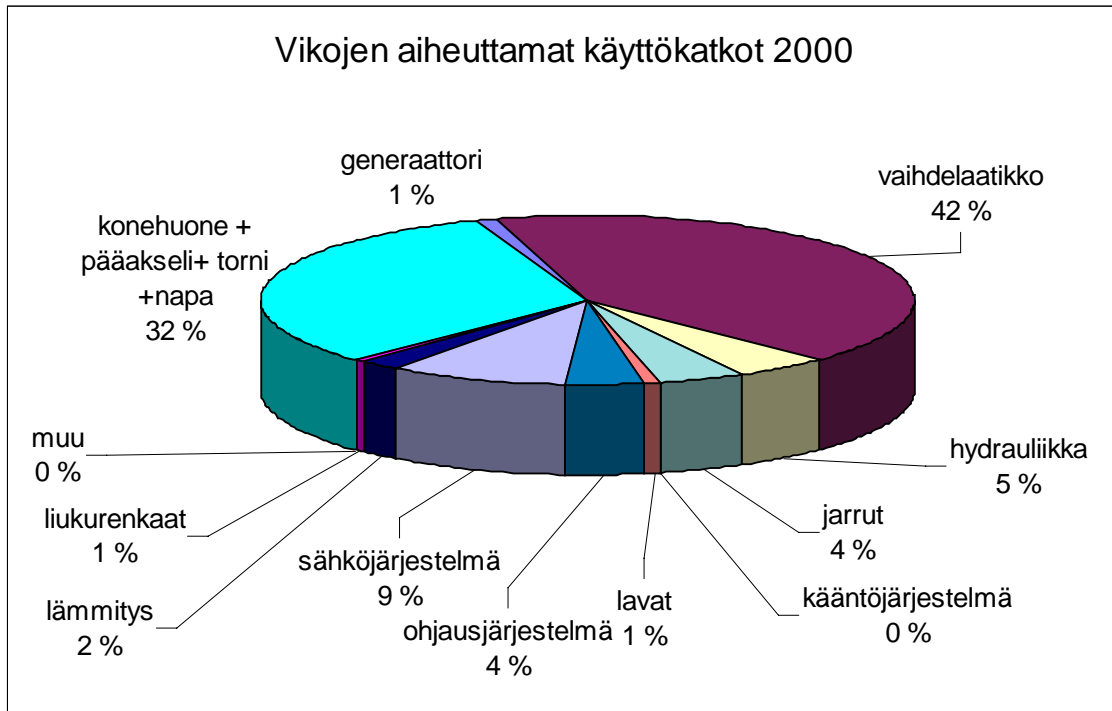
Taulukko 7. Standardilaitosten raportoimat käyttökatkot vuosina 1996-2000. Kesken vuotta aloittaneet laitokset ovat mukana tilastossa.

Häiriö	1996	1997	1998	1999	2000
huolto	192	286	398	730	1489
häiriö	977	608	1571	4377	6708
jäätyminen	1208	463	168	532	589
muu syy	154	185	166	63	415
sähköverkko	472	388	319	522	1453
vika	748	5688	13177	8059	21132
Häiriöaika yhteensä	3751	7618	15799	14283	31786
% ajasta	2,2 %	3,6 %	5,9 %	3,5 %	5,9 %

