

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2012

Henrik Larjava

# TUULIVOIMAN TUOTANTOTILASTOJEN VERTAILU TUULIATLAKSEN ENNUSTEISIIN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Energia- ja polttomoottoritekniikka

2012 | 71 s.+ liitteet 59 s.

Hannele Holttinen, TKT, (VTT), Tommi Paanu, TKL, (TuAMK)

Henrik Larjava

## TUULIVOIMAN TUOTANTOTILASTOJEN VERTAILU TUULIATLAKSEN ENNUSTEISIIN

Opinnäytetyössä on tutkittu Suomen tuuliresursseja sekä tuotanto- ja vikatilastoja. Tavoitteena oli tarkastella Suomen Tuuliatlaksesta tehtyjen tuotantoennusteiden suhdetta pitkän aikavälin toteutuneisiin tuotantoihin.

Työssä tehtiin katsaus siihen, miten tuuli käyttäytyy voimalan ympäristössä ja yleisesti sekä mitkä tekijät vaikuttavat tuulivoiman tuotantoon. Lisäksi perehdyttiin tuulivoiman nykytilaan Suomessa, josta ilmeni ko. energiantuotantomuodon olevan merkittävä lähitulevaisuudessa. Työssä kuvataan pääpiirteittäin, kuinka Suomen Tuuliatlas on mallinnettu ja toteutettu, sekä miten tuulivoimalalle voidaan tehdä tuotantoarvio resurssikartan tuulisuustietojen perusteella. Tuotantoarvioissa on otettu huomioon vähentävinä tekijöinä käytettävyyden, varjovaikutuksen ja jäätyamisen aiheuttamat tuotantotappioarviot.

Työhön valittiin mukaan 15 laitosta edustamaan Tuuliatlaksen laskennallista aikaa (1989–2007). Laitosvalinnassa tutkittiin Suomen tuulivoimaloita kokonaisuudessaan ja valintaan vaikuttivat aloitusvuosi ja sijainti. Tuotanto- ja vikatilastoja sekä Ilmatieteen laitoksen julkaisemia tuotantoindeksejä tarkasteltiin pitkiltä aikaväleiltä. Tuotantovuosia tutkittiin yhteensä 262 kappaleen verran.

Tuotantoarvioiden ja toteutuneiden tuotantojen vertailussa selvisi, että Tuuliatlaksesta tehdyt arviot yliarvioivat tuotantoa kaikilla muilla paitsi yhdelle sijoituspaikalle. Korsnäsin laitoksien kohdalla tulokset yliarvioivat runsaasti, keskimäärin +49 %. Kemian, Siikajoen ja Sottungan erot olivat keskimäärin +22,4 %, 17,4 % ja 12,8 %. Porin voimalan tuotantoarviossa huomattiin vähiten eroja suhteessa toteutuneisiin tuotantoihin, keskimäärin +3,7 %, kun taas Hailuodon tulokset aliarvioivat, keskimäärin -3,2 %.

Laitosten napakorkeudet olivat pienemmät kuin atlaksen tuuliarvion korkeus, joten keskimääräisiä tuulen nopeuksia korjattiin tuulen profiilikaavalla ja niistä laskettiin karkeasti korkeuskorjatut tuotantoarviot. Tulokset jäivät Korsnäsin kohdalla vielä yliarvioimaan, keskimäärin +27 %, mutta paransivat tuloksia Kemian ja Siikajoen kohdalla, erojen ollessa keskimäärin -9,2 % ja -7,3 %. Sottungan, Porin ja Hailuodon laitoksien arviot muuttuivat huomattavan aliarvioiviksi (-21,7 %, -15,6 %, -15,8 %).

Yliarviointia voi selittää muutamat seikat: napakorkeus on matalammalla kuin atlaksen tuuliarvio ja/tai hilan tunnistetiedon sijainti on huomattavasti erillään voimalan sijoituspaikasta. On huomattava kuitenkin, että jakaumalta lasketut tulokset eivät kuitenkaan systemaattisesti yliarvioi (Hailuoto). Hilan pisteen valinnassa voisi esimerkiksi käyttää 2–4 pistettä sijoituspaikan ympäriltä. Tuulennopeusjakamaa ei ollut saatavilla napakorkeuksille, joten oli käytettävä keskimääräisiä nopeuksia korkeuskorjatussa tuotantoarviossa. Korkeuskorjattu arvio on laskettu hyvin karkeasti ja osoittaa lähinnä, että korkeudella voi olla paljon vaikutusta tuloksiin.

ASIASANAT:

Tuulivoima, Tuotantoarviot, Tuotantotilastot, Tuuliatlas

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Energy and Combustion Engine Technology

2012 | 71 p.+ appendices 59 p.

Ms. Hannele Holttinen, D.Sc. (Tech), (VTT), Mr. Tommi Paanu, Lic. Sc. (Tech), (TUAS)

Henrik Larjava

# WIND ENERGY PRODUCTION STATISTICS IN COMPARISON WITH WIND ATLAS ESTIMATIONS

This thesis studies wind resources in Finland as well as production and failure statistics. The goal of this thesis is to compare the production estimates based on the Finnish Wind Atlas with the actual longterm production of selected wind turbines.

This study covers the behavior of wind and lists factors that influence the production of a wind power plant. The current state of wind energy production in Finland shows signs of a significant growth of the industry in the near future. The modeling methods of the Finnish Wind Atlas are explained on a general basis. Availability, wake effect and icing conditions have been considered when evaluating the average longterm production of a wind turbine.

For this thesis, 15 wind power plants were chosen to represent the computational time period of the Finnish Wind Atlas (1989-2007). The wind turbines selected to this study were decided based on their commissioning dates and locations. Production and failure statistics, as well as production indexes published by the Finnish Meteorological Institute, were examined on a longterm timespan. The total number of production years studied was 262.

When comparing the estimations with the actual productions, it was noticed that the Wind Atlas overestimates the production for most of the sites selected to this study. The estimations calculated for turbines located in Korsnäs overestimated by +49 % on average. The results for site locations in Kemi, Siikajoki and Sottunga were +22.4 %, 17.4 % and 12.8 % on average. Part of the estimations differed by only a few percentage units. The least amount of deviation from estimation vs. actual, was calculated on the turbines located in Pori (+3.7 %) and Hailuoto (-3.2 %).

The estimates were calculated based on the distribution of wind speeds. The WASP program gives the values for fixed heights only, so a wind shear formula was used in the study to calculate the annual mean wind speeds at hub height. A rough height correction for the production estimates could be calculated by using these average wind speeds. The results still overestimated for Korsnäs (+27 %), but improved for Kemi (-9.2 %) and Siikajoki (-7.3 %). On the other hand, the results underestimated the production noticeably in Sottunga, Pori and Hailuoto (-21.7 %, -15.6%, -15.8 %).

The deviations from the actual productions can be explained mainly by wind conditions at hub height being lower than used on the estimations and/or the data point of the lattice from the Wind Atlas being considerably separated from the actual site. It is also worth bearing in mind that the calculations based on the Wind Atlas wind speed distributions do not systematically overestimate the production (Hailuoto). Korsnäs results show that when choosing the lattice from the Wind Atlas, it is preferable to choose 2–4 points around the site location to improve accuracy. The rough estimates based on mean wind speeds are merely to highlight the influence of height to the results.

KEYWORDS:

Wind energy, Production estimations, Production statistics, Wind Atlas

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA KAAVAT</b>	<b>8</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>10</b>
<b>2 TUULIVOIMA JA SEN TILA SUOMESSA</b>	<b>11</b>
2.1 Tuulivoimameteorologia	11
2.2 Tuulesta energiaa	14
2.3 Varjostusvaikutus	17
2.4 Projektit Suomessa	18
<b>3 TUULIATLAS</b>	<b>21</b>
3.1 Mallinnus	21
3.2 Sääennustusmallit	24
3.3 WAsP Tuulimalli	26
3.4 Jäätämisaatlas	28
<b>4 TYÖHÖN OSALLISTUVAT LAITOKSET</b>	<b>32</b>
4.1 Suomen tuulivoimatilastot	32
4.2 Tilastoitavat laitokset ja suureet	33
4.3 Työhön valitut laitokset ja häiriöt tuotannossa	35
<b>5 TUOTANTO</b>	<b>40</b>
5.1 Tuotantoarviot Tuuliatlaksen tietokannan perusteella	40
5.1.1 Korsnäs	41
5.1.2 Kemi	44
5.1.3 Sottunga	45
5.1.4 Siikajoki	47
5.1.5 Pori	48
5.1.6 Hailuoto	49
5.2 Toteutunut tuotanto, tunnusluvut ja tuotantoindeksit	52
5.2.1 Korsnäs	55
5.2.2 Kemi	58
5.2.3 Sottunga	60
5.2.4 Siikajoki	62
5.2.5 Pori	63
5.2.6 Hailuoto	65
5.3 Tuotantovertailut	68
5.3.1 Herkkyysanalyysi – Atlas arvioiden korkeuskorjaus	73

<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>79</b>
6.1 Tuuleen vaikuttavat tekijät	79
6.2 Tuuliatlas	80
6.3 Tilastot	81
6.4 Tuuliatlas arviot ja niiden vertailu toteutuneisiin tuotantoihin	81
<b>LÄHTEET</b>	<b>85</b>

## LIITTEET

Liite 1. Suomen tuulivoimalaitosten tiedot

Liite 2. Tuuliatlas arviointiin valittujen laitosten tehoarvot.

Liitteet 3–8. Korsnäs, Kemi, Sottunga, Siikajoki, Pori, Hailuoto; Tuulen nopeuden frekvenssit, jäätäminen, keskiteho ja keskimääräinen vuosituotanto.

Liitteet 9–14. Korsnäs, Kemi, Sottunga, Siikajoki, Pori, Hailuoto; Kuukausituotannot Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta ja tilastoidut suureet.

Liite 15. Laskuesimerkki.

Liite 16. Työseloste.

## KUVAT

Kuva 1. Planetaarinen tuulijärjestelmä .....	11
Kuva 2. Tuulensuunnat asteina.....	12
Kuva 3. Tuuliruusut Suomessa .....	12
Kuva 4. Rajakerroksen havainnekuva.....	13
Kuva 5. Ominaisteho häiriintymättömän tuulen nopeuden funktiona. ....	15
Kuva 6. Tuulivoimalan lavan kohtauskulma .....	16
Kuva 7. Häiriintymätön tuuli ja sen muutos välittömästi roottorin edessä ja takana .....	17
Kuva 8. Varjostusvaikutus havainnollistettu Tanskan Horns Rev merituulipuistosta ....	18
Kuva 9. Suomen tuulivoimahankkeet 01/2012. ....	19
Kuva 10. Tuuliatlaksen simuloitua vuodet eri kalenteri kuukausille.....	23
Kuva 11. Tuuliatlaksen dynaamiset kartat, korkeus 100 m. Tuulen keskinopeus (m/s) a. toukokuu b. joulukuu. 3MW:n voimalan mahdollinen tuotanto (MWh) c. toukokuu d. joulukuu .....	24
Kuva 12. Säämallien kattamat alueet.....	26
Kuva 13. Siikajoen Lib -tiedosto. Vasemmalta oikealle: tuuliruusu ja Weibull – jakauma. Valittu korkeus 100 m ja rosoisuus luokka 0,100 m (R – class 2).....	28
Kuva 14. Passiivisen jäätämisen tilastollinen jakauma lokakuusta maaliskuuhun koko Suomen alueelta.....	30
Kuva 15. Jään vaikutuksesta heikentyneet tehokäyrät.....	31

Kuva 16. Suomen tuulivoimaloiden yhteistuotanto ja kapasiteetti sekä tuotantoindeksi vuodesta 1992 lähtien.....	33
Kuva 17. Suomen tuulivoimaloiden sijoituspaikat.....	34
Kuva 18. Komponenttien osuus käyttökatoista vuosiväliltä 1996–2010. ....	38
Kuva 19. Komponenttivikatapausten yleisyys, niiden kesto ja voimalan seisokkiaika päivinä.....	39
Kuva 20. Korsnäs 1-4, maastokuva .....	43
Kuva 21. Kemi Ajos, maastokuva.....	45
Kuva 22. Kuvakaappaus Ormhällan sijainnista .....	46
Kuva 23. Varessäikän voimalat ja maastokuva .....	48
Kuva 24. Pori 1 laitos- ja maastokuva .....	49
Kuva 25. Huikku, laitos- ja maastokuva .....	51
Kuva 26. Marjaniemi 1-3, maastokuva .....	51

## KUVIOT

Kuvio 1. Tuotantoindeksit vuosiväliltä 1987–2011	54
Kuvio 2. Korsnäs. Toteutuneet tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.	56
Kuvio 3. Korsnäs. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.	57
Kuvio 4. Kemi. Toteutunut tuotanto nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.	58
Kuvio 5. Kemi. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.	59
Kuvio 6. Sottunga. Toteutunut tuotanto nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.	60
Kuvio 7. Sottunga. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.	61
Kuvio 8. Siikajoki. Toteutuneet tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.	62
Kuvio 9. Siikajoki. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.	63
Kuvio 10. Pori. Toteutuneet tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna	64
Kuvio 11. Pori. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.	65
Kuvio 12. Hailuoto. Toteutuneet tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.	66
Kuvio 13. Hailuoto. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.	67
Kuvio 14. NTK 300/31, NTK 200F ja Vestas V27 -voimaloiden tuotannot pitkältä aikaväliltä. Ajanjakson pituus vuosissa on merkitty pylväiden yläpuolelle.	69
Kuvio 15. Tuuliatlasarviot ja toteutetut tuotannot sekä kapasiteettikertoimet.	70
Kuvio 16. Atlasarvion suhde toteutuneisiin vuosituotantoihin.	71
Kuvio 17. Toteutuneet tuotannot ja tuotantoarviot. Kuvioon 15 lisätty korkeuskorjattu tuotantoarvio.	77
Kuvio 18. Arvioiden erot toteutuneista keskimäärin. Kuviossa esitetty jakaumalta tehty arvio ja korkeuskorjattu arvio. Erot toteutuneista keskimääräisinä. Arvioita verrattu toteutuneisiin bruttona ja nettona.	78

## TAULUKOT

Taulukko 1. Tuuliatlasvertailuun valitut laitokset.....	35
Taulukko 2. Tuuliatlasvertailuun valittujen laitosten tiedot .....	36
Taulukko 3. Korsnäs Tuuliatlasarvio, yhteenveto .....	42
Taulukko 4. Kemi Tuuliatlasarvio, yhteenveto .....	44
Taulukko 5. Sottunga (Ormhälla) Tuuliatlasarvio, yhteenveto .....	46
Taulukko 6. Säikkä Tuuliatlasarvio, yhteenveto.....	47
Taulukko 7. Pori Tuuliatlasarvio, yhteenveto.....	49
Taulukko 8. Hailuoto Tuuliatlasarvio, yhteenveto .....	50
Taulukko 9. Atlasarvion keskimääräinen ero toteutuneista tuotannoista prosenttiyksikköinä . .....	72
Taulukko 10. Eksponentit eri maastotyyppien mukaan.....	74
Taulukko 11. Vuotuiset tuulen nopeudet korkeuskorjattuna. ....	74
Taulukko 12. Vuotuiset keskitehot ja tehokertoimet.....	76
Taulukko 13. Tuotantoarviot ja erot toteutuneisiin tuotantoihin.....	83
Taulukko 14. Korkeuden vaikutus tuotantoarvioihin. ....	83

# KÄYTETYT LYHENTEET JA KAAVAT

Lyhenne	Lyhenteen selitys:
W	watti
m <sup>2</sup>	neliometri
km <sup>2</sup>	neliökilometri
kW	kilowatti
MW	megawatti
kWh	kilowattitunti
GWh	gigawattitunti
TWh	terawattitunti
FMI/IL	Finnish Meteorological Institute / Ilmatieteen laitos
LAT	latitude, leveysaste
LON	longitude, pituusaste
E	tuotanto (kWh/MWh/TWh)
P	teho (kW)
CF	kapasiteettikerroin (%)
t <sub>h</sub>	huipunkäyttöaika (h)
h	tunti
napakorkeus	korkeus maasta roottorin navan keskipisteeseen
s	sekunti
D	roottorin halkaisija (m)



Liitteissä 3–8 käytetty kaava. Keskiteho  $P_{\text{keski}}$  ja vuosituotanto  $E$  (van de Wekken 2007, 5):

$$P_{\text{keski}} = \left( \sum_{i=0.5}^{i=n} f_{wi} \cdot P_{wi} \right)$$

$w$  = tuulen nopeus ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

$f_{wi}$  = Tapausten yleisyys tietyllä tuulen nopeudella (%) ks. Liitteet 3 – 8

$P_{wi}$  = Tuotettu teho tietyllä tuulen nopeudella (kW)

$n$  = Tietojen lukumäärä tuulivoimalan käyttöalueella ( $0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  välein)

$E = P_{\text{keski}} \cdot h_{\text{vuosi}}$

# 1 JOHDANTO

Tuulivoima on maailmanlaajuisesti nopeiten kasvava energian tuotantomuoto ja sen ennakoidaan olevan suuressa roolissa myös Suomessa EU:n ympäristötavoitteiden<sup>1</sup> myötä. Suomen tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta 38 %:iin nykyisestä. (VM 2012, 37)

Tuulivoiman tuotannossa on tärkeää ymmärtää tuuliresurssien vaihtelevuudet ja tekniikat optimaalisen sijoituspaikan löytämiseen sekä mitkä seikat vaikuttavat tuotantoon. Tässä työssä tullaan havainnollistamaan menetelmiä Suomen tuuliresurssien mallintamiseen ja kuinka tarkasti arviot perustuvat todellisiin tuotantolukuihin. Työssä selvitetään myös tuulivoimatuotannon tämänhetkinen tila Suomessa. Tuotantoarvioiden määrittämisessä hyödynnetään Suomen Tuuliatlaksesta saatavia tuulisuusolosuhdetietoja. Tuuliatlaksesta saatuja tietoja tulkitaan WAsP-ohjelman avulla.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja vertailla Suomen Tuuliatlaksesta (myöh. Tuuliatlas, Atlas) tehtyjen tuotantoarvioiden suhtautumista toteutuneisiin tuotantoihin. Analyysi suoritetaan Tuuliatlaksen koko laskennan ajalta ja tuotantoja tarkastellaan pitkiltä aikaväleiltä. Tarkastelussa otetaan huomioon laitokset, jotka ovat olleet toiminnassa kokonaan tai osittain mallinnetulla ajanjaksolla. Työ on toteutettu yhteistyössä Teknologian Tutkimuskeskus VTT:n kanssa.

Tavoitteena on laskea Ilmatieteen laitoksen tuottaman Tuuliatlaksen perusteella tuotantoarviot valikoiduille paikkakunnille ja esittää arvion suhde toteutuneisiin tuotantoihin.

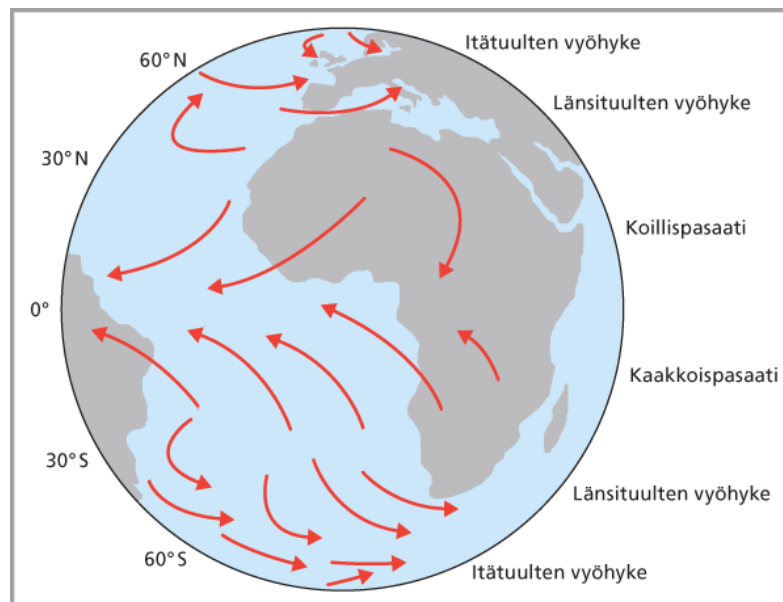
---

<sup>1</sup> EU 2020: Uusiutuvan energian tuotannon osuutta kokonaiskulutuksesta nostetaan 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä.

## 2 TUULIVOIMA JA SEN TILA SUOMESSA

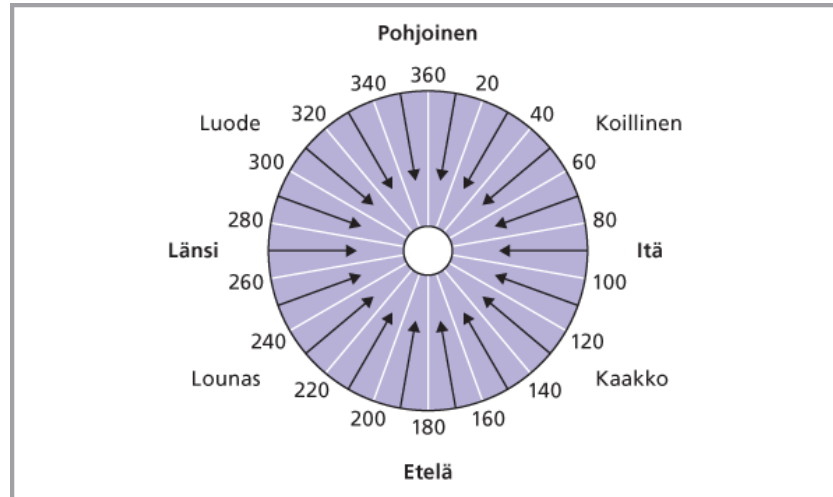
### 2.1 Tuulivoimameteorologia

Tuuli on ilman virtausta, se aiheutuu ilman ja maan välisestä lämpötilaerosta johtuvasta ilmanpaine-erosta. Maan pyörimisliikkeestä aiheutuvan Coriolisvoiman johdosta ilmanvirtaus maapallolla ei ole laminaarista. Tästä johtuen esimerkiksi pohjoisella pallonpuoliskolla virtaus liikkuu matalapaineen keskukseen ympäri vastapäivän suuntaisesti ja eteläpuoliskolla taas päinvastoin (ks. kuva 1). (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

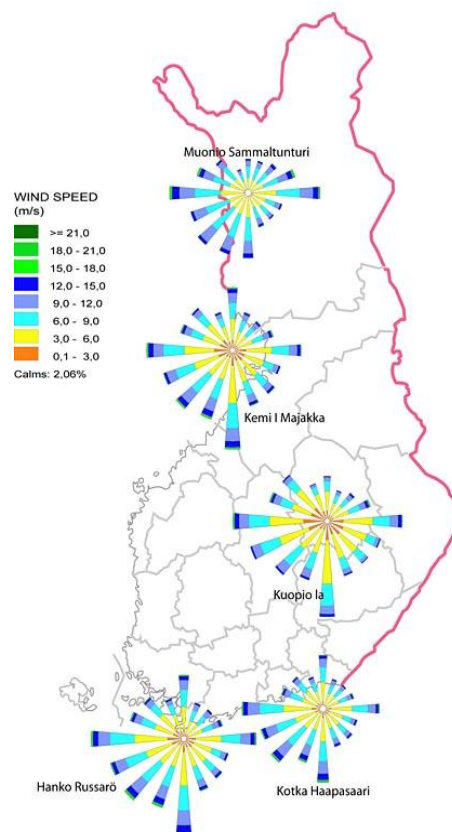


Kuva 1. Planetaarinen tuulijärjestelmä (Tuulivoiman tietopaketti 2009).