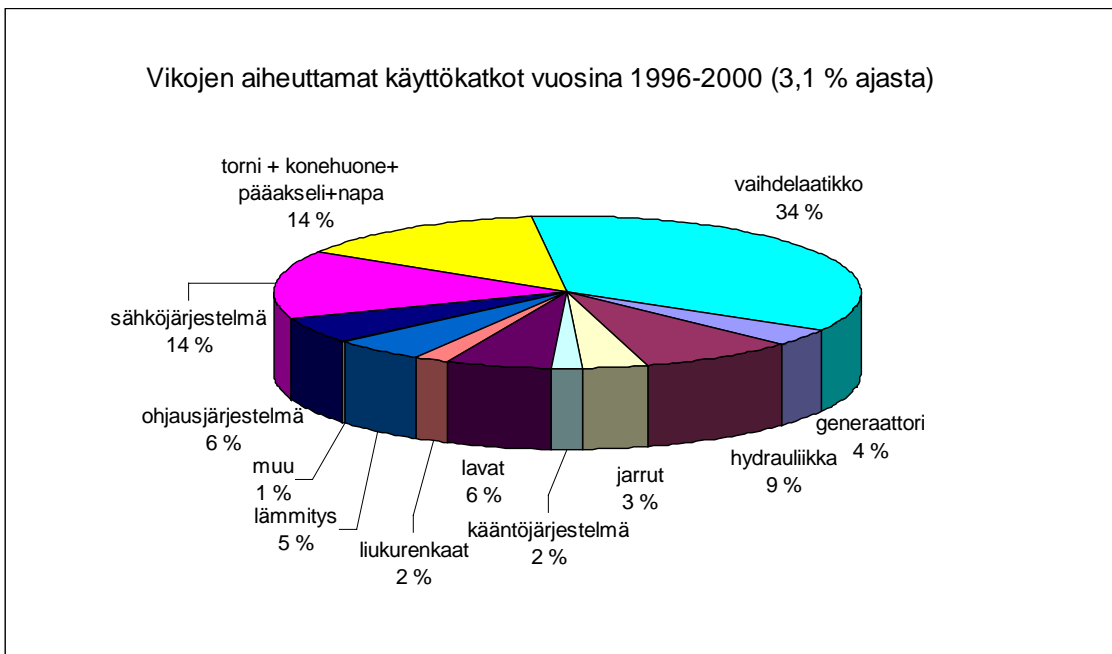
Häiriöaikaa keskimäärin 4,6 % vuosina 1996-2000.

Taulukko 8. Suomen tuulivoimalaitosten viat vuonna 2000: häiriötunnit komponenttien ja vian aiheuttajien mukaan.

Komponentti	Vika h	Osuus %	Vika lkm	jää/lumi	kuluminen	käyttövirhe	ohjauksyksikön toimintavirhe	oikosulku	salama	valmistusvirhe	muu
anturit	501	2 %	15		283	27			191		
gen. käänitys	11	0 %	1		11						
generaattori	207	1 %	2		207						
hydrauliikka	982	5 %	23		982						
ilmajarrut	591	3 %	3		591						
kytkimet	149	1 %	5		149						
kääntöjärjestelmä	7	0 %	1		7						
kääntöjärjestelmän hammaspyörät	6	0 %	1		6						
lapa	184	1 %	3							184	
lapakulman säätömekanismi	337	2 %	21							337	
liukurenkaat	106	1 %	2		106						
lämmitys	437	2 %	8	150	287						
mekaaninen jarru	306	1 %	4		286		20				
muu	15	0 %	1								15
napa	6	0 %	1		6						
ohjauksjärjestelmä	124	1 %	5		74		50				
ohjauksyksikkö	186	1 %	11		176		10				
releet	274	1 %	7		274						
roottorin laakerit	6395	30 %	25							6395	
tehoelektronikka	212	1 %	7		207		5				
tehomuuntaja	103	0 %	1		103						
vaihdelaatikko	5195	25 %	15		5195						
vaihteen akseli	1423	7 %	2		1423						
vaihteen hammaspyörät	2232	11 %	4		2232						
vaihteen tiivisteet	24	0 %	1		24						
verkkoonkytkentä	1119	5 %	2					1119			
Yhteensä	21132	100 %	171	150	12629	27	85	1119	191	6916	15
% häiriöajasta				1 %	60 %	0 %	0 %	5 %	1 %	33 %	0 %



Kuva 16. Vikojen aiheuttamien käyttökatkojen (yhteensä 21132 h, 3,9 % ajasta) jakautuminen tuulivoimaloiden eri komponenteille vuonna 2000. Tutkimuslaitokset eivät ole mukana tarkastelussa.



Kuva 17. Vikojen aiheuttamien käyttökatkojen jakautuminen tuulivoimaloiden eri komponenteille vuosina 1996–2000. Tutkimuslaitokset eivät ole mukana tarkastelussa.

7.3 JÄÄTYMISET JA KYLMÄ AIKA

Vikatilastoihin rekisteröidään myös jäätymistapaukset (Taulukko 9). Suomeen rakennetuissa voimalaitoksissa on enenevässä määrin asennettuna lapalämmitysjärjestelmät. Vuonna 1999 järjestelmiä asennettiin myös tunturialueiden ulkopuolelle Poriin ja Kotkaan. Näissä laitoksissa jäätyminen on lämmitysjärjestelmälaitteiston vika eikä esiinny tilastoissa jäätymistapauksena. Laitosten kontrollin käyttämät tuulimittarit on yleensä lämmitetty, mutta niissä esiintyy siitä huolimatta joskus jäätymistä. Vuonna 2000 jäätymistapauksia raportoitiin hieman enemmän kuin edellisenä vuonna. Osa laitosten jäätymistapauksista jää todennäköisesti raportoimatta, koska laitoksilla on vain kaukovalvonta, ja pienemmät jäätymistapaukset eivät aiheuta käyttökatkoja, vaan ainoastaan tuotannon alenemista.

Taulukko 9. Jäätymistapauksia ja jään aiheuttamia häiriöitä raportoineiden laitosten lukumäärät ja jäätymisaikojen pituus eri vuosina. Osuus häiriöajasta on laskettu suhteessa niiden laitosten kokonaishäiriöaikoihin, joissa jäätymistapauksia esiintyi.

ALUE	1996		1997		1998		1999		2000	
	Tuntia	Laitoksia	Tuntia	Laitoksia	Tuntia	Laitoksia	Tuntia	Laitoksia	Tuntia	Laitoksia
Lappi	119	2							159	8
Ahvenanmaa	12	1	55	5	23	3	49	9	7	3
Perämeri	858	4	372	5	98	2	532	7	573	7
Selkämeri	219	5	68	4	75	2				
Suomenlahti										
Koko Suomi	1208	12	495	14	196	7	581	16	739	18
Osuus häiriöajasta	44,5 %		20,9 %		8,6 %		12,5 %		9,1 %	

Tuulivoimalaitokset seisovat, jos tuulennopeus on alle tai yli toiminta-alueen tai jos on liian kylmä. Tämä kylmäraja vaihtelee laitoksittain Suomessa välillä -15 °C ... -30 °C. Vuonna 2000 ei esiintynyt yhtä paljon kovia pakkasia kuin vuonna 1999, jolloin Suomessa oli ennätyspakkaset. Tilastoihin raportoidut kylmä aika –jaksot on esitetty taulukossa 10 (huom. kylmä aika ei ole häiriöaikaa vaan osa laitoksen suunniteltua toimintaa).

Taulukko 10. Laitosten kylmä aika eri vuosina.