Tästä johtuvat siis tuulen suunnan muutokset. Tuulen suunta ilmoitetaan ilmansuuntien avulla. Kun jaetaan ilmansuuntia asteisiin, ovat energiasovellutuksissa suunnat jaettu kahteentoista eri 30°:n sektoriin. Suuntia 345–15° kutsutaan pohjoistuuleksi ja siitä eteenpäin sektorit jatkuvat 15–45°, 45–75°, 75–105° jne. Suunnat ovat havainnollistettu kuvassa 2. (Suomen Tuuliatlas 2009a)



Kuva 2. Tuulensuunnat asteina (Suomen Tuuliatlas 2009a).

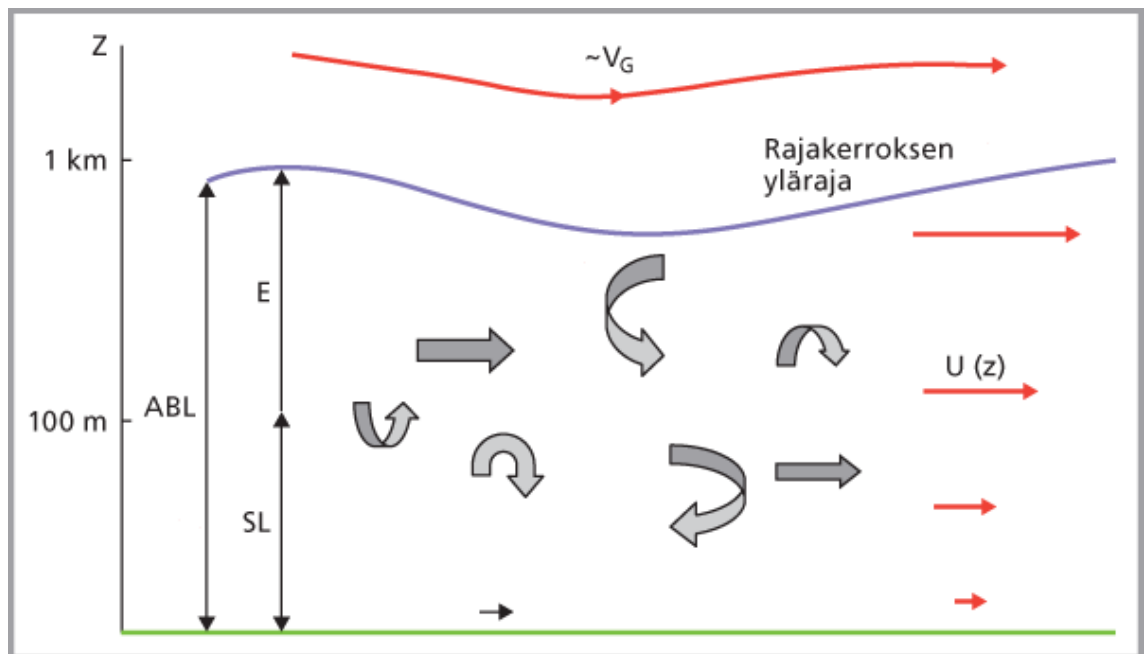


Kuva 3. Tuuliruusu Suomessa (Suomen Tuuliatlas 2009a).

Suomessa vallitseva tuulensuunta on lounainen, mikä voidaan kuvata asteina väliltä 180–270°. Kuvassa 3 esitetään Suomen tuuliruusu eri sääasemilta, jois-

ta nähdään tuulen suunnan yleisyys eri sektoreissa. Tuuliruusu ilmaisee tuulen suunnan yleisyyden eri sektoreissa. Arvot esitetään yleisesti prosenttiyksikköinä. Tuuliruusuja voidaan käyttää hyväksi esim. tuulivoimaloiden sijoitusta suunniteltaessa.

Tuulivoimaloiden toiminnallinen sijainti on nk. rajakerroksessa, joka on n. 10–150 m korkeudella maanpinnasta, ulottuen jopa kilometrin korkeuteen asti. Rajakerroksen synty tapahtuu ilmakehän ylempien kerrosten mukautumisesta maanpinnan muotoihin. Virtaus on rajakerroksessa aina turbulენტtista. Turbulenttisuus riippuu maaston rosoisuudesta (metsät, kukkulat, rakennukset, aukeat, merialueet jne.), joka vaikuttaa näin ollen virtauksen suuntaan ja nopeuteen. (Suomen Tuuliatlas 2009b.)



Kuva 4. Rajakerroksen havainnekuva (Suomen Tuuliatlas 2009b).

Kuvassa 4. esitetään rajakerroksen eri tasot, missä:

- ABL= Atmospheric Boundary eli rajakerros
- SL=Surface Layer eli pintakerros (n.10 % rajakerroksesta)
- E= Ekmanin kerros, jossa tuulen suunta muuttuu
- $U(z)$ = tuulennopeus korkeudella  $z$

- VG= Vapaa ilmakehä, vähäinen turbulenssi

Kuvasta voidaan nähdä, että tuulen voimakkuus ja tasaisuus kasvaa noustaessa korkeammalle ilmakehälle, jossa pinnan muotojen vaikutukset häviävät pintakitkan pienentyessä. (Suomen Tuuliatlas 2009b) Maaston rosoisuutta ja sen vaikutusta tuuleen arvioidaan silloin, kun suunnitellaan tuulivoimaloille sijoituspaikkaa tai määritetään laitokselle tuotantoarviota.

## 2.2 Tuulesta energiaa

Suurin osa maailmanlaajuisesti käytössä olevasta energiasta on peräisin aurinosta. Maapallolle saapuvasta auringon säteilyenergiasta noin 2-3 % muuttuu tuulen liike-energiaksi. Tuulivoima on siis tuulen liike-energian muuntamista sähköenergiaksi tuuliturbiineilla. Tuulivoima on nopeasti uusiutuva ja päästötön energianlähde tuotannossa. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Tuulesta teoreettisesti saatava energian määrä voidaan ilmaista tuulen energiasisältönä, jonka yksikkö on  $W/m^2$ , joka tarkoittaa tuulen tekemää työtä pinta-alayksikköä kohden. Tuulen energia voidaan määrittää seuraavalla kaavalla (Suomen Tuuliatlas 2009c):

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

jossa

$$\rho = \text{ilman tiheys tietyssä lämpötilassa} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$A = \text{pinta - ala} (m^2)$$

$$v = \text{tuulen nopeus vapaassa ilmavirrassa} \left( \frac{m}{s} \right)$$

Tuulivoimalalle voidaan myös määrittää sen hyödyntämä energia tuulen nopeudesta soveltamalla em. kaavaa (Suomen Tuuliatlas 2009c):

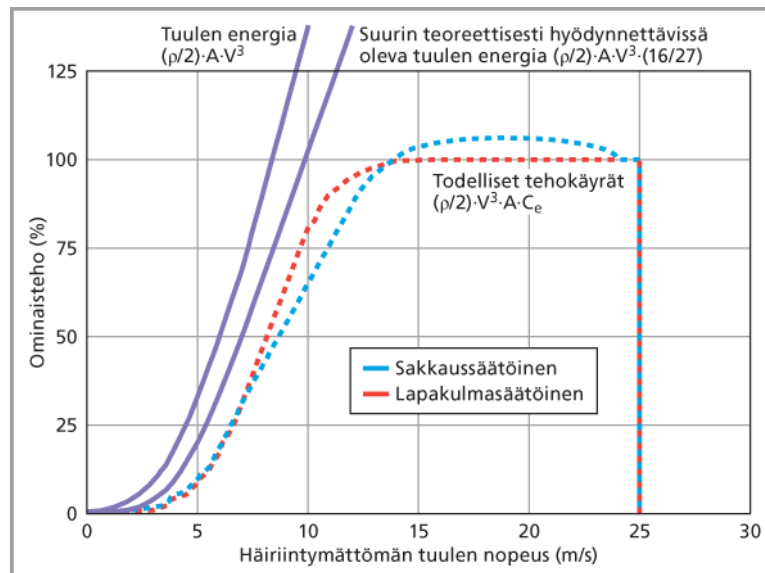
$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$$

jossa

$$C_p = \text{tehokerroin tai Betzin raja - arvo} \left(\frac{16}{27}\right)$$

$$A = \text{roottorin pyyhkäisyypinta - ala (m}^2\text{)}$$

Roottori ei pysty hyödyntämään tuulen virtauksen kokonaisenergiaa, joten saksalainen fyysikko Albert Betz on todennut, että roottori voi hyödyntää teoriassa maksimissaan 59,3 % tuulen liike-energiasta (Suomen Tuuliatlas 2009c). Luku voidaan myös tulkita tuulivoimalan hyötysuhteena. Todelliset tehokertoimet vaihtelevat laitoksista riippuen 0.3–0.5 välillä. Nykyaikaiset voimalat voivat päästä hyvinkin lähelle Betzin rajaa. Kuvassa 5 havainnollistetaan tuulesta saatava teho tuulen nopeuden funktiona.

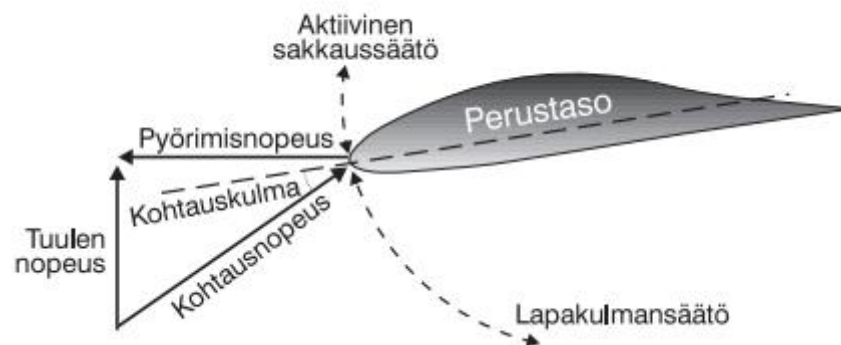


Kuva 5. Ominaisteho häiriintymättömän tuulen nopeuden funktiona. (Suomen Tuuliatlas 2009c)

Kuvassa ilmaistujen voimaloiden tehokäyrät voidaan jakaa kahteen tyyppiin tehonrajoituskeinojen perusteella:

**Lapakulmasäätöiset.** Lapakulmasäädöllä varustetut tuulivoimalat säätelevät tehoa muuttamalla lapojen kulmaa ohjausjärjestelmän avustuksella. Järjestelmä valvoo jatkuvasti tuotantoa ja säätelee lapojen kulmaa optimaalisen kohtauskulman (ks kuva 6.) saavuttamiseksi, jolloin voimala pyrkii tuottamaan parhaan

mahdollisen tuotannon kaikilla tuulennopeuksilla. Lapoja säädetään yleisesti samanaikaisesti, mutta moderneissa tuulivoimaloissa säätö suoritetaan sähkömoottoreiden avustuksella ja jokaista lapaa voidaan kääntää itsenäisesti, jolloin saavutetaan optimaalinen vääntömomentti. Kaikki uudet MW -luokan voimalat ovat lapakulmasäätöisiä. Aktiivinen sakkaussäätö toimii samalla periaatteella, mutta tuulennopeuden ylittäessä nimellisarvon, tehon rajoitus tapahtuu sakkausilmiöllä<sup>2</sup> ja sen säätelyllä. (Tuulivoiman projektiopas 1999, 78-80 ;Tekniikka tutuksi 2011.)



Kuva 6. Tuulivoimalan lavan kohtauskulma. (Tuulivoiman projektiopas 1999).

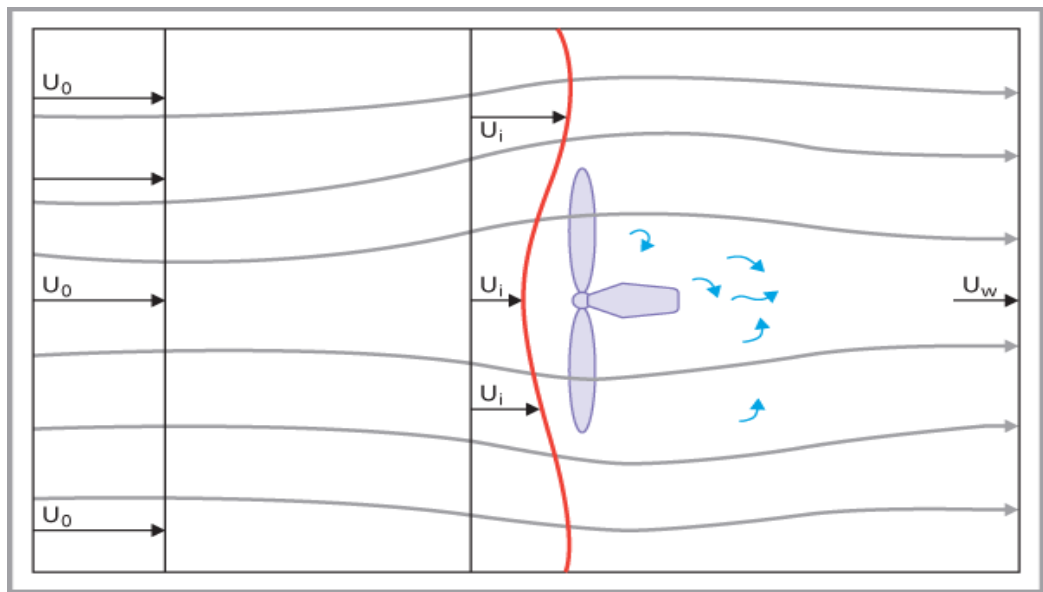
**Sakkaussäätöiset.** Sakkaussäätöisten voimaloiden lavat ovat asetettu kiinteään kulmaan, jolloin tuulen nopeuden saavuttaessa tietyn arvon, tapahtuu sakkaus. Sakkauksen aikana teho putoaa tuulen nopeuden kasvaessa, mutta tietyn pisteen yli mentäessä teho kääntyy nopeaan nousuun, koska lavan taakse syntynyt turbulenssi ei enää kykene rajoittamaan tehoa. Pysäytysmekanismi toimivat kärkijarrut. Kiinteäkulmaiset lavat ovat herkempiä mekaanisille vaurioille. (Tuulivoiman projektiopas 1999, 78–80.)

<sup>2</sup> Sakkaus= Kohtauskulman kasvaessa riittävän suureksi, ilmanvirtaus irtoaa siiven päältä ja nostovoima häviää.



### 2.3 Varjostusvaikutus

Tuulipuistot koostuvat usein muutamista voimaloista aina moniin kymmeneen. Roottorin pyörimisliikkeen johdosta tuulen nopeus ja suunta eivät ole tasaisia välittömästi roottorin takana ja edessä, jolloin tästä aiheutuu turbulენტtista virtausta, joka vaikuttaa tuulen intensiteettiin heikentävästi. Tuulen käyttäytyminen havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Häiriintymätön tuuli ja sen muutos välittömästi roottorin edessä ja takana. (Suomen Tuuliatlas 2009c).

Voimala ottaa energiaa tuulesta ja turbulenssista häiriintynyt virtaus palautuu vasta tietyn välimatkan jälkeen. Turbulenssi siis palauttaa liike-energian voimalan takana olevaan kenttään tietyn ajan kuluttua. Tästä seuraa tehohäviöitä tuulen suunnasta katsottuna ensimmäisen voimalan takana oleville. Tuulen turbulenssi eräässä merituulipuistossa on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Varjostusvaikutus havainnollistettu Tanskan Horns Rev merituulipuistosta. (Ragheb 2012, 6)

Varjoaikutuksen takia voimaloiden sijoittelussa pidetään yleisesti nyrkkisääntönä, että vallitsevan tuulen suuntaisesti sijaitsevat voimalat pystytetään 5-9 kertaa roottorin halkaisijan etäisyydelle, ja vastaavasti sijoittaessa kohtisuoraan vallitsevan tuulen suuntaisesti, etäisyyden tulisi olla 3-5 roottorin halkaisijaa. Turbulenssin voimakkuus siis heikentyy, kun voimaloiden etäisyys toisistaan kasvaa. Voimaloiden tuotantoon varjostusvaikutus heijastuu yleisesti n. 5 %:n tuotantohäviönä. (Ragheb 2012, 7)

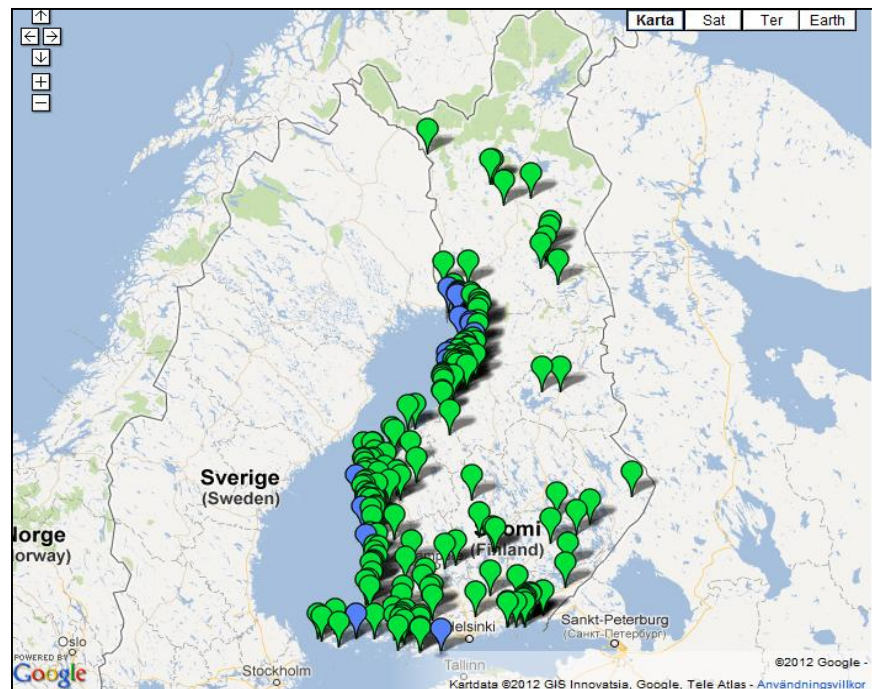
#### 2.4 Projektit Suomessa

Tuulivoimalle on Suomessa asetettu tavoitteet, että vuoteen 2020 mennessä, sähköntuotannosta 6 TWh tuotetaan tuulivoiman avulla. Tavoitteeseen pääseminen edellyttää tuulivoiman nimellistehon nostoa nykyisestä kapasiteetista 2500 MW:iin saakka. (Tuulivoima 2012.)

Suomessa on otettu käyttöön vuonna 2011 ns. syöttötariffijärjestelmä, joka tukee uusiutuvien energiamuotojen lisärakentamista. Syöttötariffijärjestelmän pii-

riin kuuluvat tuulivoiman lisäksi biokaasuvoimalat ja puupolttoainevoimalat. Järjestelmän tarkoitus on tukea taloudellisesti uusien voimaloiden rakentamista maksamalla markkinan mukaisen sähkön hinnan ja tavoitehinnan erotuksen. Nykyinen tuotannon tavoitehintana on 83,5 €/MWh, jonka lisäksi uusille tuulivoimahankkeille on tarjolla erillinen 103,5 €/MWh tavoitehintana kolmelle ensimmäiselle vuodelle, jota on mahdollista saada maks. 3 vuotta vuoden 2015 loppuun saakka. Kaiken kaikkiaan tukea on mahdollista saada enintään 12 vuotta. (syöttötariffi 2012.)

Vuoden 2012 tammikuun lopussa oli Suomessa julkaistu tuulivoimahankkeita n. 7800 MW. Tästä kapasiteetista merituulipuistohankkeita oli n. 3000 MW:n edestä. Suunniteltujen hankkeiden sijainnit ovat havainnollistettu kuvassa 9. (Tuulivoimahankkeet 2012.)



Kuva 9. Suomen tuulivoimahankkeet 01/2012.( Tuulivoimahankkeet 2012).

Merituulihankkeissa pisimmälle on edennyt WDP Finland Oy, jonka projekti on edennyt lupien anomisvaiheeseen. Projektin tavoitteena on rakennuttaa meri-

tuulipuisto Suurhiekan alueelle, joka sijaitsee Hailuodon edustalla. Merituulipuiston nimellisteho on 400 MW ja arvioitu vuosituotanto n. 1500 GWh. Puisto koostuu 80 voimalasta, joiden nimellisteho on 5 MW, napakorkeus 100 m ja roottorin halkaisija 120 m. (WDP Finland Oy li - Suurhiekkä 2012; STY Hankelista 2012.)

Maatuulivoimahankkeissa suurimmat projektit ovat EPV Tuulivoima Oy:llä, jolla on suunnitteilla tuulivoimapuistoja Kristiinankaupunkiin (maks. 225 MW), Mustasaareen (maks. 180 MW) ja Närpiöön (140 MW). Puistot koostuvat 2-5 megawatin voimaloista. Projekteista on hyväksytty ympäristövaikutusarviointit, joka edeltää aluesuunnittelua ja itse lupien hakemista. (STY hankelista 2012.)

### 3 TUULIATLAS

Vuonna 2009 valmistunut Suomen Tuuliatlas on tilattu Työ- ja elinkeinoministeriön toimesta. Atlaksen toteutuksesta vastasi EU:n laajuisen kilpailutuksen myötä Suomen Ilmatieteen laitos yhteistyössä mm. tanskalaisen Risø DTU:n kanssa. (Suomen Tuuliatlas 2009d)

Tuuliatlas on luotu edistämään ja helpottamaan tuulivoimarakentamista Suomessa, tarjoamalla kattavan internetpohjaisen karttaliittymän, jonka perusteella voidaan laitosten sijoituspaikka määrittää tuulisuusolosuhteiltaan suotuisimmille alueille. Käyttäjäkunta muodostuu tuulivoimahankkeiden rakennuttajista ja valmistelijoista sekä maankäyttöön keskittyneistä suunnittelijoista ja kaavoittajista. (Suomen Tuuliatlas, yhteenvetoraportti 2010, 2)

Karttaliittymä tarjoaa kattavan tiedon Suomen tuulisuusolosuhteista ja helpottaa näin ollen laitosten sijoittamista ja tuotannon arvioimista. Atlakseen mallinnettuja tuulisuustietoja on mahdollista ladata veloitusetta omalle koneelle karttaliittymän [www-sivuilta](http://www.tuuliatlas.fi)<sup>3</sup>.

Suomen Tuuliatlakseen on pyritty määrittämään mahdollisimman tarkasti, ja edustavasti, tuuliolosuhteet koko Suomeen. Tuulen ennustaminen on yleisesti hankalaa ja sille on ominaista vaihtelevuus kausi- ja tuntitasoilla, joten riittävällä otantavälillä saadaan mallinnettua Suomelle hyvin tyypilliset olosuhteet. Skaalaamalla alueet erikokoisiksi hiloiksi (250 m x 250 m ja 2,5 km x 2,5 km), voidaan halutulle paikkakunnalle arvioida sille ominaiset tuulisuusolot. (Suomen Tuuliatlas, Yhteenvetoraportti 2010, 7.)