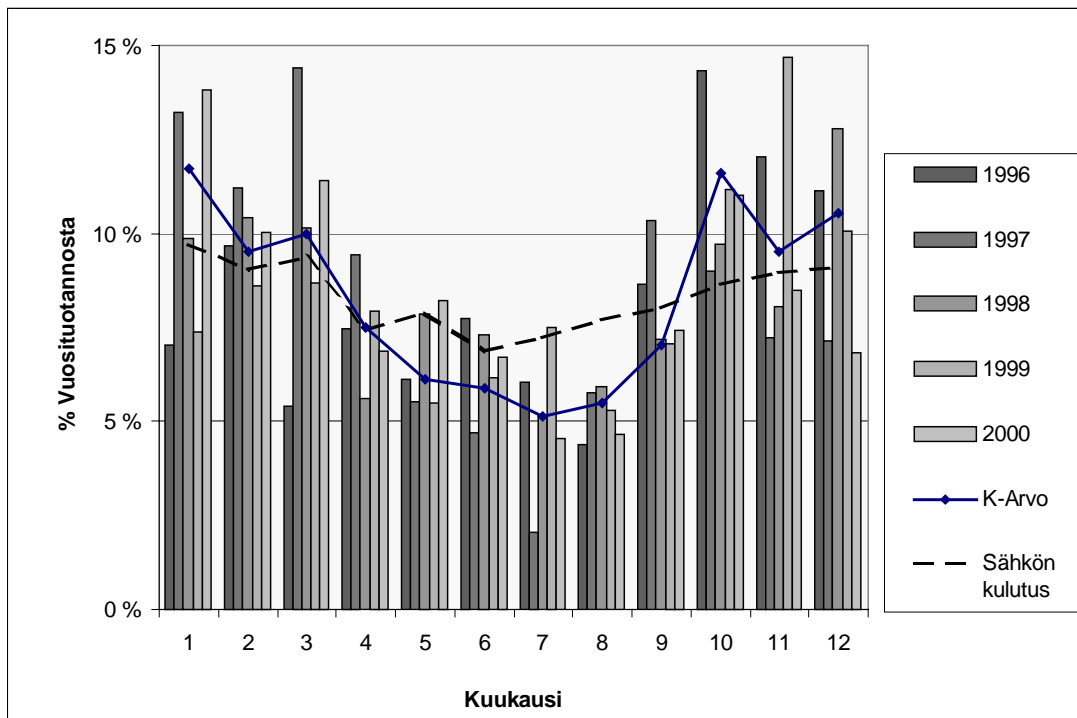
ALUE	1997		1998		1999		2000	
	Tuntia	Laitoksia	Tuntia	Laitoksia	Tuntia	Laitoksia	Tuntia	Laitoksia
Lappi					450	3	32	1
Ahvenanmaa			1	1				
Perämeri	28	1	890	4	2477	8	72	1
Selkämeri	60	4	397	4	699	4	100	2
Suomenlahti								
Koko Suomi	88	5	1288	9	3626	15	204	4
Osuus laitosten vuoden tunneista	0,2 %		1,6 %		2,8 %		0,6 %	

8 TUULIVOIMA JA SÄHKÖN KULUTUS

Tuulivoiman tuotanto on talvella keskimäärin suurempaa kuin kesällä, kuten sähkön kulutuskin. Kun sähkön kulutuksessa on huippu, ei tuulivoimaa kuitenkaan aina ole saatavilla. Valtakunnan huipun aikaista tuulivoimatehoa voidaan käyttää hyväksi, kun arvioidaan tuulivoiman kapasiteettivaikutusta valtakunnan ja jakelusähkölaitoksen kannalta: miten paljon muuta sähköntuotantokapasiteettia voidaan jättää rakentamatta kun rakennetaan tuulivoimaa, jonka tuotanto on vaihtelevaa. Tutkimusten perusteella tuulivoiman kapasiteettivaikutus valtakunnan tasolla on tuotannon kapasiteettikertoimen suuruusluokkaa /2/.

8.1 TUULIVOIMAN KAUSIVAIHTELU

Tuulivoimatuotanto on yleensä talvikuukausina huomattavasti suurempaa kuin kesäkuukausina /3/. Vuosien 1992–1999 tuotannot kuukausittain on esitetty kuvassa 16. Mukana ovat ainoastaan ne voimalaitokset, jotka ovat olleet käytössä koko vuoden (tutkimuslaitoksia ei ole mukana). Kuutena talvikauden kuukautena (loka-joulukuu ja tammi-maaliskuu) tulee 60–69 % tuulivoimaloiden vuosituotannosta. Sähkön kulutus kuvassa 16 on sähkön bruttokulutus kuukausittain suhteessa vuosikulutukseen 1999 /4/.



Kuva 18. Tuulivoiman keskimääräinen kausivaihtelu: Suomen standardilaitosten yhteenlasketun tuotannon jakautuminen eri kuukausille vuosina 1996–2000. Suomen sähkön kulutuksen jakautuminen eri kuukausille vuonna 2000 näkyy katkoviivana.

8.2 TUULIVOIMATUOTANTO VALTAKUNNAN HUIPPUN AIKANA

Tuulivoimalaitosten tuntitehot on kysytty valtakunnan huippujen ajalta (taulukko 11). Kaikista laitoksista ei ole ollut käytettävissä tuntitehoja, joten taulukossa on ilmoitettu kunkin vuoden kohdalla kyselyyn vastanneiden laitosten nimellisteho, ja tuotettu teho prosenttina nimellistehosta.

Taulukko 11. 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
99/00	25.1.00 klo 08-09	6563 kW	36 %	18,15 MW
00/01	5.2.01 klo 08-09	1285 kW	5 %	23,9 MW

Kymmenen vuoden perusteella saadaan huipunaikaiseksi tuulivoimatuotannoksi keskiarvona 24 % (tuulivoimateholla painotettu keskiarvo 19 %).

LÄHDELUETTELO

/1/ Andersson, A., Olsson, G. Driftuppföljning av Vindkraftverk över 50 kW. Årsrapport 1999. Vattenfall, Tukholma, 2000. <http://www.elforsk.se/varme/varm-vind.html>

/2/ Peltola, E., Petäjä, J. Tuulivoima Suomen energiahuollossa. VTT Julkaisuja 775, Espoo, 1993.

/3/ Holttinen, H. et al. Tuulivoimatuotannon vaihtelut ja niiden arviointi. VTT Tiedotteita 1800, Espoo, 1996.

/4/ SENER: Sähkön pikatilasto http://www.energia.fi/sahko/hank_2.html

/5/ International Wind Energy Development, World Market Update 2000, BTM Consult ApS.

/6/ Wind Turbine Performance Summary, Wind Stats Newsletter, Vol.13, No. 2, 2000 - Vol. 14, No. 1, 2001.

OHJE: TÄYTÄ VAIN HARMAAT SOLUT (voit liikkua TAB näppäimellä)

Kuukausi / Vuosi

/ 2000

Raportoijan nimi

TUOTANTO:		(kW)	(kWh)	(kWh)	(h)	(h)	(h)
ID Tuulivoimala	Lempinimi	Teho	brutto	netto	tuotantoaika	myrsky	kylmä aika
54 Tuulivoimala 1	Mylly 1	1000	0	0		0	0
55 Tuulivoimala 2	Mylly 2	1000	0	0		0	0
- Yhteensä		2000	0	0			

HÄIRIÖAIKA:		(kW)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	
ID Tuulivoimala	Lempinimi	Teho	Häiriöaika	sähköverkko	häiriö	vika	huolto	jäätyminen	muu
54 Tuulivoimala 1	Mylly 1	1000	0	0	0	0	0	0	0
55 Tuulivoimala 2	Mylly 2	1000	0	0	0	0	0	0	0

- huolto: etukäteen suunniteltu (puoli)vuosihuolto

häiriö: toimenpiteeksi riittää esim. manual reset

vika: vaatii osan korjauksen/vaihdon, sisältää koko häiriöajan vian huomaamisesta sen korjaamiseen

KOMMENTIT JA TARKENNUKSET (viat ja häiriöt, syy ja komponentti):

ID Tuulivoimala	Lempinimi	
54 Tuulivoimala 1	Mylly 1	
55 Tuulivoimala 2	Mylly 2	
- jätymishavainto:		
vikojen ja häiriöiden vuoksi menetetty tuotanto (arvio):		kWh
muuta/lisättävää:		

Täyttöohjeita

Tiedot siirretään automaattisesti tästä tiedostosta tietokantaan, joten on tärkeää, että tiedot laitetaan oikeisiin ruutuihin. Ei väliä, vaikka teksti ei mahtuisi näkyvään osaan.