#### 3.1 Mallinnus

Suomen Tuuliatlaksen mallinnuksessa on pyritty huomioimaan Suomelle tyypillisiä oloja ja näin mallintamaan edustavasti tuulisuusolot koko maahan. Tätä

---

<sup>3</sup> <http://tuuliatlas.fmi.fi/>

tietoa käytetään hyväksi, kun arvioidaan voimaloiden sijoituspaikkakunnille niille ominaisia keskimääräisiä tuulisuusoloja ja voimaloilla tuotettavan energian määrää laitoksen elinkaaren ajaksi (15–25 vuotta). (Suomen tuuliatlas 2009e.)

Tuuliatlaksen mallinnuksen ajanjakso on valikoitu tutkimalla Suomen tuulisuusolosuhteita viimeiseltä viideltäkymmeneltä vuodelta. Tietokannan<sup>4</sup> perusteella valittiin edustavimmaksi ajanjaksoksi 1989-2007, jolloin katsottiin, että ko. ajanjakson aikana ei ole ollut huomattavia muutoksia tuulisuusoloissa. (Suomen tuuliatlas 2009e.)

Karttaliittymään on siis valittu 72 kuukautta em. ajalta, jonka perusteella jokaiselle kalenterikuukaudelle on valittu neljä eri vuotta vastaamaan kyseisen kuukauden keskimääräistä tuulisuutta. Lisäksi on vielä simuloitu kova- ja heikkotuulinen referenssivuosi joka kuukaudelle. Tuuliatlakseen simuloitujen vuosien eri kuukausille on esitetty kuvassa 10. Näiden kuukausien ja vuosien perusteella on siis mallinnettu Suomelle tyypilliset tuulisuusolot kuvastamaan ajanjaksoa 1989-2007. Arvoja tulkitessa on hyvä muistaa, että todelliset tuulisuusolot voimalan elinaikana voivat poiketa Tuuliatlaksesta saatavista arvoista. Myöskään ilmastonmuutoksesta mahdollisesti aiheutuvia vaikutuksia ei ole otettu lukuun. (Suomen tuuliatlas 2009f.)

---

<sup>4</sup> ERA-40= Euroopan keskipitkän kantaman säänennustuskeskuksen tuottama aineisto

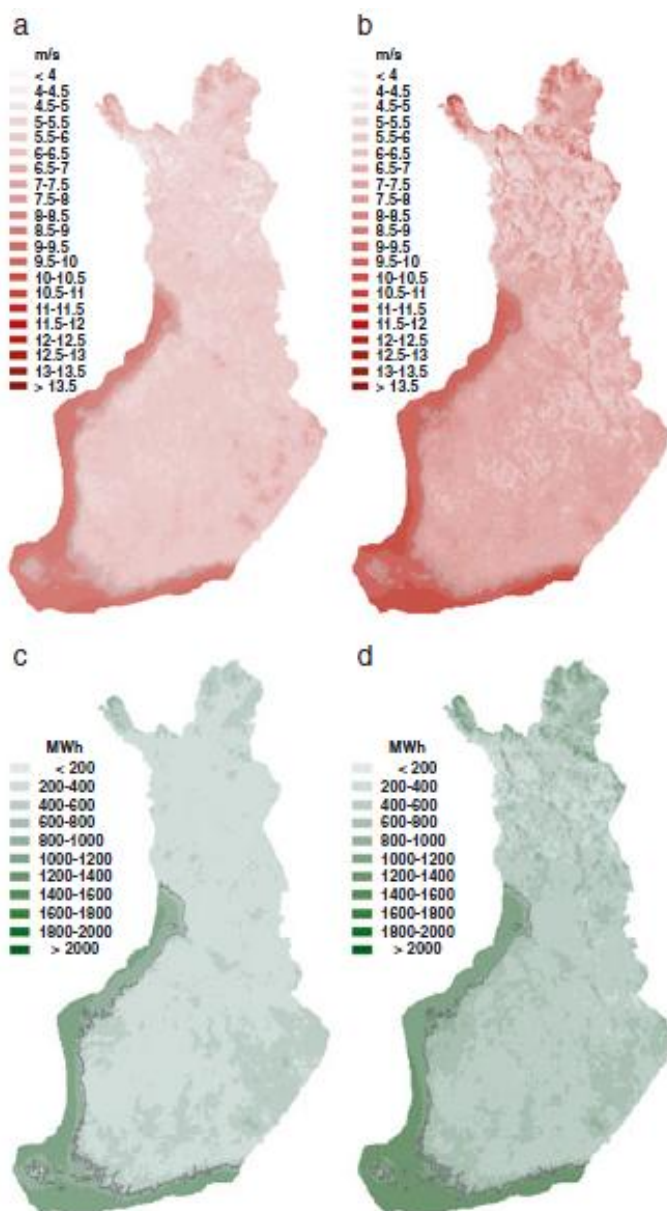
Suomen Tuuliatlasta varten säämallilla simuloidut kuukaudet						
	Vuodet joilta valittujen kuukausien kombinaatio edustaa parhaiten jakson 1989–2007 tuuli-ilmastoa				Kova- tuulinen referenssi- vuosi	Heikko- tuulinen referenssi- vuosi
Tammikuu	1991	1993	2000	2007	1989	2004
Helmikuu	1989	1992	1998	2006	1989	1994
Maaliskuu	1991	1994	2002	2006	1997	2006
Huhtikuu	2000	2003	2005	2005	2007	2004
Toukokuu	1991	1996	2000	2005	2000	1994
Kesäkuu	1989	1991	1992	1994	2000	1997
Heinäkuu	1992	2000	2002	2006	1999	1997
Elokuu	1994	1997	2001	2007	2005	2006
Syyskuu	1991	1996	2003	2006	2005	1993
Lokakuu	1995	1997	1998	1999	2005	1992
Marraskuu	1992	1997	2004	2005	1999	2002
Joulukuu	1989	1990	2000	2002	1992	2000

Kuva 10. Tuuliatlakseen simuloidut vuodet eri kalenteri kuukausille (Suomen Tuuliatlas 2009f).

Tuuliatlaksesta saatavat tiedot ovat jaettu kahteen eri hilaruutuun, joista suurempi on laajuudeltaan 2,5 x 2,5 km<sup>2</sup> ja pienempi 250 x 250 m<sup>2</sup>. Kummastakin hilasta voi ladata veloitusetta tietoja eri korkeuksille: 50 m, 75 m, 100 m, 125 m, 150 m, 200 m ja 400 m. Tiedoista voidaan lukea esim. tuulen keskinopeus ja voimalan tuotantoarvio (1, 3 ja 5 MW:n laitoksille) kuukausi- ja vuositasolla. Tuulelle ominaisia puuska- ja turbulenssiarvoja voidaan myös lukea taulukoidusta tiedoista. (Suomen tuuliatlas 2009g)

Mallinnetut 48 kuukautta ovat siis mukana hiloissa, mutta kova- ja heikkotuulisin referenssivuosi on erillään varsinaisesta tuuliatlaksesta ja arvot ovat dynaamisten karttojen taulukoissa ja saatavilla vain suuremmassa hilakoossa. Näiden erot keskimääräiseen tuulen voimakkuuteen voi lukea %-lukuna tuuliatlaksen internet sivuilta. (Suomen tuuliatlas 2009h.)

Tuuliatlaksen tietoja on mahdollista ladata paikkakunnittain tai haluttuun maastoalueeseen. Tapa, joilla em. tiedot saa käyttöönsä, on kuvattu vaiheittain liitteenä olevassa työselosteessa. Tuuliatlaksen internet -sivuilta löytyy myös tuulen keskinopeuskartat ja tuulivoimalan tuotantokartat, joista jälkimmäisessä on käytetty hyväksi WinWindin 3 MW:n tehokäyrän arvoja (ks. kuva 11.).



Kuva 11. Tuuliatlaksen dynaamiset kartat, korkeus 100 m. Tuulen keskinopeus (m/s) a. toukokuu b. joulukuu. 3MW:n voimalan mahdollinen tuotanto (MWh) c. toukokuu d. joulukuu (The Production of The Finnish Wind Atlas)

### 3.2 Sääennustusmallit

Tuuliatlaksen luomisessa on käytetty eri tekniikoita, joilla voidaan mallintaa sääolosuhteita. AROME- ja HIRLAM -mallit ovat nk. dynaamisia malleja, joista esim. AROME -menetelmällä on tuotettu tuulen keskinopeuksien aritmeettisia



arvoja kolmen tunnin välein, joita voi tarkastella suoraan atlaksen kotisivuilta. (Suomen Tuuliatlas 2009i)

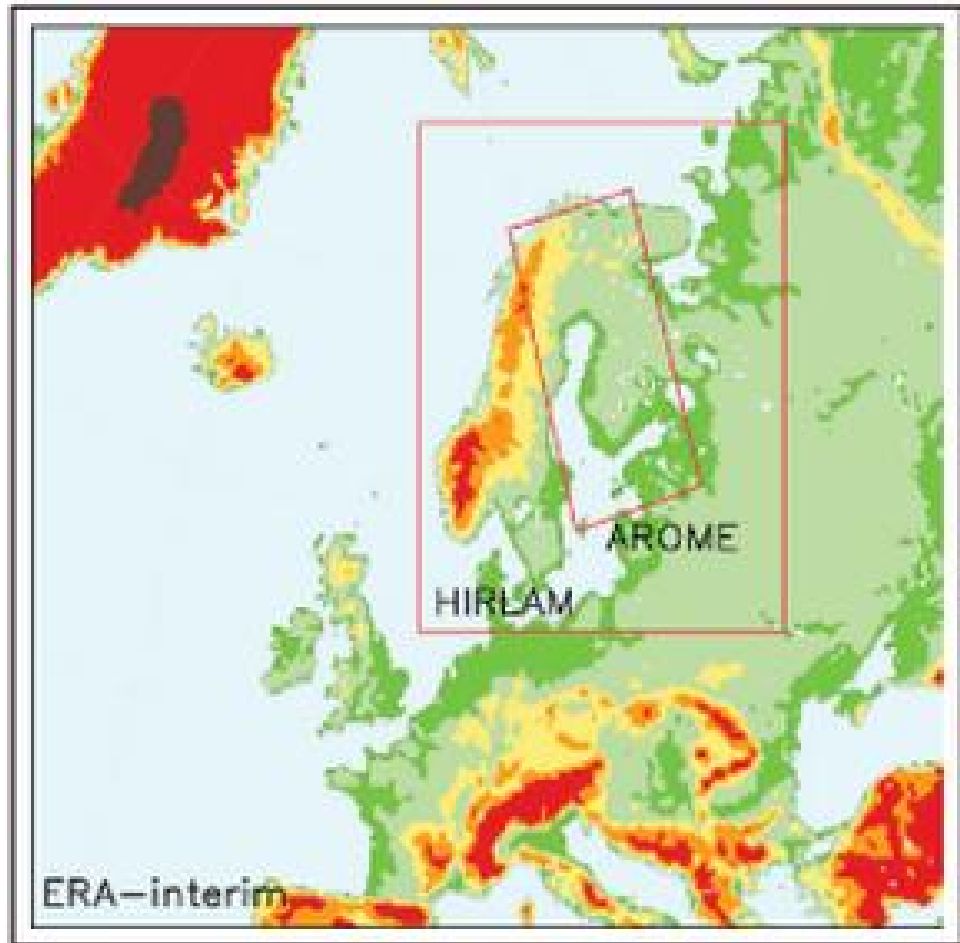
Yleisesti yli kuuden tunnin säänennustukset suoritetaan numeerisina malleina, joissa työkaluina seuraavissa kuvattuihin säämalleihin ja tuulimalliin (*WAsP*) on käytetty Ilmatieteenlaitoksen ja Risø DTU:n supertietokoneita, joiden kapasiteetti pystyy hallitsemaan vaativaa laskentaa. (Suomen Tuuliatlas 2009i)

Säänennustusmallit pyrkivät siis ennakoimaan erilaisia säätiloja ja suureita kuvaamalla ne matemaattisilla yhtälöillä, jotka matkivat yksinkertaistettuna sään kehitystä soveltamalla samoja fysiikan lakeja, joita luonnossa esiintyy (ilmanpaine, tuuli, lämpötila yms. ja niiden jatkuvuus, liikemäärä jne.). Jotta saataisiin malli kuvastamaan todellista ilmakehän tilannetta ja kehitystä, se käynnistetään toistuvasti alusta sellaisesta tilasta, joka vastaa havaintojen alkupistettä. Näistä syistä em. laskentakapasiteettia tarvitaan. (Suomen Tuuliatlas 2009i.)

Seuraavassa käydään läpi pääpiirteittäin Tuuliatlaksen mallintamiseen käytettyjä menetelmiä (Suomen Tuuliatlas 2009i.):

- **IFS (Integrated Forecasting System)**. Euroopan keskipitkän kantaman säänennustuskeskuksen ERA -interim aineiston tuottamiseen käytetty menetelmä, joka kuvaa globaalisti hydrostaattista ilmakehää.
- **AROME**. Ei-hydrostaattinen malli, joka ottaa maaston olosuhteet huomioon (lumi, jää, kasvillisuus, rakennukset). Ennustaa ilman kolmiulotteista liikettä ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ , ml. turbulenssi), painetta ja lämpötilaa sekä muita meteorologisia suureita. Voidaan kuvata pienempiä alueita kuin hydrostaattisilla malleilla.
- **HIRLAM (High Resolution Limited Area Model)**. Monen EU maan ilmatieteen laitoksen kehittämä hydrostaattinen malli, jolla pystytään kuvaamaan hieman tarkemmassa mittakaavassa ilmiöitä kuin esim. IFS-mallilla. Ottaa huomioon maaston korkeuden, mutta ei erittele pintoja, kuten AROME. Suomen Ilmatieteenlaitos käyttää menetelmää hyväksi tuottamaan kahden vuorokauden säänennusteita

Edellämainittujen mallien kattamat alueet ovat havainnollistettu kuvassa 12.



Kuva 12. Säämallien kattamat alueet (Suomen Tuuliatlas 2009i).

### 3.3 WAsP-tuulimalli

WAsP-tuulimalli on tanskalaisen Risø DTU:n tuulienergia osaston kehittämä ohjelmisto, jolla voidaan määrittää rajatun alueen tuuliolosuhteita, tuulienergiapotentiaalia ja voimaloiden tuottamaa keskimääräistä tuotantoa vuositasolla. WasPia käytetään yleisesti ilmakehän analysointiin alemmissa rajakerroksissa n. 100 m:iin asti eli korkeudelle, johon useimpien nykyaikaisten tuulivoimaloiden napakorkeus yltää. WAsP:in käyttö ilmaston mallinnuksessa perustuu mallinnettavan kohteen läheisyydessä sijaitsevien sääasemien tuulimittauksiin. Näistä kooduista tiedoista malli kuvastaa kohdealueelle samanlaisia olosuhteita kuin

mitä sääasemalla. Mitatut arvot korjataan edustamaan laajempaa aluetta (2,5 x 2,5 km<sup>2</sup>). (Suomen Tuuliatlas 2009j.)

WAsP ottaa myös huomioon kohteen tuulisuuteen vaikuttavia maaston ominaisuuksia eri korkeuksille. Sääasemilta tilastoidut mittaukset pilkotaan suuntasektoreihin (ks. 2.1) ja niihin vaikuttavat esteet ja topografian vaihtelut kuvataan maaston rosoisuutena. Tämänlaisia esteitä ovat mm. rakennukset, niityt, pellot ja metsäalueet sekä vaihtelut esim. mereltä maalle esiintyvä maaston muutos. WAsP – malli ei ole kuitenkaan dynaaminen eli mukautuva malli, joten korkeiden kukkuloiden ja esteiden läheisyydessä ilmanvirtauksen kuvaus on epätarkka. Mallissa kuvattavat rosoisuusarvot on esitetty karkeasti. (Suomen Tuuliatlas 2009j.)

Tuuliatlaksesta on ladattavissa Lib – tiedosto, joka on luotu muuntamalla ko. kohdealueen sääasemalta mitattujen tuulennopeuksien havaintomäärä ja aikasarja edustavaksi tilastolliseksi jakaumaksi. Tämänlaista tilastollista jakaumaa kutsutaan Weibull – jakaumaksi (ks. kuva 8.). Ko. tiedostosta voidaan lukea tuulen nopeuden keskiarvo (m/s) ja tuulen energiasisältö (W/m<sup>2</sup>) sekä määrittää tuulivoimalan vuosituotanto. Weibull – jakaumaa tulkitessa, on syytä huomioida, että jakauma voi poiketa todellisista havainnoista ja siitä syystä tulokset voivat joko yli- tai aliarvioida esim. vuosituotantoja alueesta riippuen. (Suomen Tuuliatlas 2009j.)

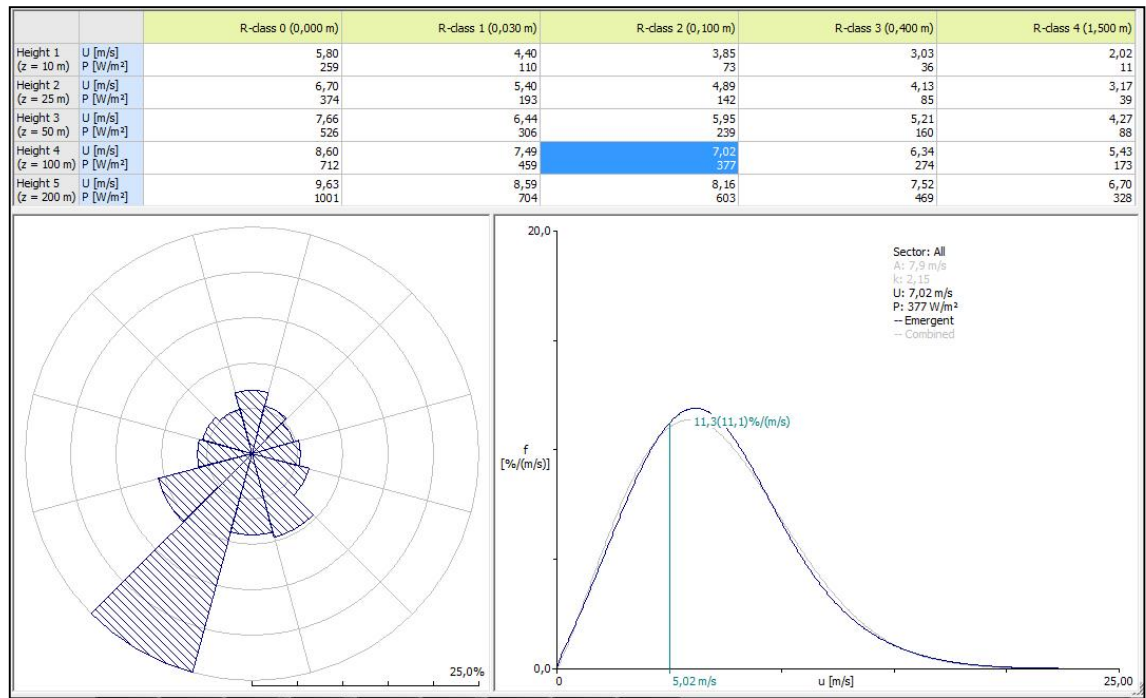
Tuulivoimalan vuotuisen tuotantoarvion voi määrittää WAsP – ohjelmalla seuraavalla menetelmällä (WAsP 2010):

Ennustettu tuuli-ilmastot (Lib) + voimalan tehokäyrä = Tuulivoimalan vuosituotanto

Ohjelmaan voi syöttää voimalan tehokäyrän arvot, jonka perusteella vuosituotanto lasketaan.

Edellämainittua menetelmää soveltaen on määritetty tähän työhön valittujen laitosten vuosituotantoarviot, jotka kuvataan tulevissa kappaleissa. Tapa, jolla tiedosto on haettu Tuuliatlas – karttaohjelmasta, on kuvattu vaiheittain liitteenä

olevassa Työselosteessa. Lib – tiedosto, josta tuuli-ilmasto on tulkittu, on havainnollistettu kuvassa 13.



Kuva 13. Siikajoen Lib -tiedosto. Vasemmalta oikealle: tuuliruusu ja Weibull – jakauma. Valittu korkeus 100 m ja rosoisuus luokka 0,100 m (R – class 2).

### 3.4 Jäätämistälas

Suomen oloihin suunnitellussa Tuuliatlaksessa on otettu huomioon myös jäädä aiheutuvat ilmiöt, kuten aktiivinen ja passiivinen jäätäminen, sekä jäätymisestä johtuvat tuulivoimalan tuotantotappiot. Jäätämistälas on atlaksessa tarkoitettu kuvastaa tilannetta, jolloin ilman ja turbiinin lapojen lämpötila on 0 °C:een alapuolella. (Suomen Tuuliatlas 2009k.)

Jäätämistälas on tarkoitettu käytettäväksi, kun suunnitellaan tuulipuistoa Suomen olosuhteisiin. Jään muodostuminen turbiinin lapoihin muuttaa lapojen aerodynamiikkaa, joka häiritsee taas voimalan toiminnallista periaatetta. Jäänkeritymät aiheuttavat epätasaisia kuormituksia voimalalle ja näin ollen altistaa sen herkemmäksi mekaanisille häiriöille. Näistä syistä kylmissä olosuhteissa jää vaikuttaa heikentävästi tuulivoimalan tuotantoon. (Suomen Tuuliatlas 2009k.)

Jäätämislakseen mallinnuksessa on käytetty hyväksi numeerisesta AROME – säämallista saatavia arvoja. Laskennassa on käytetty samoja meteorologisia aikasarjoja (3 h) kuin Tuulilakseen ja arvoina tuulen nopeutta, lämpötilaa, pisarajakaumaa ja nestemäiset suureet (pilvet, sade). Jään kertymistä on rajoitettu vastaamaan luonnollista sulamista eli oletuksena on, että jää sulaa tai putoaa pinnalta kun lämpötila ylittää  $+0,5\text{ °C}$ . Mallin perustana on käytetty ISO -standardissa<sup>5</sup> määritettyä jään kertymismenetelmää. (Suomen Tuuliatlas 2009k.)

Tuulilakseen integroidusta jäätämislaksesta on ladattavissa jäätymiseen liittyvää tietoa taulukkomuodossa. Taulukosta voi lukea tietoja eri korkeuksille (50 m, 100 m, 200 m) seuraavista (Suomen Tuuliatlas 2009l.):

- **Aktiivinen jäätäminen.** Kuvaa jäätymishetken voimakkuutta. Taulukkotiedoissa ilmoitetaan, montako tuntia aktiivinen jäätäminen ylittää kynnyksarvon (10 g/m/h) tarkastellulla ajanjaksolla.
- **Passiivinen jäätäminen.** Ajanhetkien määrä, jolloin jäätä on kertynyt rakenteisiin kynnyksarvon ylittävän määrän. Passiivinen jäätäminen kestää siihen saakka kunnes em. sulamisen kriteerit täyttyvät.
- **Tuotantotappioarvo.** Tuotantotappioarvo on ilmoitettu % -lukuna. Arvo on laskettu heikennetyistä tehokäyristä WinWindin 3MW:n laitokselle. Lisäksi on määritetty yläraja, jolloin tuotanto pysähtyy liiallisen jäätämisen takia. Saatavilla halutuissa tarkasteluajanjaksoissa (kk/vuosi).