Turkoosit ruudut ovat joko ihan pakko täyttää tai sitten se on ainakin erittäin suositeltava. Valkoiset ruudut ovat tilanteesta riippuen vapaaehtoisia.

Voimalat tulevat saamaan "virallisen" nimen sijoituspaikan ja juoksevan numeron mukaan. Samaan sijoituspaikkaan kuuluvat voimalat ovat osa samaa tuulipuistoa. Sen lisäksi niille voi antaa lempinimen, jonka ne yleensä saavat kastetilaisuudessa.

Mikäli samaan sijoituspaikkaan rakennetaan erilaisia voimaloita (voimalatyyppin, napakorkeuden, etc. mukaan), tulee tämä lomake täyttää useampaan kertaan.

Projekti- ja sijoituspaikkatietoja

Projektin aloituspv	<input type="text"/>	(pp.kk.vvvv)
Sijoituspaikan kunta	<input type="text"/>	
Sijoituspaikan nimi	<input type="text"/>	
Sijoituspaikan lähin postinumero	<input type="text"/>	
Latitude	<input type="text"/>	(Käytetään karttasovelluksiin)
Longitude	<input type="text"/>	(Käytetään karttasovelluksiin)
Koordinaattien tarkkuus	<input type="text"/>	(Arvioi suullisesti)
Sijoituspaikan luonne (tunturi, etc.)	<input type="text"/>	
Arvioitu vuosituotanto	<input type="text"/>	MWh (Mikäli ei arvioitu laitoksittain)
Arvion tekijä	<input type="text"/>	(Täytä, vaikka olisi arvioitu laitoksittain)

Omistajataho

Yrityksen nimi	<input type="text"/>	
Yrityksen LY	<input type="text"/>	(Yritysten yksilöllistä tunnistamista varten)
Osoite	<input type="text"/>	
Postinro	<input type="text"/>	
Postitoimipaikka	<input type="text"/>	
Muuta	<input type="text"/>	

Käyttäjätaho

(Voi olla sama kuin omistajataho)

Yrityksen nimi	<input type="text"/>	
Yrityksen LY	<input type="text"/>	(Yritysten yksilöllistä tunnistamista varten)
Osoite	<input type="text"/>	
Postinro	<input type="text"/>	
Postitoimipaikka	<input type="text"/>	
Muuta	<input type="text"/>	

Yhteyshenkilöt

	Yhteyshenkilö 1	Yhteyshenkilö 2	Yhteyshenkilö 3	
Etunimi	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Sukunimi	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Yritys LY	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Puhelin	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Fax	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
E-mail	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Omistajatahon edustaja	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kyllä/ei
Käyttäjä	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kyllä/ei
Sähkölaitoksen edustaja	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kyllä/ei
Kuukausiraportoija	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kyllä/ei
Muuta	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Investointitietoja				
Investointituki		%		
Tuen myöntäjä		(Henkilö)		
Investointikustannukset		mk		
Voimaloiden hinta		mk		
Perustusten hinta		mk		
Tie/maanrakennuskustannukset		mk		
Pystytys		mk		
Verkkoonliittäminen		mk		
Suunnittelu, hallinto		mk		
Muuta				

Laitostietoja				
Valmistaja				
Laitostyyppi				
Laitoksien lukumäärä				
Napakorkeus				

Komponenttierittelyä				
	Lavat	Generaattori	Vaihteisto	Torni
Valmistaja				
Komponentin tyypinimi				