Jäätämislakseen mallinnuksessa on käytetty kolmea eri vaihetta kuvaamaan jään kertymistä tuulivoimalan lapoihin (Suomen Tuuliatlas 2009l.):

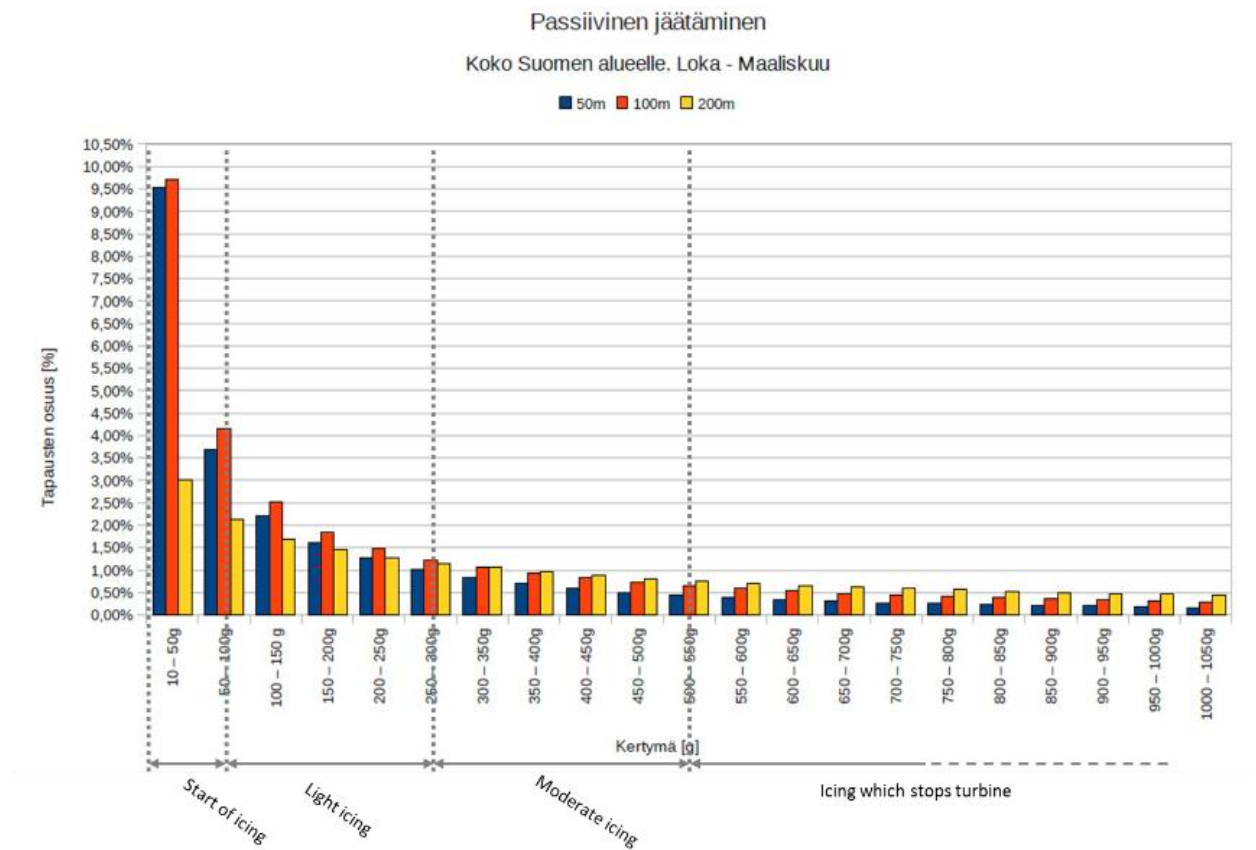
- Alkava jääkertymä (Start of icing). Simuloitu jäätymisen kesto alle tunti.
- Pieni jääkertymä (Light icing). Simuloitu jäätymisen kesto n. 3 tuntia.

---

<sup>5</sup> ISO 12494:2001= Sylinteri, jonka korkeus on 100 cm ja halkaisija 3 cm, pyörii vapaasti ja jää kertyy tasaisesti sylinterin pinnalle. Yhteys sylinterin ja tuulivoimalan lavan välillä on todennettu jäätämislakseen toteuttajien toimesta.

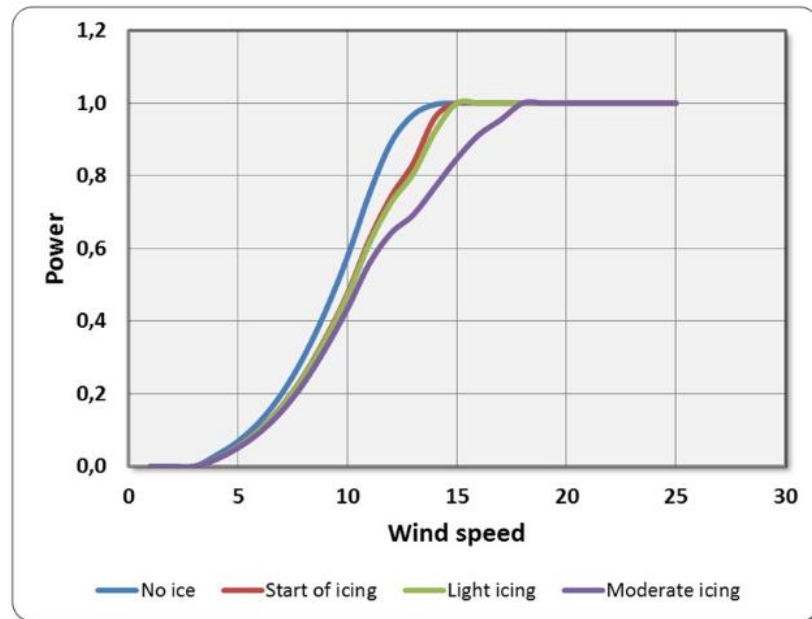
- Kohtalainen jääkertymä (Moderate icing). Simuloitu jäätyksen kesto n. 10 tuntia.

Lisäksi on myös otettu huomioon jäänkertymä, joka pysäyttää voimalan toiminnan. Kertymien yleisyys on havainnollistettu kuvassa 14.



Kuva 14. Passiivisen jäätämisen tilastollinen jakauma lokakuusta maaliskuuhun koko Suomen alueelta. (Suomen Tuuliatlas 2009).

Kuva on mallinnettu standardin mukaan ja esiintymät kuvastavat jäätämistä paikallaan olevalle sylinterille. Toiminnassa olevan tuulivoimalan lapoihin kertyy n. 20 kertaa enemmän jäätä kuin paikallaan olevalle sylinterille samoissa sääolosuhteissa. Jäänkertymien vaikutus voimalan tehokäyrään on havainnollistettu kuvassa 15. Kertymien aiheuttama tehon heikentyminen on huomattava.



Kuva 15. Jään vaikutuksesta heikentyneet tehokäyrät.  
(Suomen Tuuliatlas 2009I)

Tehtäessä tuulivoimaloille tuotantoarvioita Suomelle tyypillisissä olosuhteissa, on tärkeää huomioida jäädä aiheutuvat tuotantohäviöt, jotka on myös tätä työtä tehdessä otettu lukuun.

Kertymiä voidaan estää asentamalla esimerkiksi lapalämmitysjärjestelmiä, jotka estävät kertymien muodostumisen, mutta taas vaativat osansa (alle 2 %) tuotetusta sähköstä. Toisaalta, estämällä kertymät, voidaan pidentää voimalan vuotuista käyttöaika merkittävästi. (Suomen tuuliatlas 2009I.)

## 4 TYÖHÖN OSALLISTUVAT LAITOKSET

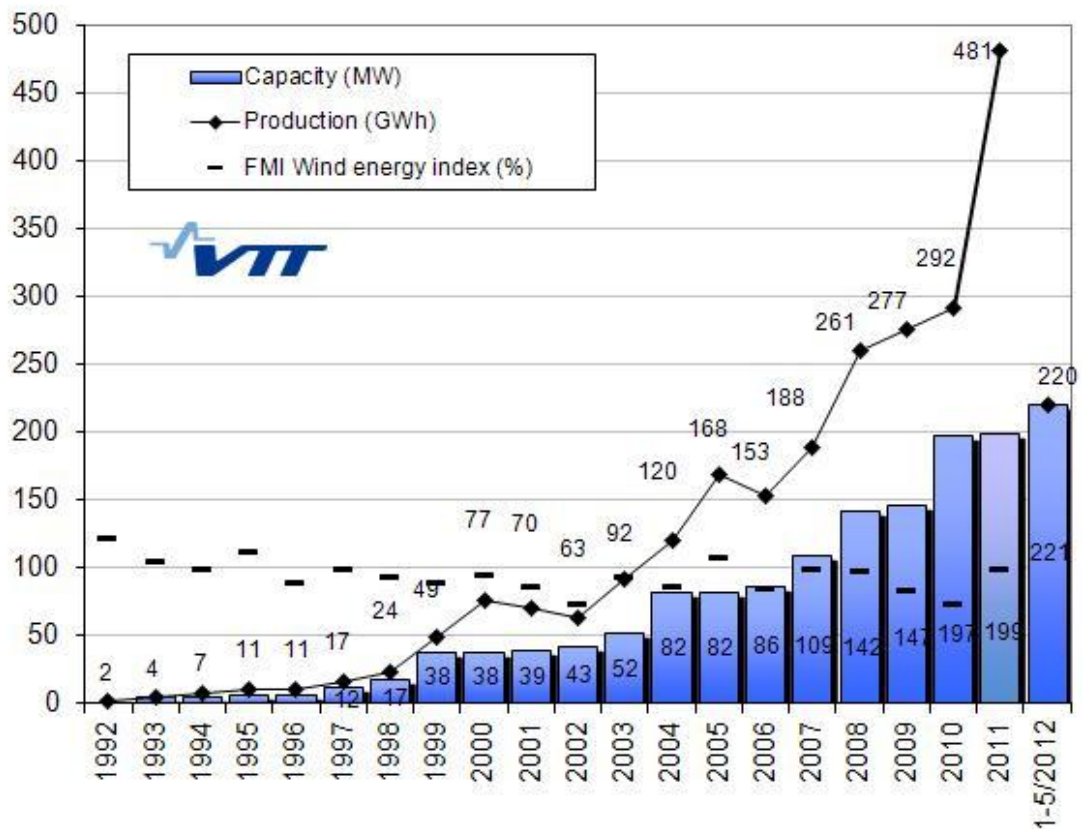
Työssä tarkasteltiin kaikkia Suomen tuulivoimaloita ja valintaan vaikuttivat Tuuliatlaksen mallinnuksen aika ja voimaloiden toiminnallinen aika. Tuuliatlaksen mallintamisessa käytetty ajanjakso rajasi valintaa huomattavasti ja voimalat ovat verraten pieniä (napakorkeus < 50 m), joista osa on jo poistunut käytöstä.

### 4.1 Suomen tuulivoimatilastot

Suomen tuulivoimaloiden tuotannoista on pidetty tilastoja vuodesta 1992 alkaen. Vuodesta 1996 lähtien tilastoja on kerätty VTT:n tietokantaan yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen ja tuulivoiman tuottajien kanssa. Ilmatieteen laitoksen määrittämät tuotantoindeksit ja tuulienergian tuottajien tarjoamat tuotanto- ja häiriötiedot ovat koottu yhteen. (Holttinen & Stenberg, 2011, 5)

Suomessa oli tilastoitu vuoden 2011 joulukuun lopussa 131 voimalaa, yhteisteholtaan 199 MW, jotka tuottivat yhteensä n. 481 GWh, joka vastaa n. 0,6 %:a maanlaajuisesta sähkönkulutuksesta. Vuosi 2010 oli tuotannoltaan heikompi verrattuna vuoteen 2011, joka kuvastaa vuoden 2010 olleen tuulisuudeltaan luonnollisesti myös heikompa. Suomen tuulivoimaloiden tuotannon ja kapasiteetin kehitys on ilmaistu kuvassa 16.





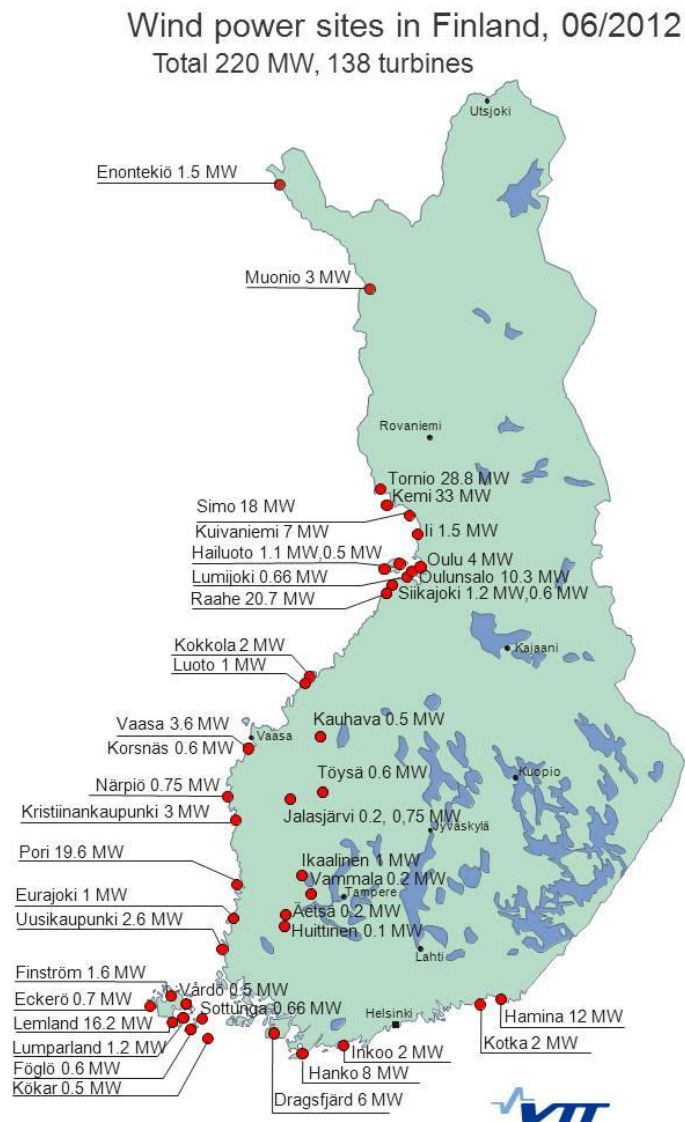
Kuva 16. Suomen tuulivoimaloiden yhteistuotanto ja kapasiteetti sekä tuotantoindeksi vuodesta 1992 lähtien. (VTT 2012).

Suomen tuulivoimaloista on saatavilla tilastoja vuosi- ja kuukausitasolta. Vuositaisista raportointia on julkaistu vuodesta 1999 lähtien VTT:n toimesta ja kuukausitilastot ovat saatavilla 2010 vuodesta lähtien. Tilastot laitoksittain ovat julkaistu VTT:n tuulivoimatilastojen internet – sivuilla<sup>6</sup>.

#### 4.2 Tilastoitavat laitokset ja suuret

Suomen kaikista verkkoonkytketyistä tuulivoimaloista on tilastointiin otettu mukaan vain yli 70 kW:n laitokset. Tilastoinneissa mukana olevien laitoksien ja puistojen sijainnit ovat havainnollistettu kuvassa 17, jossa kuvattu Suomen tuulivoiman tila kesäkuulta 2012.

<sup>6</sup>VTT Tuulivoimatilastot: <http://www.vtt.fi/proj/windenergystatistics/>



Kuva 17. Suomen tuulivoimaloiden sijoituspaikat (VTT 2012).

Tässä työssä käytetyt laitokset ovat poimittu VTT:n tietokannasta ja niistä on saatavilla seuraavanlaiset laitoskohtaiset tiedot:

- Laitoksen kutsumanimi
- Sijoituskunta ja – paikka
- Aloitus ja lopetus päivämäärä (kk/vuosi, pvm/vuosi)
- Nimellisteho (kW)
- Roottorin halkaisija (m)

- Valmistaja ja laitoksen tyyppi
- Napakorkeus (m)
- Sijainti leveys- ja pituusasteina (LAT,LON)

Edellämainitut tiedot on kuvattu laitoksittain liitteessä 1. Näitä tietoja käytettiin hyväksi, kun kartoitettiin valintaa Tuuliatlas vertailuun. Työssä tutkittiin laitoksista tilastoituja vuosi- ja kuukausituotantoja (kWh) sekä vikatilastoja, jotka ilmoitetaan seisokkiaikana (h/vuosi/kk).

#### 4.3 Työhön valitut laitokset ja häiriöt tuotannossa

Laitosvalintaan vaikutti Tuuliatlaksen mallinnuksen ajanjakso, jonka perusteella valittiin 15 voimalaa. Valintoja tehdessä huomioitiin laitosten toiminnallinen aloitusvuosi, jotta otanta vastaisi mahdollisimman edustavasti tuotantoja Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta. Tämän perusteella atlasvertailuun poimittiin taulukossa 1 mainitut laitokset paikkakunnittain.

Taulukko 1. Tuuliatlasvertailuun valitut laitokset

Nimi	Kunta	Sijointipaikka	Aloitus pvm	Lopetus pvm
Huikku	Hailuoto	Huikku	06.1995	
Kemi 1	Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010
Kemi 2	Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010
Kemi 3	Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010
Korsnäs 1	Korsnäs	Korsnäs Bredskäret	11.1991	
Korsnäs 2	Korsnäs	Korsnäs Bredskäret	11.1991	
Korsnäs 3	Korsnäs	Korsnäs Bredskäret	11.1991	
Korsnäs 4	Korsnäs	Korsnäs Bredskäret	11.1991	6.7.2009
Marjaniemi 1	Hailuoto	Marjaniemi	10.1993	
Marjaniemi 2	Hailuoto	Marjaniemi	10.1993	
Marjaniemi 3	Hailuoto	Marjaniemi	04.1995	
Ormhälla	Sottunga	Sottunga	01.1992	10.8.2010
Pori 1	Pori	Reposaari	09.1993	
Säikkä 1	Siikajoki	Varessäikkä	04.1993	
Säikkä 2	Siikajoki	Varessäikkä	04.1993	

Valituista laitoksista on siis jo poistunut käytöstä 5 kappaletta. Laitoksista Korsnäs 4 ja Ormhälla poistuivat käytöstä n.18 toiminnallisen ikävuoden jälkeen. Korsnäs 4 lukeutui Suomen ensimmäiseen verkkoonkytkettyyn tuulivoimapuistoon, joista Korsnäs 1-3 jatkaa toimintaansa. Sottungan voimala oli Ahvenanmaan ensimmäinen tuulivoimalaitos. Kemin laitokset poistuivat käytöstä 17 käyttövuoden jälkeen. (Holtinen & Stenberg 2011, 14.)

Laitokset ovat iältään melko vanhoja, jolloin laitoksen koko (napakorkeus, nimellisteho) ovat hieman pienempiä verrattuna nykyaikaisiin tuulivoimaloihin. Laitoksien koko, roottorin halkaisija ja valmistajan tiedot sekä sijainti leveys- ja pituusasteina on kuvattu taulukossa 2.

Taulukko 2. Tuuliatlasvertailuun valittujen laitosten tiedot

Nimi	Nimellisteho (kW)	Roottorin koko (D,m)	Valmistaja	Tyyppi	Napakorkeus (m)	LAT	LON
Huikku	500	37.3	Nordtank	500/37	41.00	65.04	25.07
Kemi 1	300	31	Nordtank	300/31	35.00	65.67	24.50
Kemi 2	300	31	Nordtank	300/31	35.00	65.67	24.50
Kemi 3	300	31	Nordtank	300/31	35.00	65.67	24.50
Korsnäs 1	200	24.6	Nordtank	200 F	32.50	62.93	21.19
Korsnäs 2	200	24.6	Nordtank	200 F	32.50	62.93	21.19
Korsnäs 3	200	24.6	Nordtank	200 F	32.50	62.93	21.19
Korsnäs 4	200	24.6	Nordtank	200 F	32.50	62.93	21.19
Marjaniemi 1	300	31	Nordtank	300/31	30.50	65.04	24.56
Marjaniemi 2	300	31	Nordtank	300/31	30.50	65.04	24.56
Marjaniemi 3	500	37.3	Nordtank	500/37	36.00	65.04	24.56
Ormhälla	225	27	Vestas	V27-225	31.50	60.11	20.68
Pori 1	300	31	Nordtank	300/31	30.50	61.60	21.46
Säikkä 1	300	31	Nordtank	300/31	30.50	64.89	24.81
Säikkä 2	300	31	Nordtank	300/31	30.50	64.89	24.81

Edelläkuvatuista laitoksista Nordtank on vuodesta 2003 lähtien ollut Vestaksen omistuksessa. (Holtinen & Stenberg 2011, 16)

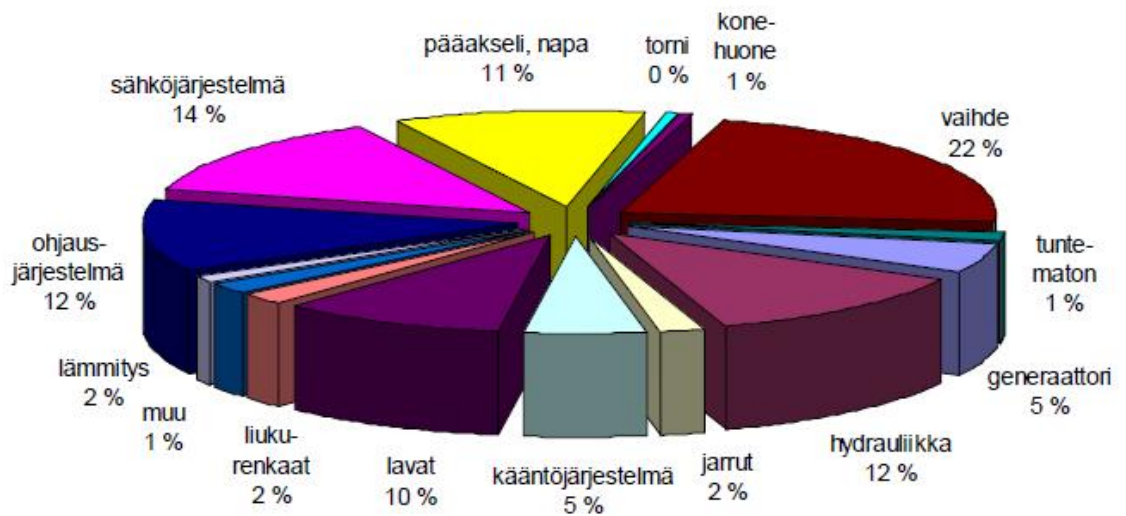
Valmistajien ilmoittamat tehokäyrät ovat kirjoitettu auki liitteessä 2. Näitä tietoja käytetään hyväksi, kun arvioidaan Tuuliatlaksen tietojen perusteella valituille laitoksille vuosituotantoa.

### **Häiriöt tuotannossa**

Tilastoituihin häiriöaikoihin on kirjattu katkokset, jotka ovat pysäyttäneet voimalan toiminnan. Katkokset voidaan eritellä seuraavalla tavalla:

- Vuosihuollot. (Tuulivoimaloille suunnitellaan yleensä puolivuositain)
- Keskeytykset, jotka johtuvat joko esittelyn, tutkimuksen tai voimalan uudelleenkäynnistyksestä.
- Sähköverkon ja lämpötilan aiheuttamat häiriöt. Nämä eivät vaikuta tekniseen käytettävyyteen heikentävästi ja jäätymisestä aiheutuvat ovat usein vain vähentäneet voimalan normaalia tuotantoa (ks. Jäätämisaatlas, tuotantotappioarviot).
- Mekaaniset häiriöt, johon luetaan komponenttiviaat ja niistä aiheutuvat huoltotoimet.

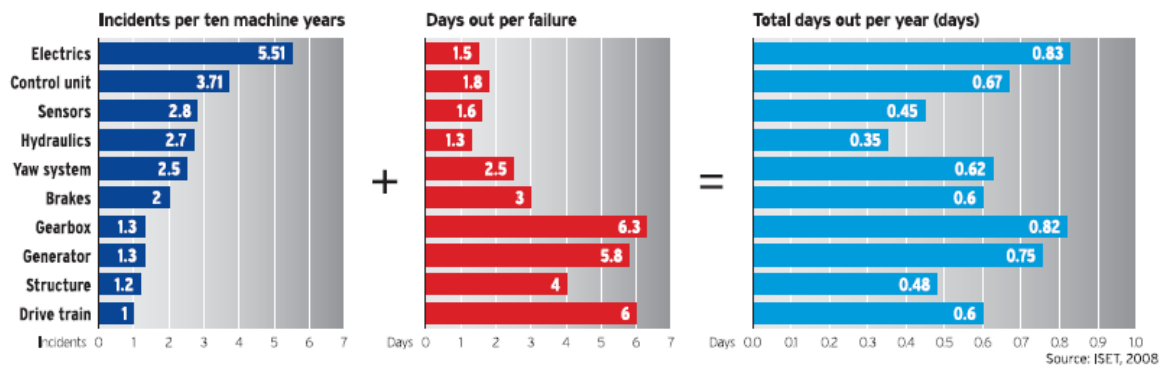
Mekaaniset viat jaotellaan komponenttikohtaisesti. Kuvassa 18 on ilmaistu komponenttivilkojen osuudet käyttökatkoista vikatilastoinnin alusta vuoteen 2010 saakka. (Holttinen & Stenberg 2011 37-39.)



Kuva 18. Komponenttien osuus käyttökatoista vuosiväliltä 1996–2010. (Holt-tinen & Stenberg 2011 39).

Kuvasta voidaan todeta, että vaihdelaatikko on aiheuttanut selkeästi eniten käyttökatoja, toisena ovat laitoksen sähköjärjestelmistä aiheutuvat häiriöt.

Osa vioista voidaan huoltaa hyvinkin nopeasti, mutta suurempien komponenttien häiriöiden korjaamisesta voi aiheutua monien päivien, jopa kuukausien kestäviä seisokkeja. Esimerkkinä eräästä lähteestä on kuvattuna komponenttivikojen tapaukset suhteessa kymmeneen toiminnalliseen vuoteen ja niiden kesto päivinä sekä yhdistämisestä aiheutuva keskimääräisen tuotannon häviö päivinä. (ks. kuva 19)



15

Kuva 19. Komponenttivistapausten yleisyys, niiden kesto ja voimalan seisokkiaika päivinä. (Milborrow 2010)

Kuvasta nähdään, että suurempien komponenttien, kuten vaihdelaatikon ja voimansiirtoakselin huollosta aiheutuu keskimäärin eniten seisokkipäiviä. Lopputuloksena vaihdelaatikko ja sähköjärjestelmät aiheuttavat vuosittain keskimäärin n. päivän seisokkeja. Kestoiltaan lyhyimmät aiheutuvat hydraulikkajärjestelmän häiriöistä. (Milborrow 2010)

## 5 TUOTANTO

Työhön valituista laitoksista tehtiin tuotantoarviot ja tutkittiin monen vuoden vuosi- ja kuukausituotantoja sekä käytettävyyksiä. Ilmatieteen laitoksen määrittämät tuotantoindeksit otettiin myös lukuun. Atlaslaskentaan valituista laitoksista tehdään tuotantoarviot Suomen Tuuliatlaksesta saatavien ominaisten tuuliolojen perusteella. Tuotantoarviot korjataan vastaamaan todellista vuosituotantoa ottamalla huomioon häiriöt tuotannossa, joihin luetaan, seisokit, jäätäminen ja tuulipuistoissa varjostusvaikutus. Edellämainituista laitoksista tarkastellaan myös keskimääräisiä vuosituotantoja eri tavoin. Lopuksi tarkastellaan tuloksia ja verrataan niitä toisiinsa.

### 5.1 Tuotantoarviot Tuuliatlaksen tietokannan perusteella

Tuuliatlaksesta saatavilla tuulisuustiedoilla lasketaan vuosituotantoarviot atlasvertailuun osallistuville laitoksille. Tietoja Atlaksesta sai ladattua taulukkomuodossa ja WAsP – tiedostona. Tuulisuusoloja on tarkasteltu jälkimmäisestä ja jäätämistappioarviot ovat luettu paikkakunnittain taulukkotiedoista.

Laitosten sijaintitietoja on käytetty hyväksi, kun Tuuliatlaksesta saatavia tietoja kartoitettiin. Liitteenä olevassa Työselosteessa on kuvattu tapa, jolla tarvittavat tiedot on haettu Tuuliatlas -karttaliittymästä. Tuulitietoja tarkastellessa on otettu huomioon myös maaston ominaisuudet tutkimalla maastokuvia tai karttatietoja.

Tuulennopeuksien yleisyystiedot, eli frekvenssitiedot, ovat luettu Weibull - jakaumalta 0-25 m/s alueelta 0,5 m/s välein. Näistä prosenttiyksikköinä ilmoitetuista arvoista on määritetty voimaloille vuotuinen keskiteho kertomalla tuulennopeuksien frekvenssiarvot tehokäyrän arvoilla ja lopuksi summattu yhteen.

Laitoksille lasketuista keskitehoista saadaan keskimääräinen vuosituotantoarvio bruttona kertomalla keskiteho vuoden tunneilla. Vuoden tunneille annetaan arvoksi 8760 h ja valituille laitoksille sovelletaan seuraavanlaista kaavaa:



$$E_{vuotuinen} = P_{keski} \cdot h_{vuosi}$$

Vuotuisesta tuotantoarviosta vähennetään häiriöt, jolla näin ollen voidaan määrittää laitoksen nettotuotanto:

$$E_{häiriökorjattu} = E_{vuotuinen} - (E_{vuotuinen} \cdot häiriö\%)$$

Keskimääräiseen *häiriö* %:iin luetaan:

- Käytettävyysvähennys
- Tuulipuistoissa varjostusvaikutus
- Jäätämistappioarviot

Edellämainituista oletetaan 5 %:n arvo käytettävyy- ja varjostusvaikutusvähennykselle. Jäätämistappioarviot luetaan Tuuliatlaksen tiedoista ja se vaihtelee paikkakunnittain. Esimerkkilasku on havainnollistettu Työselosteessa.

Seuraavissa luvuissa kuvataan valittujen laitosten arviot hyödyntämällä edelläkuvattuja kaavoja ja määritelmiä. Vuotuinen tuotantoarvio merkitään  $E_{br.}$  ja häiriökorjattu  $E_n$ .

### 5.1.1 Korsnäs

Korsnäsin voimalat sijaitsevat Vaasan seutukunnassa ja tuulipuistoryhmään kuuluu kokonaisuudessaan 4 voimalaa, joista Korsnäs 4 on poistunut käytöstä vuonna 2009. Puiston nimellisteho on yht. 800 kW.

Korsnäsillem tyypillinen tuuli-ilmastot on kuvattu liitteessä 3. Niistä lasketut arvot Nordtank 200F voimalan tehokäyrästä toivat seuraavat tulokset:

- $P_{keski} \approx 57,08..kW$
- $E_{br.} \approx 500 MWh$

Vähentäviksi tekijöiksi luettiin siis häiriöt ja jäätäminen, sekä Korsnäsin tuulipuistossa varjostusvaikutus:

- Käytettävyys 5 %

- Varjostusvaikutus 5 %
- Jäätämistappio 1,5 %

Tuuliatlaksesta saatava jäätämistappio ja aktiivisen sekä passiivinen jäätämisen kesto tunteina on kuvattu liitteessä 3.

Lopputulokset Korsnäsän Tuuliatlasarvioista on kuvattu taulukossa 3.

Taulukko 3. Korsnäs Tuuliatlasarvio, yhteenveto

Nimi	Nimellisteho (kW)	$P_{keski}$ (kW)	$h_{vuosi}$	$E_{br.}$ (MWh)	Häiriöt (%)			$E_n$ (MWh)
					Käyt.	Varjo	Jää	
Korsnäs 1	200	57	8760	500	5	5	1.5	443
Korsnäs 2	200	57	8760	500	5	5	1.5	443
Korsnäs 3	200	57	8760	500	5	5	1.5	443
Korsnäs 4	200	57	8760	500	5	5	1.5	443

Korsnäsän Lib- tiedostosta tulkittiin tuulioloja laitostietojen ja maaston ominaisuuksien perusteella. Laitostiedoista saadaan selville voimalan napakorkeus ja Nordtank 200F saa arvoksi 32,5 m, jonka perusteella valitaan Lib – tiedostosta korkeudeksi 50 m. Maaston rosoisuus (R- class) määritettiin maastokuvan perusteella (kuva 20.).



Kuva 20. Korsnäs 1-4, maastokuva (VTT, Lentokuva Vallas)

Kuvasta voidaan tulkita, että laitosryhmittymä sijaitsee melko aukealla alueella jossa on vähäisiä maastoesteitä. Tämän perusteella valitaan Lib- tiedostosta rosoisuusluokaksi R – class 1 (0,030 m). Työselosteessa on taulukoitu (s.10, taul. 1.) maastotyyppi ja siitä seuraava rosoisuuden pituus. On huomattava, että rosoisuuden arviointi on tehty karkeasti ja sen määritelmä voi vaihdella, lähteestä riippuen. Korsnäsin sijainnille saatiin määritettyä em. perusteella tuulelle keskimääräinen nopeus 6,85 m/s ja energiasisältö 359 W/m<sup>2</sup>. Tuulen suunta on keskimäärin etelään painottunut.

### 5.1.2 Kemi

Kemin tuulipuistryhmittymä sijaitsee Ajoksen saarella. Tuuliatlasarviointiin valitut laitokset Kemi 1-3, ovat poistuneet käytöstä vuonna 2010. Kemin tuulipuiston nimellinen yhteisteho oli 900 kW. Tämänhetkinen tuulipuisto Ajoksella kattaa 11 laitosta yhteisteholtaan 33 MW.

Kemin voimaloille ominaiset tuuliolot ovat kuvattu liitteessä 4. Kemi 1-3 laitokset ovat tyypeiltään Nordtank 300/31 mallia ja voimalan tehokäyrästä tuuliolojen perusteella lasketut arvot ovat seuraavat:

- $P_{keski} \approx 48,14..kW$
- $E_{br.} \approx 423 MWh$

Luonnollisesti jäätämisen tappioarvo ja vaikutusaika nousee, kun siirrytään pohjoisemmille alueille, jossa jäätämistä tapahtuu huomattavasti enemmän. Tuuliatlaksen jäätämisarvot Kemille on kuvattu tarkemmin liitteessä 4.

Lopputulokset Kemin arvioille on kerätty taulukkoon 4.

Taulukko 4. Kemi Tuuliatlasarvio, yhteenveto

Nimi	Nimellisteho (kW)	$P_{keski}$ (kW)	$h_{vuosi}$	$E_{br.}$ (MWh)	Häiriöt (%)			$E_n$ (MWh)
					Käyt.	Varjo	Jää	
Kemi 1	300	48	8760	423	5	5	3,33	367
Kemi 2	300	48	8760	423	5	5	3,33	367
Kemi 3	300	48	8760	423	5	5	3,33	367

Tuuliatlaksen WAsP – tiedostosta määritettiin korkeus tasolle 50 m Kemin laitoksien napakorkeuden mukaan (35 m). Rosoisuusluokkaa tarkasteltiin niin ikään Ajoksen maastokuvan perusteella (kuva 21.)



Kuva 21. Kemi Ajos, maastokuva (VTT, Lentokuva Vallas)

Tuuliatlastarkasteluun valitut laitokset näkyvät kuvassa oikealla puolella, juuri voimalinjan vieressä ja ovat muihin laitoksiin verrattuina selvästi pienempiä. Laitokset sijaintia ympäröi matalakasvuinen metsä, josta voidaan määrittää maaston rosoisuudelle luokka R – class 2 (0,100 m). Näiden tietojen perusteella Kemin sijainnille määritettiin keskimääräiseksi tuulennopeudeksi 5,45 m/s ja tuulen energiasisällöksi 188 W/m<sup>2</sup>. Tuulen suunta jakautui melko laakealle alueelle, joka pääosin keskittyi lounaan ja kaakon välille.

### 5.1.3 Sottunga

Sottungan kunnassa sijainnut laitos Ormhällä oli Ahvenanmaan ensimmäinen tuulivoimalaitos, joka poistettiin sittemmin käytöstä vuonna 2010. Laitoksen Vestas V27-225 nimellisteho on 225 kW ja oli ainoa voimala sillä alueella. Ormhällan sijainnille ominaiset tuulisuusolosuhteet on kuvattu liitteessä 5. Tehokäyrästä määritetyt arvot olivat seuraavanlaiset:

- $P_{keski} \approx 57,19..kW$

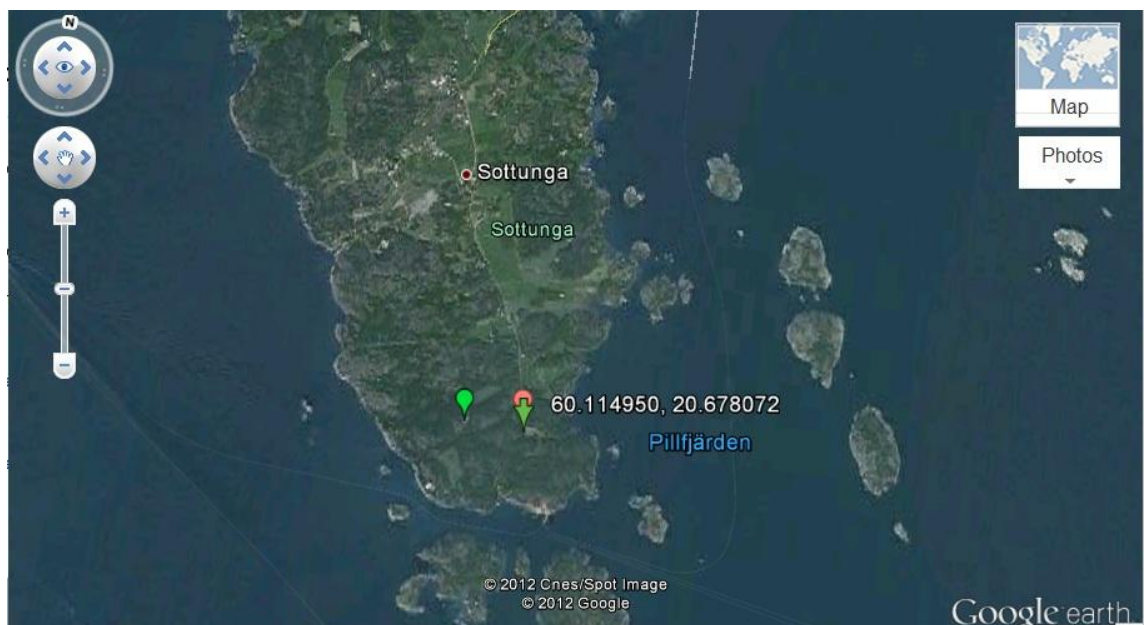
- $E_{br.} \approx 501 \text{ MWh}$

Länsirannikolla ei yleisesti ole havaittavissa yhtä voimakasta jäätämistä kuin pohjoisimmilla alueilla ja näin ollen tuotantotappioarvot jään vaikutuksesta ovat verrattain pieniä. Jäätäminen Sottungassa on kuvattu liitteessä 5. Laitos toimi yksinään, joten varjostusvaikutusta ei ole otettu huomioon. Yhteenveto tuloksista on koottu taulukkoon 5.

Taulukko 5. Sottunga(Ormhälla) Tuuliatlasarvio, yhteenveto

Nimi	Nimellisteho (kW)	$P_{keski}$ (kW)	$h_{vuosi}$	$E_{br.}$ (MWh)	Häiriöt (%)		$E_n$ (MWh)
					Käyt.	Jää	
Ormhälla	225	57	8760	501	5	0,61	473

Tuulisuusoloja tarkastellessa valittiin korkeudeksi myös 50 m, koska Vestas V27-225 laitoksen napakorkeus oli 31,5 m. Sottungasta ei ollut saatavilla sopivaa maastokuvaa, joten maaston rosoisuuden tarkastelu tehtiin Google Earth –sovelluksella Ormhällan sijaintitietojen perusteella (kuva 22.).



Kuva 22. Kuvakaappaus Ormhällan sijainnista. (Google Earth)

Kuvan perusteella voidaan määrittää Ormhällan laitoksen sijainnin olleen samantyyppisessä maastossa kuin Kemin laitokset. Valinta rosoisuusluokaksi on näin ollen R – class 2 (0,100 m). Keskimääräinen tuulen nopeus sai arvoksi 6,37 m/s ja energiasisältö arvon 274 W/m<sup>2</sup>. Tuulen suunta Sottungan alueella sijoittuu keskimäärin lounaiseen sektoriin.

#### 5.1.4 Siikajoki

Siikajoen kunnassa sijaitsevat Väressäikän voimalat ovat tyypiltään Nordtank 300/31 -mallisia voimaloita. Tuulipuistoon kuuluu kaksi voimalaa ja puiston nimellinen yhteisteho on 600 kW. Säikän voimaloiden sijainnin tuulisuusolot ovat kuvattu liitteessä 6. Nordtank 300/31 voimalan tehoarvoista lasketut tulokset olivat seuraavanlaiset:

- $P_{keski} \approx 75,02..kW$
- $E_{br.} \approx 657 MWh$

Väressäikkä sijaitsee Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa ja sijoituspaikalle ominainen jäätäminen on kuvattu liitteessä 6. Säikän laitoksille saatiin seuraavat tulokset:

Taulukko 6. Säikkä Tuuliatlasarvio, yhteenveto

Nimi	Nimellisteho (kW)	$P_{keski}$ (kW)	$h_{vuosi}$	$E_{br.}$ (MWh)	Häiriöt (%)			$E_n$ (MWh)
					Käyt.	Varjo	Jää	
Säikkä 1	300	75	8760	657	5	5	1,71	580
Säikkä 2	300	75	8760	657	5	5	1,71	580

Säikän laitoksien napakorkeus ulottui 30,5 m:iin, joten Lib- tiedostosta valitaan korkeudeksi 50 m. Maaston rosoisuutta arvioitiin maastokuvan ja Google Maps – karttasivuston perusteella. (kuva 23.).



Kuva 23. Varessäikän voimalat ja maastokuva (Panoramio 2011)

Kuvista voidaan tulkita laitosten olevan melko aukealla ja matalaesteisellä alueella, jolloin voidaan valita rosoisuusluokaksi R – class 1 (0,030 m). WAsP – tiedostosta voidaan nähdä, että tuulen suunta on voimakkaasti painottunut lounaiseen sektoriin. Tuulen keskinopeudeksi saatiin näillä määritteillä 6,44 m/s ja energiasisällöksi 306 W/m<sup>2</sup>.

### 5.1.5 Pori

Porin Reposaaaren alueella on suuri laitoskeskittymä, joista vanhin valittiin Tuuliastarkasteluun mukaan. Laitoksen tyyppi on samaa mallia kuin Säikän voimalat eli Nordtankin 300 kW:n voimala. Porin sijoituspaikan tuuliolot on kuvattu liitteessä 7 ja niistä lasketut arvot olivat seuraavat:

- $P_{keski} \approx 75,3 \text{ kW}$
- $E_{br.} \approx 659 \text{ MWh}$

Porissa jäätymisen yleisyys ja tappioarvo eivät poikkea paljon Säikän arvoista. Arviot jäätämisestä on kuvattu liitteessä 7. Laitos toimi yksinään eikä ollut osana siis tuulipuistoa, joten varjostusvaikutus jätetään huomiotta, kun tarkastellaan häiriöitä. Pori 1 laitokselle saatiin näin ollen seuraavat lopputulokset:



Taulukko 7. Pori Tuuliatlasarvio, yhteenveto

Nimi	Nimellisteho (kW)	$P_{keski}$ (kW)	$h_{vuosi}$	$E_{br.}$ (MWh)	Häiriöt (%)		$E_n$ (MWh)
					Käyt.	Jää	
Pori 1	300	75	8760	659	5	1,21	618

Porin laitoksen napakorkeus on sama kuin Säikän laitoksilla, joten WAsP – tiedostosta valitaan jälleen korkeudeksi 50 m. Maaston rosoisuus tarkasteltiin niin ikään samalla menetelmällä kuin Säikän laitoksien maaston arviointi. (kuva 24)



Kuva 24. Pori 1 laitos- ja maastokuva (Panoramio 2007)

Kuvista voidaan tulkita maastolle rosoisuusluokaksi R – class 1 (0,030 m) ja näillä arvoilla tuuliruusussa suunta painottui etelää kohti. Keskimääräinen tuulen nopeus oli 6,5 m/s ja energiasisältö 299 W/m<sup>2</sup>.

#### 5.1.6 Hailuoto

Oulun edustalla sijaitsevalla Hailuodon saarella on Marjaniemen tuulipuisto (yht. 1,1 MW) ja Huikun tuulivoimala (0,5 MW). Marjaniemen tuulipuistoon kuuluva Marjaniemi 3 ja erillään oleva Huikku ovat aloittaneet vuonna 1995, kun taas Marjaniemi 1 ja 2 ovat aloittaneet jo vuonna 1993. Hailuodon saarelle tyypillinen

tuuli-ilmastosta on kuvattu liitteessä 8. Vanhemmat voimalat ovat mallia Nordtank 300/31 ja nuoremmat ovat hieman isompia Nordtank 500/37 – tyyppisiä. Tuulisuudesta lasketut arvot laitoksille olivat seuraavat:

- $P_{keski} \approx 79,3 \text{ kW}$  (Nordtank 300)
- $E_{br.} \approx 695 \text{ MWh}$
- $P_{keski} \approx 119 \text{ kW}$  (Nordtank 500)
- $E_{br.} \approx 1046 \text{ MWh}$

Tuuliatlas ei ilmoita erilaisia tuulioloja saaren vastakkaisille päädyille, mutta sen sijaan jäätämisen on arvioitu olevan hieman pienempi Huikun sijoituspaikalla. Jäätäminen on kuvattu liitteessä 8. Huikun laitos ei kuulunut tuulipuistoryhmään, joten varjostusvaikutusta ei sovelleta. Yhteenvetona laitoksille saatiin seuraavat tulokset:

Taulukko 8. Hailuoto Tuuliatlasarvio, yhteenveto

Nimi	Nimellisteho (kW)	$P_{keski}$ (kW)	$h_{vuosi}$	$E_{br.}$ (MWh)	Häiriöt (%)			$E_n$ (MWh)
					Käyt.	Varjo	Jää	
Marjaniemi 1	300	79	8760	695	5	5	3,83	599
Marjaniemi 2	300	79	8760	695	5	5	3,83	599
Marjaniemi 3	500	119	8760	1046	5	5	3,83	901
Huikku	500	119	8760	1046	5	0	2,44	968

Napakorkeudet olivat 300 kW:n laitoksilla 30,5 m. 500 kW:n laitoksista Marjaniemi 3 oli 36 m ja Huikku 41 m. Näin ollen Lib – tiedostosta valittiin korkeudeksi 50 m. Maastoarviointi toteutettiin samoilla menetelmillä kuin edellä. (kuva 25 ja 26).