Yksittäisistä laitoksista				
	Lempinimi	Verkkoon kytkemispvm	Lämmitysjärjestelmä	Arvioitu tuotanto MWh
Sijoituspaikan voimala 1				
Sijoituspaikan voimala 2				
Sijoituspaikan voimala 3				
Sijoituspaikan voimala 4				
Sijoituspaikan voimala 5				
Sijoituspaikan voimala 6				
Sijoituspaikan voimala 7				
Sijoituspaikan voimala 8				
Sijoituspaikan voimala 9				
Sijoituspaikan voimala 10				
Sijoituspaikan voimala 11				
Sijoituspaikan voimala 12				
Sijoituspaikan voimala 13				
Sijoituspaikan voimala 14				
Sijoituspaikan voimala 15				
Sijoituspaikan voimala 16				
Sijoituspaikan voimala 17				
Sijoituspaikan voimala 18				
Sijoituspaikan voimala 19				
Sijoituspaikan voimala 20				
Sijoituspaikan voimala 21				
Sijoituspaikan voimala 22				
Sijoituspaikan voimala 23				
Sijoituspaikan voimala 24				
Sijoituspaikan voimala 25				
Sijoituspaikan voimala 26				
Sijoituspaikan voimala 27				
Sijoituspaikan voimala 28				
Sijoituspaikan voimala 29				
Sijoituspaikan voimala 30				
Sijoituspaikan voimala 31				
Sijoituspaikan voimala 32				
Sijoituspaikan voimala 33				
Sijoituspaikan voimala 34				
Sijoituspaikan voimala 35				
Sijoituspaikan voimala 36				
Sijoituspaikan voimala 37				
Sijoituspaikan voimala 38				

TUULIVOIMAN TUOTANTOTILASTO 2000

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		61	942	195	0,11	816	91%
Korsnäs 1	200	Nordtank	32/25	380	334	1668	702	0,19	229	97%
Korsnäs 2	200	Nordtank	32/25	380	307	1534	646	0,17	306	97%
Korsnäs 3	200	Nordtank	32/25	380	337	1686	709	0,19	382	97%
Korsnäs 4	200	Nordtank	32/25	380	354	1772	746	0,20	32	100%
Pyhätunturi	220	WindWorld	31/25	600	295	1342	601	0,15	2105	76%
Sottunga	225	Vestas	30/27	450	449	1995	784	0,23	65	99%
Siikajoki 1	300	Nordtank	30/31	650	475	1584	630	0,18	297	97%
Siikajoki 2	300	Nordtank	30/31	670	539	1798	715	0,20	0	100%
Kalajoki 1	300	Nordtank	30/31	660	426	1421	565	0,16	0	100%
Kalajoki 2	300	Nordtank	30/31	660	402	1341	533	0,15	494	94%
Kemi 1	300	Nordtank	35/31	610	365	1218	484	0,14	349	96%
Kemi 2	300	Nordtank	35/31	610	404	1346	535	0,15	81	99%
Kemi 3	300	Nordtank	35/31	610	378	1258	500	0,14	219	98%
Pori	300	Nordtank	30/31	700	526	1752	696	0,20	2284	74%
Hailuoto 1	300	Nordtank	30/31	725	471	1570	624	0,18	2505	71%
Hailuoto 2	300	Nordtank	30/31	725	495	1651	656	0,19	2457	72%
Lammasoivi 2	450	Bonus	35/37	1100	698	1551	649	0,18	995	89%
Lammasoivi 1	450	Bonus	35/37	1100	672	1494	625	0,17	566	94%
Hailuoto 3	500	Nordtank	35/37	1195	967	1934	885	0,22	1423	84%
Hailuoto 4	500	Nordtank	37/37	1275	853	1706	781	0,19	1652	81%
Kuivaniemi 1	500	Nordtank	35/37	1060	889	1778	814	0,20	242	97%
li	500	Nordtank	39/37	1030	788	1576	721	0,18	174	98%
Eckerö	500	Vestas	40/39	1200	1276	2551	1068	0,29	155	100%
Kökar	500	Enercon	44/40	1200	1401	2802	1098	0,32	470	95%
Värdö	500	Enercon	55/40	1200	1129	2257	885	0,26	64	100%
Finström 1	500	Enercon	55/40	1200	1180	2361	925	0,27	170	100%
Finström 2	500	Enercon	55/40	1200	1172	2344	919	0,27	210	99%
Siikajoki 3	600	Nordtank	49/43	1350	1171	1952	807	0,22	300	97%
Siikajoki 4	600	Nordtank	45/44	1350	1114	1857	767	0,21	936	90%
Lemland 1	600	Vestas	45/44	1200	1273	2122	837	0,24	143	99%
Lemland 2	600	Vestas	45/44	1200	1313	2189	864	0,25	72	100%
Lemland 3	600	Vestas	45/44	1200	1241	2069	816	0,24	83	99%
Lemland 4	600	Vestas	50/44	1200	1189	1982	782	0,23	27	100%
Lammasoivi 3	600	Bonus	41/44	1400	1141	1902	751	0,22	246	97%
Olos 1	600	Bonus	41/44	1400	1090	1817	717	0,21	160	99%
Olos 2	600	Bonus	41/44	1400	1115	1859	734	0,21	397	96%
Olos 3	600	Bonus	41/44	1400	1206	2010	793	0,23	127	99%
Olos 4	600	Bonus	41/44	1400	1192	1986	784	0,23	184	99%
Olos 5	600	Bonus	41/44	1400	1185	1974	779	0,22	374	97%