Kuva 25. Huikku, laitos- ja maastokuva (Panoramio 2010)



Kuva 26. Marjaniemi 1-3, maastokuva (VTT)

Kuvista voidaan tulkita molemmille sijainneille melko esteetön alue ja rosoisuusluokka ovat näin ollen R- class 1 (0,030 m). Keskimääräinen tuulenopeus Hai-luodossa sai arvon 6,65 m/s ja energiasisällöksi 326 W/m<sup>2</sup>. Tuulen suunta oli lounaiseen sektoriin painottuva.

## 5.2 Toteutunut tuotanto, tunnusluvut ja tuotantoindeksit

Tässä työssä on tutkittu valittujen laitosten vuosi – ja kuukausitilastoja, joita on sitten vertailtu toisiinsa ja ennusteisiin. Laitosten tuotantotiedot ovat poimittu VTT:n tietokannasta taulukkomuodossa.

Tilastoiduista suureista tarkastellaan tuotantoarvojen ja vikatilastojen lisäksi tunnuslukuja, joilla voidaan kuvastaa tuulivoimalaitoksen käytettävyyttä ja suorituskykyä paikallisessa tuuli-ilmastossa. Tässä työssä määritettiin valituille laitoksille seuraavat tunnusluvut:

- Tekninen käytettävyys
- Huipunkäyttöaika
- Kapasiteettikerroin

Tuulivoimalaitoksen viat ja sähköverkon häiriöt aiheuttavat katkoksia tuotannossa. Seisokkiaikoja on tilastoitu niiden kestona tunneissa. Tähän aikaan ei lueta laitoksen normaalille toiminnalle ominaisia aikoja, kuten käynnistymistuuleno-peuden (3-5 m/s) alittavia ja myrskyrajan (20-25 m/s) ylittäviä, eikä myöskään jäätymisestä aiheutuvia katkoksia. Sähköverkon häiriöt ovat mukana tilastoidussa kestossa, mutta eivät vaikuta tekniseen käytettävyyteen alentavana tekijänä. Tekninen käytettävyys kuvastaa siis laitoksen toiminnallista aikaa vuodesta, josta on vähennetty seisokkiaika. Tunnusluku prosentteina voidaan määrittää seuraavalla kaavalla (Holttinen & Stenberg 2011, 17.):

$$\text{Tekninen käytettävyys}(\%) = \frac{h_{\text{vuosi}} - (h_{\text{häiriö}})}{h_{\text{vuosi}}}$$

Vuoden tunnit saavat arvon 8760 h (8784 h, karkausvuonna).

$$h_{\text{häiriö}} = \text{seisokkiaika}(h) - \text{sähköverkon häiriöt}(h)$$

Esim. Korsnäs 1 on tilastoitu vuonna 1997 häiriöajaksi 237 h ja käytettävyyssajaksi 227 h. Eli sähköverkon häiriöiden osuus ollut 10 h. Sijoittamalla käytettävyyssaja ja vuoden tunnit ylläolevaan kaavaan saadaan vuoden 1997 laitoksen Nordtank 200F tekniseksi käytettävyydeksi 97,41 %. Kaavasta voidaan myös määrittää kuukausittainen käytettävyyss vaihtamalla vuoden tunnit kuukauden tunneiksi (696–744 h, riippuen kuukaudesta).

Toisena vertailtavana tunnuslukuna pidetään huipunkäyttöaika, joka taas ilmaisee tunneissa laitoksen toteutuneen tuotannon suhdetta nimellistehoon. Tunnusluku saadaan laskemalla se seuraavalla kaavalla (Holtinen & Stenberg 2011, 14):

$$t_h = \frac{E_{\text{vuosi}}}{P_{\text{nimel.}}}$$

Esim. Korsnäs 1 laitoksesta oli tilastoitu vuonna 1997 tuotannoksi 348514 kWh ja Nordtank 200F laitoksen nimellisteho on 200 kW. Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan huipun käyttöajaksi n. 1743 h. Huipun käyttöajan voi myös ilmaista kapasiteettikertoimena CF, joka kuvastaa huipunkäyttöaika %:ina tunneista seuraavalla tavalla (Holtinen & Stenberg 2011, 14.):

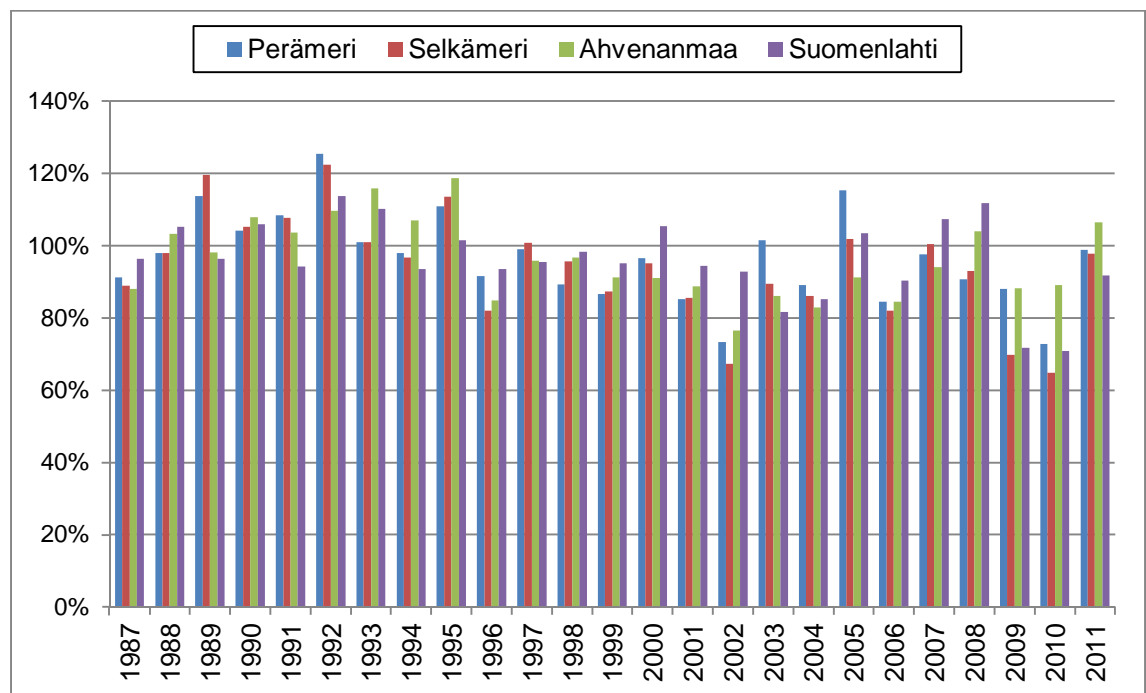
$$CF(\%) = \frac{t_h}{h_{\text{vuosi}}}$$

Esimerkkinä sijoitetaan Korsnäs 1 huipunkäyttöaika vuonna 1997 ja vuoden tunnit, saadaan kapasiteettikertoimeksi 0,198.. eli n. 20 %.

Ilmatieteen laitos on julkaissut myös nk. tuotantoindeksit, jotka ovat määritetty neljältä eri sääasemalta. Tuotanto on laskettu mitattujen tuulennopeushavaintojen perusteella 1,5 MW:n laitoksen tehokäyrästä ja suhteuttamalla saatu tulos keskimääräiseen tuotantoon, joka on määritetty pitkän aikavälin tuotannoista. Tiheyden muuttuminen lämpötilavaihtelun johdosta on otettu huomioon. Tuotantoindeksit ovat määritetty seuraavilta merialueilta (Holtinen & Stenberg 2011, 17.):

- Perämeri
- Selkämeri
- Ahvenanmaa
- Suomenlahti

Tuotantoindeksijä on laskettu vuodesta 1987 alkaen. Kuviossa on esitetty tuotantoindeksit pitkältä aikaväliltä.



Kuvio 1. Tuotantoindeksit vuosiväliltä 1987–2011

Seuraavissa luvuissa kuvataan toteutuneet tuotannot pitkältä aikaväliltä ja Tuuliattlaksen laskennalliselta ajalta. Olemassa olevien tietojen perusteella on tehty karkea arvio olettaen, että laitoksen seisokkiaikana on vallinnut kuukauden tai vuoden keskimääräinen tuulisuus/tuotanto. Käytettävyysskorjaus laskettiin seuraavalla tavalla:

$$E_{br} = \frac{E_n}{\text{Tekninen käytettävyys}(\%)}$$

Tuotantoja on lisäksi korjattu vielä tuotantoindeksillä, jolloin vuoden tuotanto on oletettu vastaavan pitkän aikavälin keskimääräistä tuotantoa. Tuotantoindeksikorjaus on laskettu seuraavalla tavalla:

$$E_{TI} = \frac{E_{br}}{\text{Tuotantoindeksi (\%)}}$$

On huomattava myös, että kaikista Tuuliatlakseen simuloitujen vuosien kuukausista ei ole tilastoitu tuotantoa tai mahdollisesti laitoksen käytettävyyttä on ollut huono (alle 10 %), jolloin tuotantoarvo ei vastaa potentiaalista. Näissä tapauksissa on joko otettu keskimääräinen arvo pitkältä aikaväliltä tai mikäli kyseessä on tuulipuisto, niin laitoksen tuotanto on korvattu viereisen voimalan arvolla.

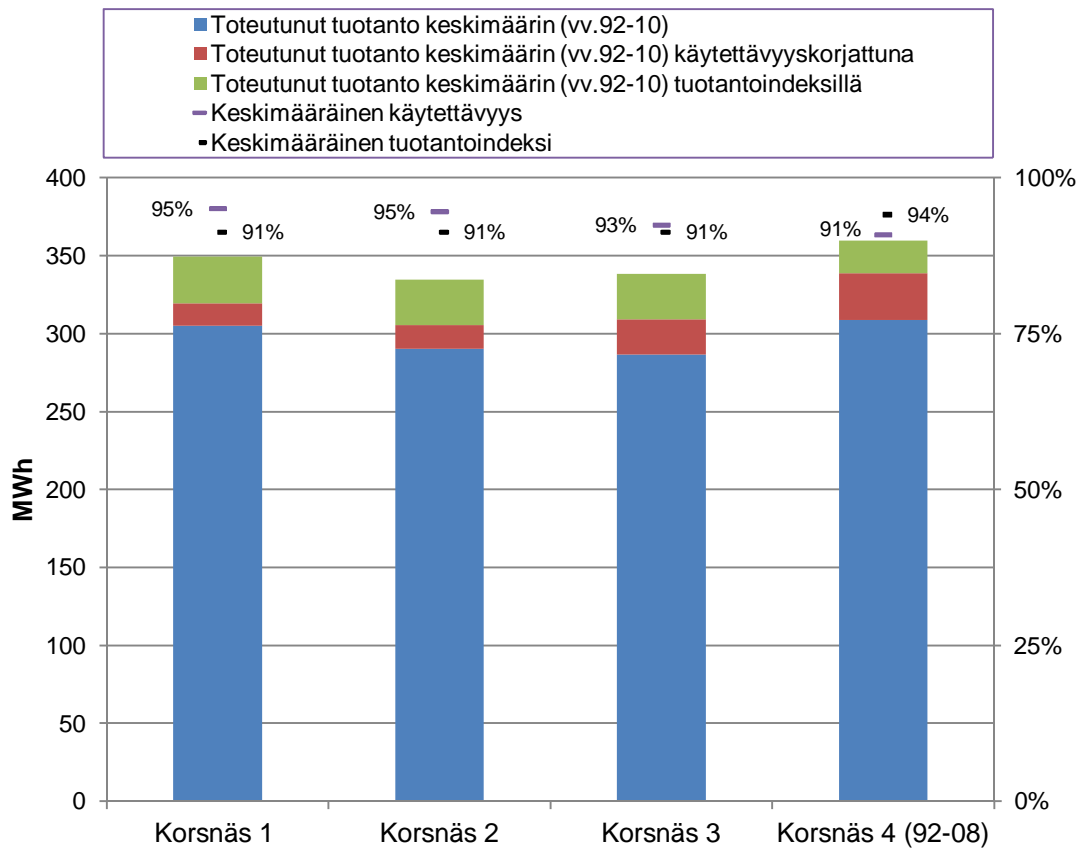
**Esim. 1.** Korsnäs 1 laitoksen tilastoista puuttuu vuoden 1991 tammikuun arvo jolloin se korvataan keskimääräisellä arvolla vuosiväliltä 1992–2007.

**Esim. 2.** Korsnäs 2 laitoksen käytettävyyttä on ollut 0 % helmikuussa vuonna 2006. Laitoksen tuotantoarvo on näin ollen korvattu Korsnäs 1 voimalan arvolla, jonka käytettävyyttä on ollut 98,51 %.

Samaa menetelmää tullaan myös käyttämään muille Tuuliatlastarkasteluun valituille laitoksille.

### 5.2.1 Korsnäs

Korsnäsin voimaloista on tilastoitu tuotantoja vuodesta 1992 alkaen, joten pitkän aikavälin tarkasteluun valittiin vuosiväli 1992–2010 kuvastamaan keskimääräistä vuosituotantoa. Mukaan on valittu ainoastaan täydet vuodet, eli tunnit täyttyvät 8760 tai 8784, tilastoinneissa oli mukana myös muutama vajaa vuosi. Korsnäs 4:n otanta on poikkeuksellisesti valittu vuosivälillä 1992–2008, koska laitos on otettu pois käytöstä v. 2009. Kuviossa 2 on havainnollistettu Korsnäsin laitosten keskimääräiset tuotannot pitkältä aikaväliltä ja merkittynä on myös laitosten keskimääräinen käytettävyyttä ja tuotantoindeksi Selkämereltä ko. ajalta.

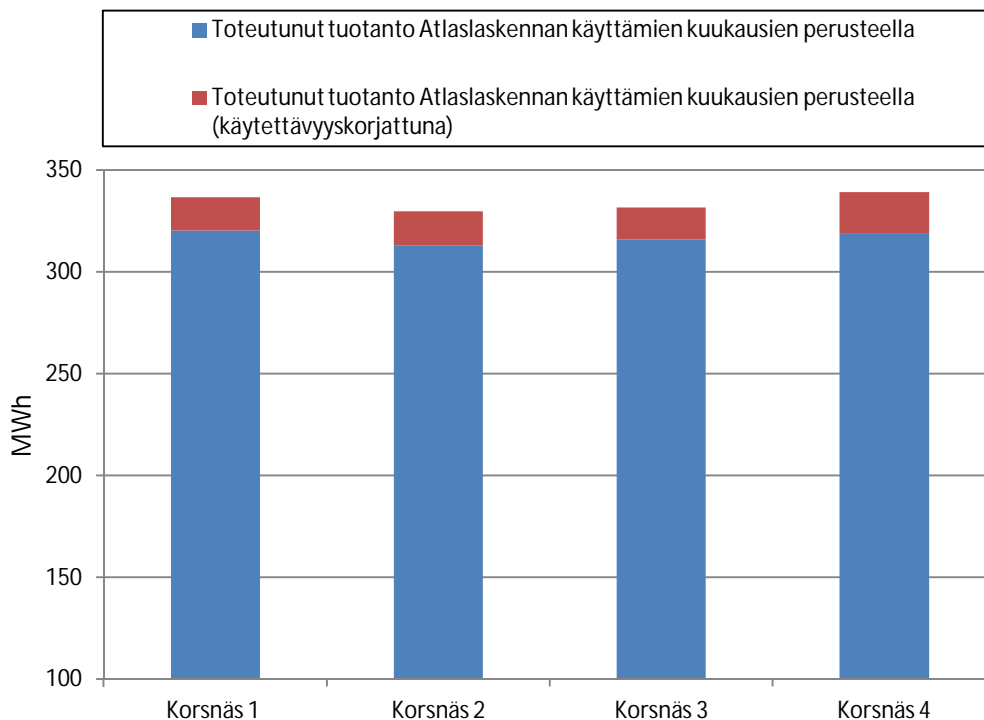


Kuvio 2. Korsnäs. Toteutuneet tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.

Laitoksista Korsnäs 1 ja 4 ylsivät yli 300 MWh keskimääräiseen vuosituotantoon. Tarkasteluajanjakson aikana käytettävyys oli laitoksilla keskimäärin hyvä. Tuotantoindeksi oli keskimäärin 91 % Korsnäs 1-3 tarkasteluajalla, kun taas lyhyemmällä välillä (Korsnäs 4) tuotantoindeksi oli n. 94 %.

Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta (1989–2007) summattiin yhteen myös keskimääräiset kuukausituotannot, jotka vastaavat Tuuliatlaksen mallinnuksessa käytettyjä kuukausia. Tuotannot ovat kuvattu keskimääräisenä vuosituotantona ko. ajanjaksolta ja korjattu käytettävyysluvulla vastaamaan bruttotuotantoa (kuvio 3.).





Kuvio 3. Korsnäs. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.

Tuotannot ylsivät kaikkien laitosten osalta yli 300 MWh tuotantoon joista Korsnäs 1 ja 4 tuottivat keskimäärin 320 MWh muiden laitosten jäädessä hieman alle.

Liitteessä 9 on kuvattuna Korsnäsin laitosten tuotannot Tuuliatlaskuukausilta ja puutteet tilastoista sekä selitys korvaavuudesta. Kuukausituotannoista voidaan myös nähdä tuulivoimatuotannon kausivaihtelu, jolloin tuotannolle suotuisimmat ajankohdat sijoittuvat loppu- ja alkuvuoteen. Vika- ja tuotantotilastot sekä niistä lasketut tunnusluvut ovat myös ilmaistu liitteessä.

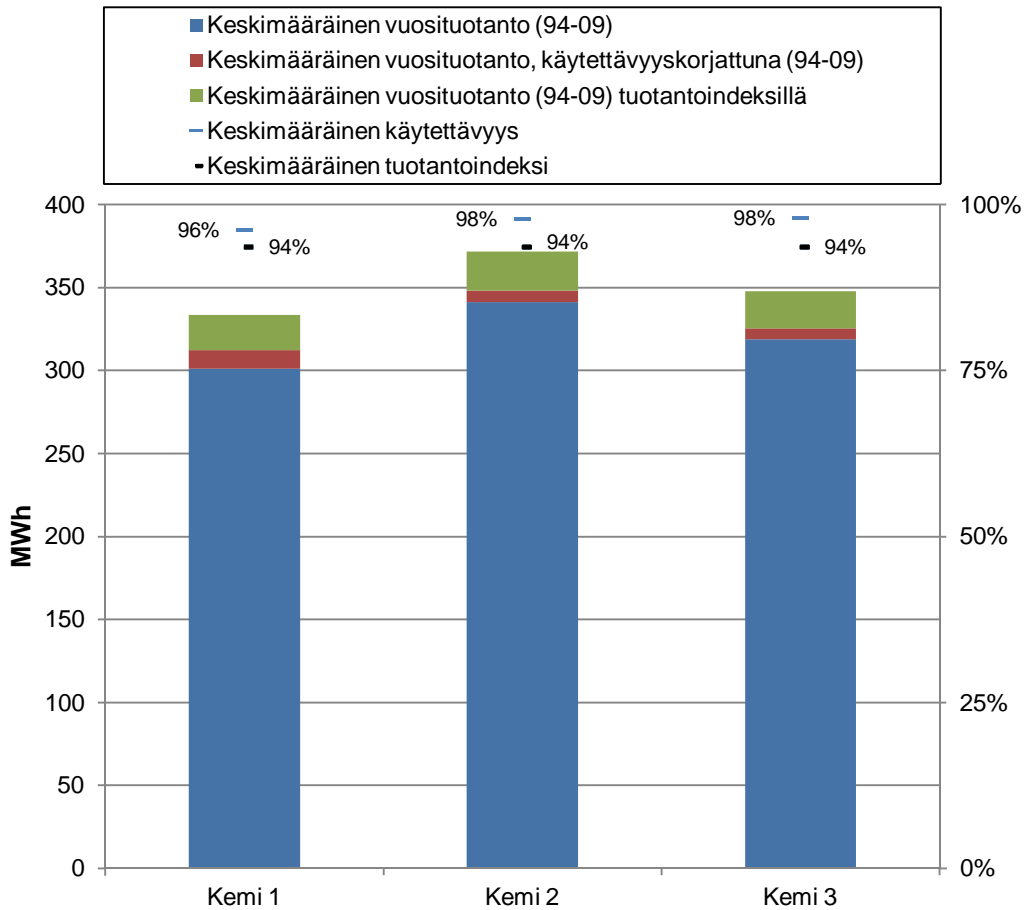
Ilmatieteenlaitoksen mukaan, on syytä huomioida, että Tuuliatlaksen mallinnuksessa käytettyjen vuosien kuukaudet vastaavat keskimääräistä tuulisuusarvoa kyseiselle ajalle. Joten korvaamalla esim 1. mukaan keskimääräisen kk tuotantoarvon pitkän aikavälin arvolla, menetelmä saattaa vääristää tammikuun todellista tuulisuusatilannetta. Esim. IL:n tietokannasta tuulennopeus 50 m korkeudella tammikuussa vuonna 1991 oli keskimäärin 8,9 m/s ja atlaskuukausina 9,2 m/s, jolloin korvattu atlaskuukausi on voinut olla hyvinkin tuulinen. Tuloksiin tä-

mä vaikuttaa jonkin verran, mutta koska kyseessä on vain osa aineistosta, niin lopputulokset eivät muutu ratkaisevasti. (Sähköpostikeskustelu J. Latikka, Ilmatieteenlaitos, 16.5)

### 5.2.2 Kemi

Kemin tuulipuiston laitosten pitkän aikavälin tarkasteluksi valittiin vuosiväli 1994–2009. Voimalat poistuivat käytöstä vuonna 2010 ja pystytys sijoittui 1993 vuoden alkuun, joten näinä vuosina tilastoinneissa oli ilmoitettu vajaat vuodet.

Keskimääräiset tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna on ilmaistu kuviossa 4.

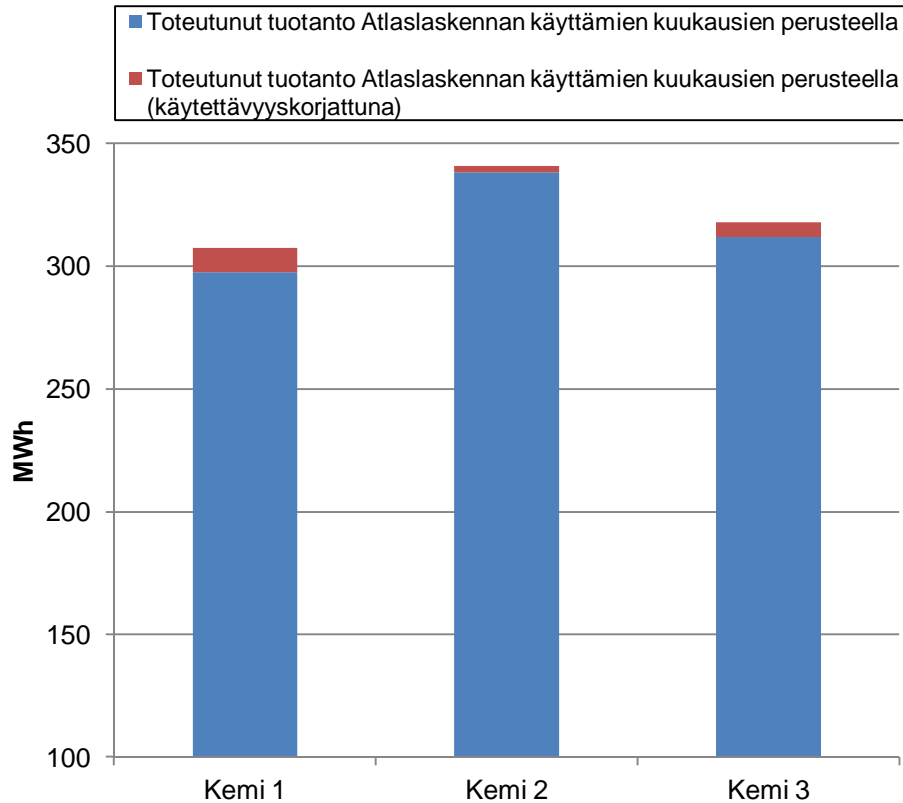


Kuvio 4. Kemi. Toteutunut tuotanto nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.

Tuulipuistosta parhaiten tuotti Kemi 2, joka ylsi n. 340 MWh keskimääräiseen vuosituotantoarvoon. Käytettävyys oli kaikilla laitoksilla keskimäärin erittäin hy-

vä, joista Kemi 1 laitoksella oli hieman heikompi arvo kuin puiston muilla voimaloilla. Perämeren tuotantoindeksi oli tarkasteluajanjaksolla n. 94 %.

Tuuliatlaslaskennan aikana toteutuneista kuukausituotannoista summatut tuotannot on ilmaistu kuviossa 5.



Kuvio 5. Kemi. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.

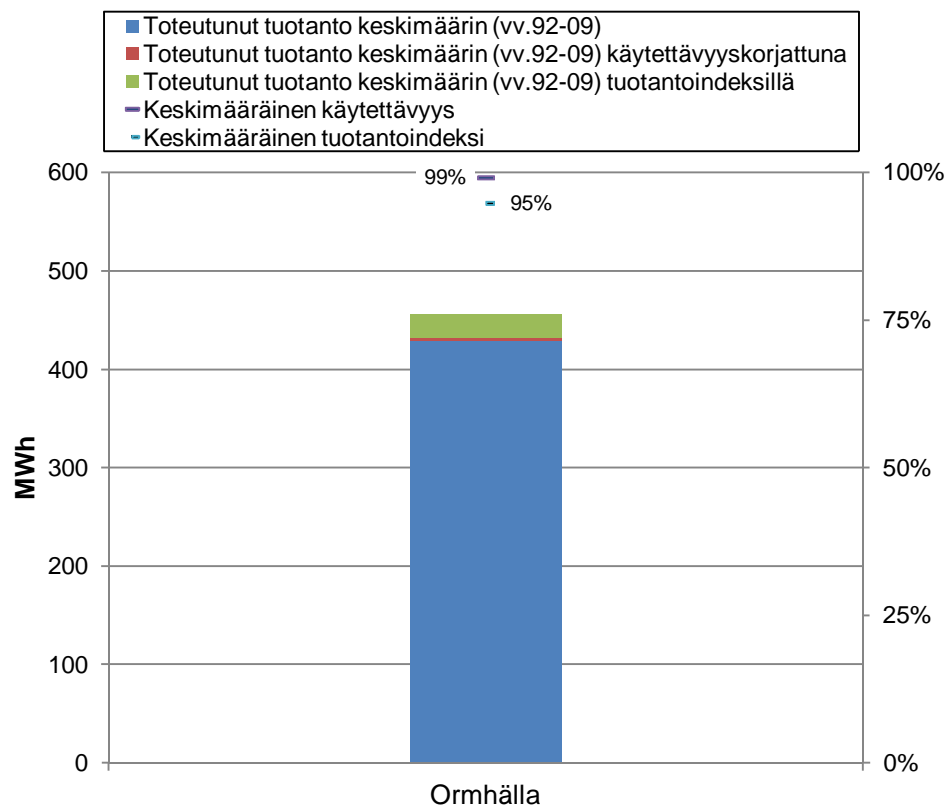
Keskimääräisestä vuosiarvosta Kemi 2 ylsi samoihin lukemiin kuin pitkän aikavälin tarkastelussa. Käytettävyys oli niin ikään hyvä laskennan ajalla. Aloitusvuoden takia puuttuvia Atlaskuukausia tuli useampia, jotka siten korvattiin keskimääräisellä arvolla vuosiväliltä 1994–2007.

Liitteessä 10 on havainnollistettu Kemin voimaloiden vuosi- ja kuukausitilastot pitkältä aikaväliltä ja Tuuliatlaksen ajalta sekä lasketut tunnusluvut. Tilastopuutteet Tuuliatlaslaskennan ajalta on myös kuvattu liitteessä.

### 5.2.3 Sottunga

Ahvenanmaan Sottungan voimalalle pitkän aikavälin tuotannot tarkasteltiin 17 vuoden ajanjaksolta. Voimala otettiin käyttöön vuonna 1991 ja purettiin vuonna 2010, joten tuotantoja tarkasteltiin vuosilta 1992–2009.

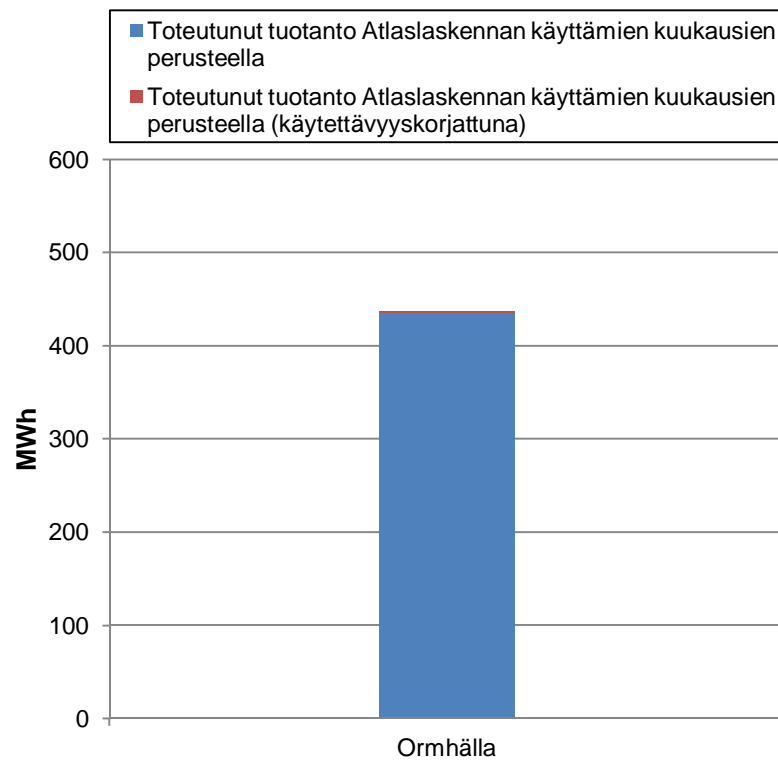
Keskimääräinen vuosituotantoarvo korjauksineen on esitetty alla olevassa kuviossa.



Kuvio 6. Sottunga. Toteutunut tuotanto nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.

Sottungan laitoksen vuosituotto oli keskimäärin n. 430 MWh pitkän aikavälin tarkastelujaksolla. On huomattava myös, että laitoksen käytettävyys on ollut erinomainen ko. ajalla, joka kertoo laitoksen vähäisistä teknisistä häiriöistä. Tuotantoindeksi Ahvenanmerellä oli keskimäärin n 95 %.

Toteutuneista kuukausituotannoista summattu keskimääräinen vuosituotanto on ilmaistu kuviossa 7.



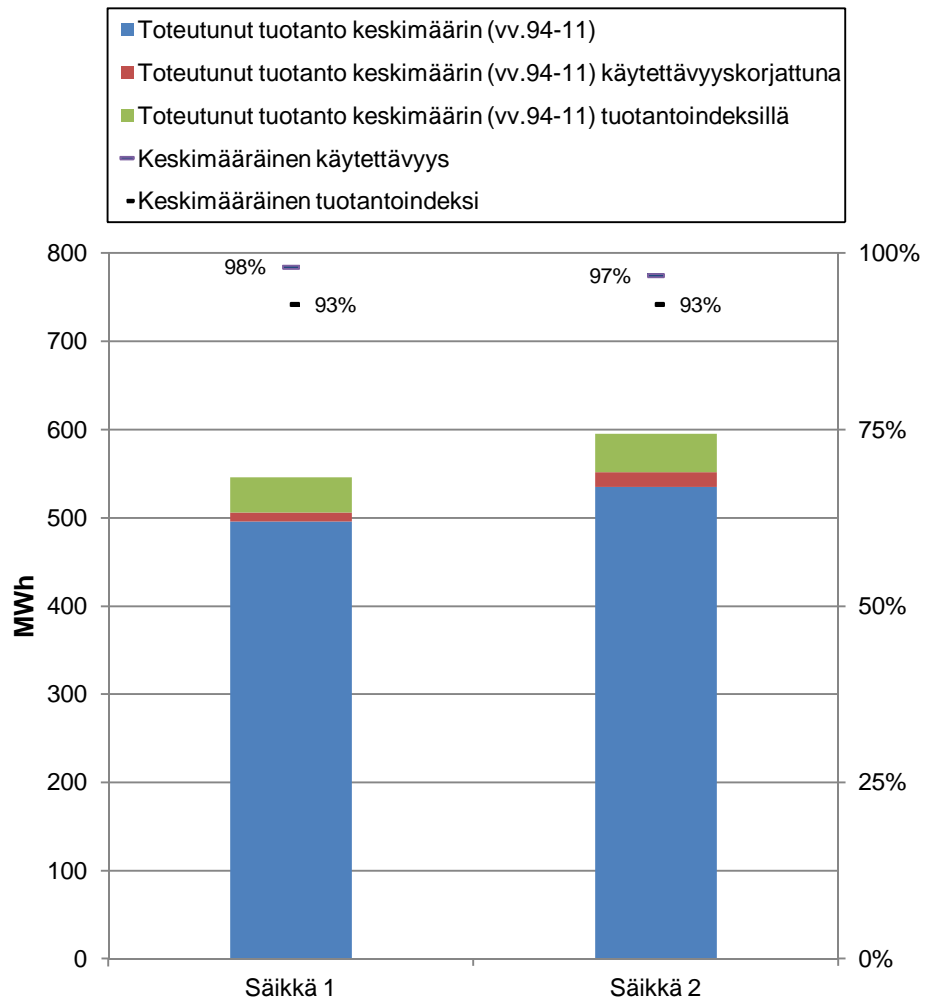
Kuvio 7. Sottunga. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.

Sottungan voimalan tuotto Atlaslaskennan ajalta ylsi n. 435 MWh eli melko lähelle pitkän aikavälin tarkastelun arvoa. Käytettävyys Tuuliatlas laskennan vuosien kuukausilta on ollut myös erittäin hyvä.

Liitteessä 11 on kuvattu tuotannot Sottungan laitokselle kuukausitasolta Atlaslaskennan ajalta ja vuosi- sekä vikatilastot. Tilastopuutteet Tuuliatlakseen simuloituista vuoden kuukauksista on ilmoitettu myös.

### 5.2.4 Siikajoki

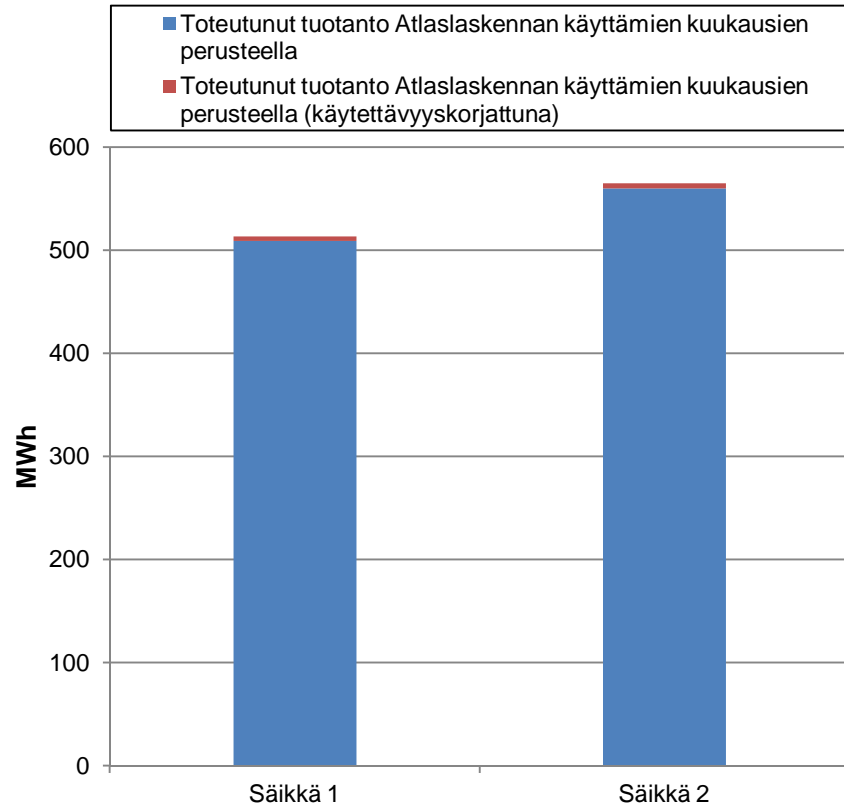
Siikajoen laitoksista valittiin pitkän aikavälin tarkasteluajaksi vuosiväli 1994–2011, jolloin saatiin niin ikään 18 vuoden tarkasteluajanjakso. Laitosten keskimääräinen vuosituotanto on ilmaistu kuviossa 8.



Kuvio 8. Siikajoki. Toteutuneet tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.

Siikajoen laitoksista Säikkä 1 tuotti nettona n. 496 MWh ja bruttona hieman yli 500 MWh. Vastaavasti Säikkä 2 tuotti hieman paremmin tarkasteluajanjaksolla, nettona n. 535 MWh ja bruttona 552 MWh. Käytettävyys laitoksilla oli keskimäärin hyvä ja tuotantoindeksi Perämerellä ko. ajalla oli n. 93 %.

Atlaslaskennan aikana tilastoiduista kuukausituotannoista ilmeni useampia puutteita aloituspäivämäärän takia (04/1993), mutta niistä koottu keskimääräinen vuosituotanto oli hieman korkeampi kuin pitkän aikavälin tarkastelussa. Säikkä 1 tuottivat nettona n. 510 MWh ja Säikkä 2 n. 560 MWh (kuvio 9.).

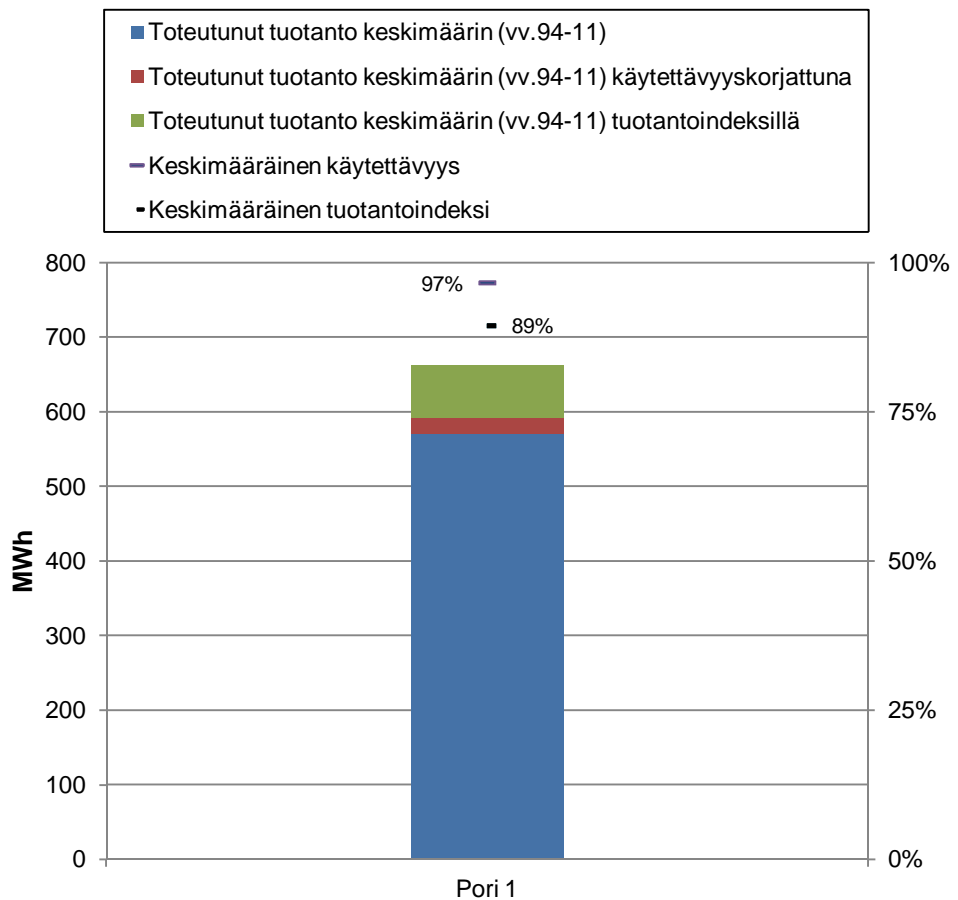


Kuvio 9. Siikajoki. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.

Puuttuvien Atlasvuosien kuukaudet korvattiin ko. kuukauden keskimääräisellä arvolla väliltä 1994–2007. Puutokset ja kuukausituotannot ovat ilmaistu liitteessä 12, vuosi- ja vikatilastojen ohella.

### 5.2.5 Pori

Porin laitoksen tarkasteluväliksi valittiin sama vuosiväli kuin Siikajoen laitoksilla eli 18 vuoden ajanjakso. Pitkän aikavälin vuosituotanto on ilmaistu kuviossa 10.

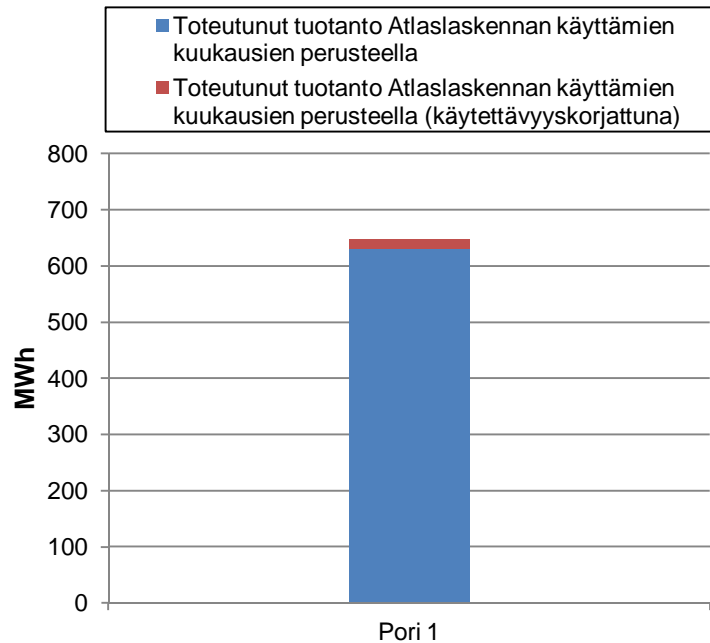


Kuvio 10. Pori. Toteutuneet tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna

Pori 1 laitoksen vuosituotto oli keskimäärin n. 571 MWh tarkasteluajanjaksolla ja hyvällä käytettävyydellä. Tuotantoindeksi Selkämerellä oli n. 89 %. Vuosi- ja vikatilastot sekä lasketut suureet on kuvattu liitteessä 12.

Tuuliatlaksen laskennan aikaisista kuukausituotoista summatuksi vuosituotannoksi saatiin n. 631 MWh. (kuvio 11)





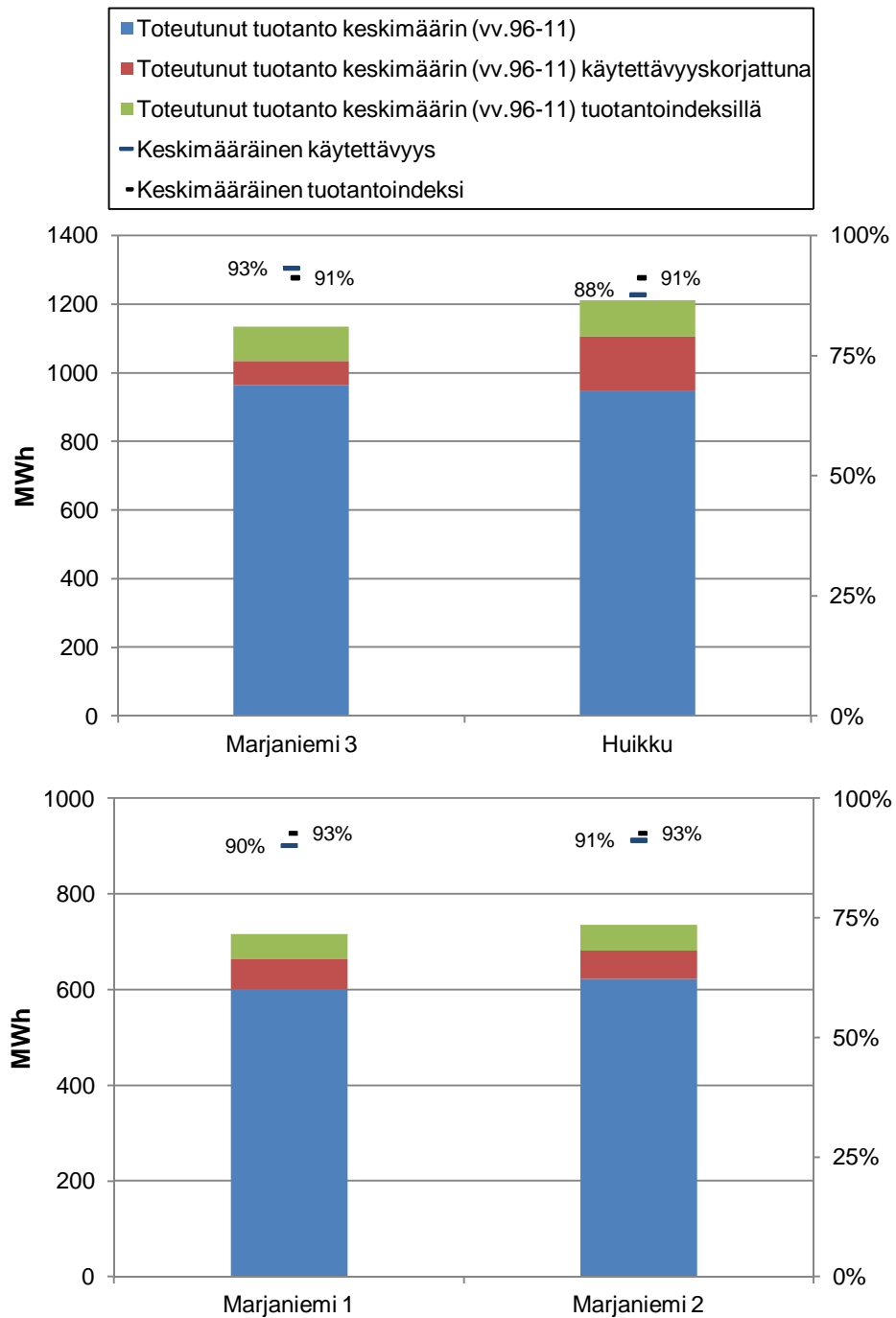
Kuvio 11. Pori. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.