TUULIVOIMAN TUOTANTOTILASTO 2000

Föglö	600	Enercon	65/45	1400	1705	2842	1072	0,32	229	97%
Finström 3	600	Enercon	65/45	1400	1316	2193	827	0,25	224	99%
Lumijoki 1	660	Vestas	50/47	1800	1506	2281	868	0,26	479	95%
Kuivaniemi 2	750	NEG Micon	50/44	1500	1457	1943	959	0,22	112	99%
Kuivaniemi 3	750	NEG Micon	50/44	1500	1471	1961	968	0,22	99	99%
Kuivaniemi 4	750	NEG Micon	50/44	1500	1398	1863	919	0,21	87	99%
Närpiö 1	750	NEG Micon	45/48	1600	1882	2510	1040	0,29	151	99%
Kuivaniemi 5	750	NEG Micon	50/48	1500	1696	2261	937	0,26	33	100%
Kuivaniemi 6	750	NEG Micon	50/48	1500	1631	2175	901	0,25	163	98%
Kuivaniemi 7	750	NEG Micon	50/48	1500	1632	2176	902	0,25	43	100%
Pori 2	1000	Bonus	60/54	2340	2128	2128	929	0,24	455	95%
Pori 3	1000	Bonus	60/54	2340	1905	1905	832	0,22	883	90%
Pori 4	1000	Bonus	60/54	2330	1985	1985	867	0,23	996	89%
Pori 5	1000	Bonus	60/54	2320	2008	2008	877	0,23	844	91%
Pori 6	1000	Bonus	50/54	2450	2072	2072	905	0,24	995	89%
Pori 7	1000	Bonus	50/54	2670	2642	2642	1154	0,30	1115	87%
Pori 8	1000	Bonus	50/54	2600	2482	2482	1084	0,28	1140	87%
Pori 9	1000	Bonus	50/54	2580	2569	2569	1122	0,29	971	89%
Kotka 1	1000	Bonus	60/54	2000	1953	1953	853	0,22	531	94%
Kotka 2	1000	Bonus	60/54	2000	2113	2113	923	0,24	1095	88%
Oulunsalo 1	1300	Nordex	65/60	3000	2960	2277	1047	0,26	382	96%
Uusikaupunki 1	1300	Nordex	69/60	2340	2275	1750	805	0,20	613	93%
Uusikaupunki 2	1300	Nordex	69/60	2340	1921	1477	679	0,17	1110	87%
YHTEENSÄ	37920			83160	76581				34541	
KESKIARVO	602				1216	1929	803	0,22	548	94,04 %
Maksimi	1300			3000	2960	2842	1154	0,32	2505	100,00 %
Minimi	65			380	61	942	195	0,11	0	71,48 %

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