Käytettävyys on myös ollut keskimäärin yhtä suuri kuin pitkällä aikavälillä. Alotusvuoden takia Atlaskuukausia poistui tarkastelusta sama määrä kuin Siikajoen laitoksilta. Tilastopuutteet ja korvaavuudet ovat ilmaistu liitteessä 12.

### 5.2.6 Hailuoto

Hailuodon laitoksista Marjaniemi 1. ja 2. tarkasteluajanjaksoksi valittiin myös vuosiväli 1994–2011. Marjaniemen tuulipuiston voimala Marjaniemi 3 ja Huikun otanta koostui 16 vuoden tilastoista, vuosilta 1996–2011, myöhäisemmän käyttöönottoavuoden takia.

Hailuodon pienemmän kokoluokan laitoksista Marjaniemi 1 tuotti n. 600 MWh ja Marjaniemi 2 n. 622 MWh. Suuremmista 500 kW:n laitoksista Marjaniemi 3 tuotti n. 965 MWh ja Huikku n. 950 MWh. Toteutuneet tuotannot ovat kuvattu kuviossa 12.

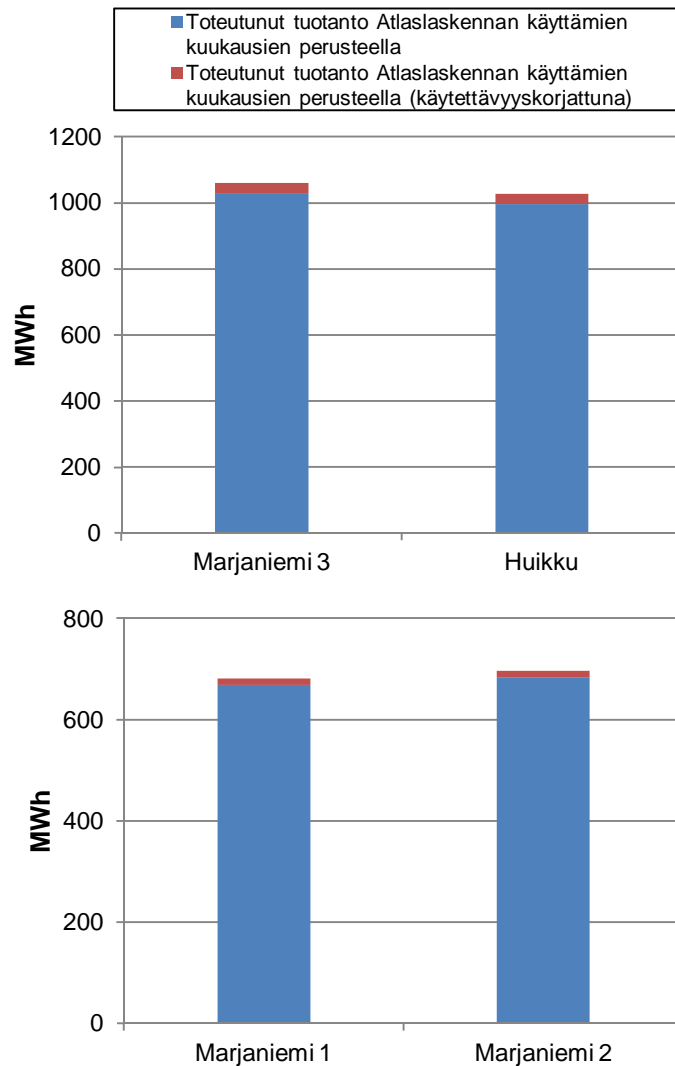


Kuvio 12. Hailuoto. Toteutuneet tuotannot nettona ja bruttona sekä tuotantoindeksikorjattuna.

Käytettävyys oli keskimäärin hieman heikompi Hailuodon laitoksilla kuin muilla vertailuun valituilla. Suurimmat laitokset ylsivät käytettävyysskorjattuina yli 1 GWh bruttotuotantoon. Tuotantoindeksi Perämerellä oli 18 vuoden tarkastelu-

ajanjaksolla kahden prosenttiyksikön korkeampi kuin 16 vuoden tarkasteluvälillä.

Tuuliatlaksen simuloitujen vuosien kuukausituotoista summatut vuosituotannot ovat havainnollistettu kuviossa 13.



Kuvio 13. Hailuoto. Keskimääräinen vuosituotanto, joka on laskettu toteutuneiden kuukausituotantojen perusteella.

Hailuodon laitoksista jäi puuttumaan useita kuukausia Tuuliatlaslaskennan ajalta ja erityisesti Marjaniemi 3:n ja Huikun myöhäisen aloitusvuoden (1995) takia menetettiin kokonaisuudessaan Atlaslaskennan kesäkuuden tuotantojen todelliset arvot. Korvaavuuksia täytyi suorittaa useita kertoja, jolloin Atlaslaskennan

kuukausia menetettiin 72:sta 26. Käytettävyys oli keskimäärin hyvä Atlaskuukausien aikana, joka ilmenee kuvion käytettävyyskorjauksista.

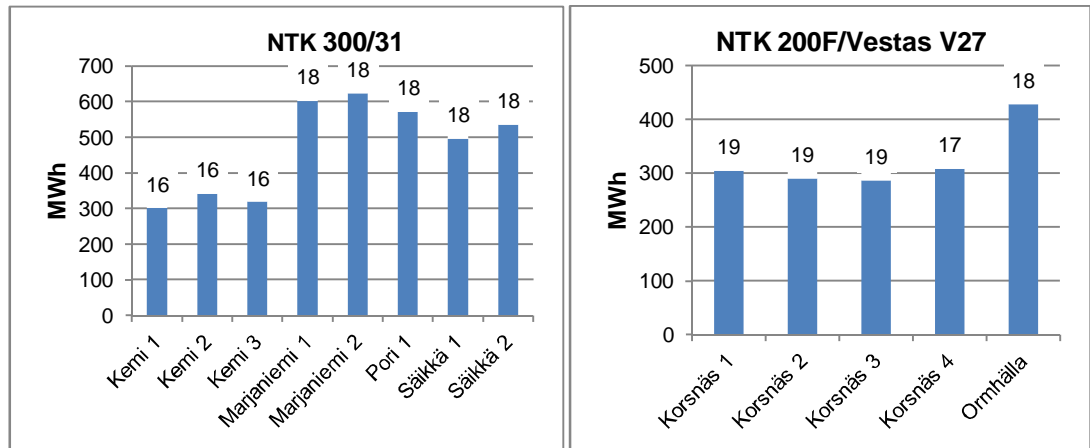
Liitteessä 13 on esitetty vuosittaiset tuotannot ja vikatilastot sekä Atlaskuukausien tuotto ja puutokset.

### 5.3 Tuotantovertailut

Toteutuneita tuotantoja vertaillaan toisiinsa laitoksittain ja sijoituspaikkakunnittain. Vertailuun valittujen laitoksien keskimääräisiä vuosituotantoja verrataan toisiinsa ja Tuuliatlas arvioon. Laitosten huipun käyttöaikoja tarkastellaan myös. VTT:n mukaan hyvin tuottaneihin laitoksiin luetaan yli 2400 tunnin huipun käyttöajan ylittävät laitokset. (Holtinen & Stenberg 2011, 33)

Tuuliatlasvertailuun valittuihin laitostyyppeihin lukeutui siis ainoastaan Nordtankin valmistamia laitoksia, poikkeuksena Ormhällan laitos, joka oli Vestaksen valmistama.

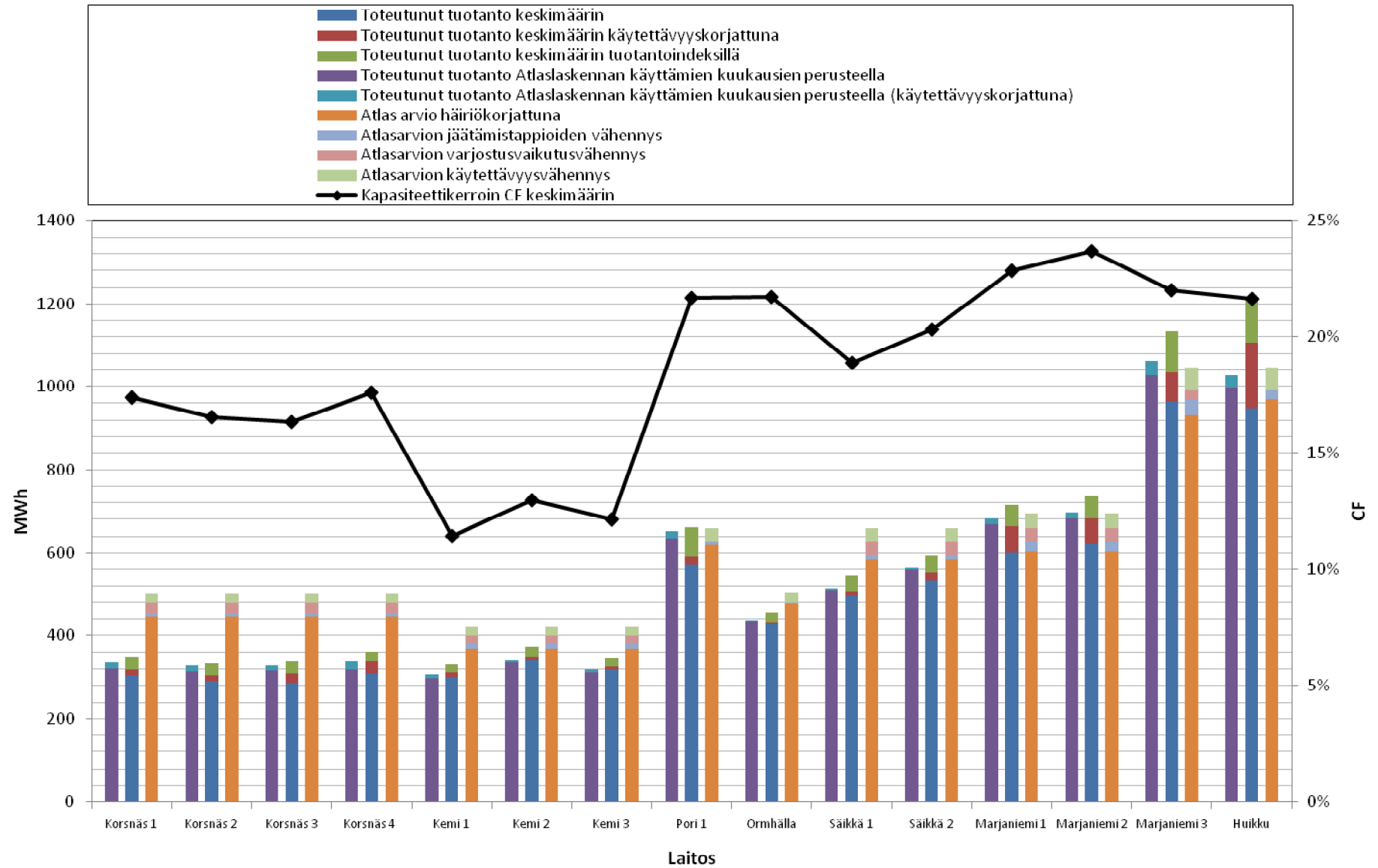
Nordtank 300/31 -tyypin laitoksista Hailuodon voimalat tuottivat pitkän aikavälin tarkastelussa selkeästi paremmin kuin muilla sijoituspaikkakunnilla, joista Kemin voimalat jäivät tuotannoiltaan merkittävästi muita pienemmiksi. Nordtank 200F voimaloista tuottivat parhaiten Korsnäs 1 ja 4. Korsnäsin laitosten viereen valittiin vertailuksi Ormhällan Vestas V27 laitos, jonka nimellisteho oli hieman korkeampi (225 kW), mutta tuotanto yli 100 MWh suurempi kuin Nordtankin laitosten. Ormhällan laitos ylitti myös Kemin 300 kW:n laitosten arvot, joka kertoo Kemin laitosten olleen huonolla sijoituspaikalla (kuvio 14.). Hailuodon 500 kW:n laitoksista Marjaniemi 3 ylsi parempaan tuotantoarvoon samalla 16v. tarkasteluajanjaksolla (ks. kuvio 12).



Kuvio 14. NTK 300/31, NTK 200F ja Vestas V27 -voimaloiden tuotannot pitkällä aikaväliltä. Ajanjakson pituus vuosissa on merkitty pylväiden yläpuolelle.

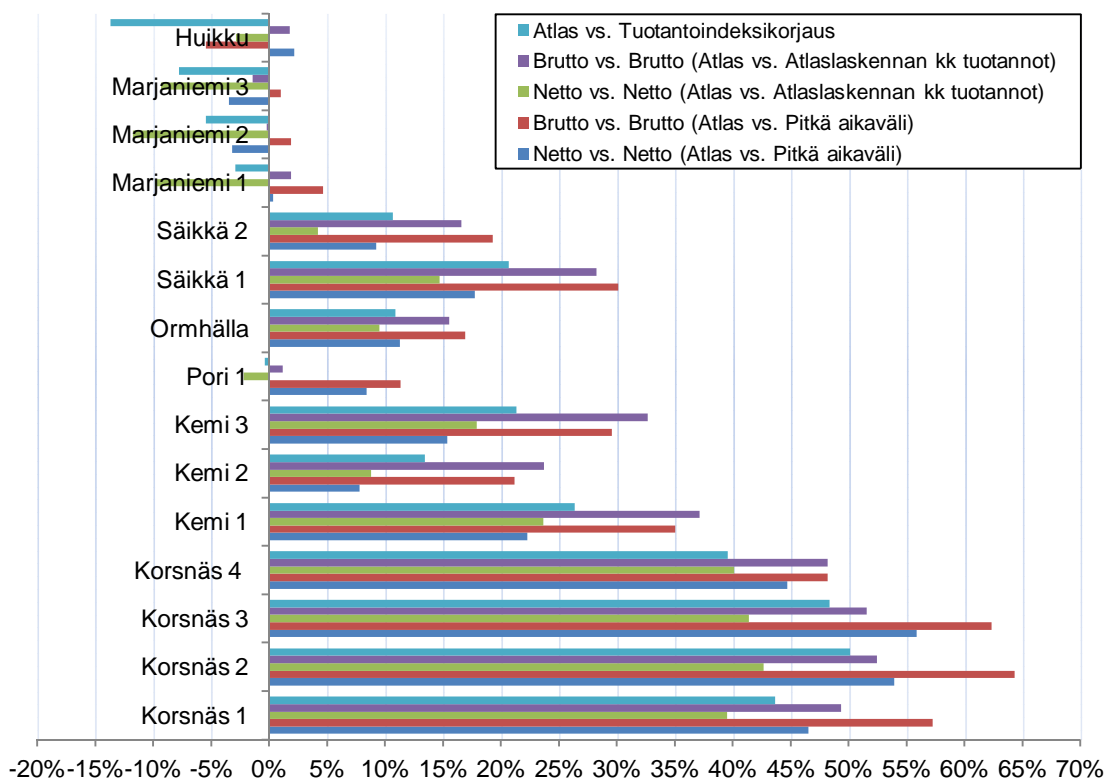
Seuraavalla sivulla olevassa kuviossa on kerätty vertailuun valittujen laitosten keskimääräiset vuosituotannot kaikilla tavoin ja kuviossa on myös esitetty Tuuliatlaksen tietojen pohjalta tehty vuosituotantoarvio. Laitoksia verrattiin toisiinsa keskimääräisten tuotantojen lisäksi myös huipun käyttöaikojen perusteella, jotka ovat ilmoitettu kuviossa 15 kapasiteettikertoimina CF, eli prosenttina tunneista.

Kuviosta voidaan todeta, että hyvin tuottaneilla laitoksilla oli pitkällä aikavälillä keskimääräinen kapasiteettikerroin väliltä 20–24 %. Heikoimmat arvot saivat Kemin laitokset (n. 11–13 %) ja parhaimman arvon sai Marjaniemi 2 (n. 24 %). Muuntamalla VTT:n määritelmän mukainen erittäin hyvä huipunkäyttöaika kapasiteettikertoimeksi, saadaan vertailuarvoksi n. 27 %.



Kuvio 15. Tuuliatlasarviot ja toteutetut tuotannot sekä kapasiteettikertoimet.

Kuviosta ilmenee myös se, että Tuuliatlaksesta saaduilla tuulisuustiedoilla tehty vuosituotantoarvio yliarvioi selkeästi osien laitoksien tuotantoa suhteessa toteutuneisiin arvoihin. Kuviossa 16 havainnollistetaan Atlasarvion suhdetta toteutuneisiin tuotantoihin eri tavoin. Kuviossa verrataan kuinka monta prosenttia arvio eroaa toteutuneista tuotannoista. Pitkän aikavälin ja Atlaskuukausien summa- tuista keskimääräisistä vuosituotantoja verrataan arvioon bruttona<sup>7</sup> ja nettona<sup>8</sup>. Lisäksi Atlasarviota bruttona verrataan tuotantoindeksillä korjattuihin tuotantoihin. Kuviossa 0 % esittää toteutuneen keskimääräisen vuosituotannon olleen yhtäsuuri kuin Atlasarvio. + % ilmaisee yliarviointia ja vastaavasti - % aliarviointia.



Kuvio 16. Atlasarvion suhde toteutuneisiin vuosituotantoihin.

Kuviosta nähdään, että prosentuaalisesti suurin yliarviointi tapahtuu Korsnäsien voimaloiden tuotantoarvioissa, joka oli keskimäärin +49 %. Porin ja Hailuodon tuotannot vastasivat melko hyvin arviota, erojen ollessa keskimäärin +3,7 % ja -3,2 %. Allaolevassa taulukossa on kuvattu sijoituspaikkakunnittain arvion suh-

<sup>7</sup> Brutto=Bruttotuotanto eli kokonaistuotanto ilman vähentäviä tekijöitä

<sup>8</sup> Netto=Nettotuotanto eli kokonaistuotanto josta on vähennetty häiriöt

detta toteutuneisiin tuotantoihin. Taulukossa on ilmaistu keskimääräinen ero sijoituspaikan koko joukon arvoista.

Taulukko 9. Atlasarvion keskimääräinen ero toteutuneista tuotannoista prosenttiyksikköinä.

Sijoituspaikka	Ero
Korsnäs	+49,0%
Kemi	+22,4%
Pori	+3,7%
Sottunga	+12,8%
Siikajoki	+17,2%
Hailuoto	-3,2%

Ilmatieteen laitoksen mukaan Korsnäsin voimaloiden tuotantoennusteiden yliarviointia voi selittää se, että valitun hilan tunniste (ID:28450, kuva 7, Työseloste) sijoittuu enemmän merialueelle kuin rannikolle, jossa laitokset sijaitsevat. Näin ollen arvio on luonnollisesti korkeampi kuin toteutunut tuotanto, koska rannikolla tuulisuus ei ole yhtä häiriötöntä ja voimakasta kuin merialueilla. Valitun hilan voisi siis määrittää ennemmin rannikkoalueen tuulisuuden mukaisesti kuin sijaintitietojen perusteella. (Sähköpostikeskustelu, J. Latikka, Ilmatieteen laitos, 16.5)

Tuuliatlaksesta valittu hila on määritetty laitosten sijaintitietojen mukaan (koordinaatit, Google Maps). Hilan koko oli siis 2,5 x 2,5 km<sup>2</sup>, joten eräästä pisteestä on skaalattu tiedot vastaamaan sen alueen vallitsevaa tuulisuusolosuhdetta. Hilan sijaintitieto voi olla pisteenä keskellä tai vasemmassa yläkulmassa (Paikatieto 2011). Mikäli tämä piste on huomattavasti erillään Korsnäsin laitosten sijainnista, on hyvin mahdollista, että hilan tiedot ovat sijoittuneet merelle. Tästä syystä, kun harkitaan voimalalle sijoituspaikkaa ja sille tehtävää tuotantoarviota Tuuliatlaksen perusteella, olisi suotavaa varmistaa valitun hilan tunnistetiedon sijainti esim. Ilmatieteenlaitokselta.

Kemin ja Sottungan arvioissa on voinut myös tapahtua rosoisuuden aliarviointia, jolloin laitosten tuulisuus WAsP – tiedostosta valittuna on korkeampi kuin todell-



linen, joka vaikuttaa suoraan laitoksen tuotantoon yliarvioivasti. Voimalat olivat sijoitettuina melko metsäiseen maastoon.

On syytä myös ottaa huomioon se, että WAsP – tiedoston tuulisuusarvot ovat luettu 50 m:in korkeudelta ja arvioitavien laitosten napakorkeus oli väliltä 30,5 – 41 m, jolloin tuulen nopeus on voinut olla keskimäärin heikompi laitoksen napakorkeudella.

Siikajoen yliarviointia voi myös selittää se, että hilapisteen tiedot ovat sijoittuneet erilaiseen tarkastelu ympäristöön. Hailuodon laitoksien keskimääräinen ero toteutuneeseen ei ole niin suuri kuin Siikajoen, vaikkakin sijoituspaikat ovat melko lähellä toisiaan, joten hilan tiedot Hailuodon sijainnilla ovat verraten hienan tarkempia. Porin tuotantoarvio ei yliarvioinut yhtä voimakkaasti kuin muilla sijoituspaikoilla.

Mikäli poistetaan Korsnäsin runsas yliarviointi ja valitaan tarkasteltavaksi kaikkien sijoituspaikkojen luvut arvion suhteesta toteutuneeseen, saadaan keskimääräiseksi eroksi n. +10 %. Korsnäsin luku mukaanluettuna saadaan keskimääräiseksi arvoksi n. + 17 %.

### 5.3.1 Herkkyysanalyysi – Atlas arvioiden korkeuskorjaus

Tuotantoarvioista saadut tulokset yliarvioivat tuotantoja osalla laitoksista ja tuulennopeusjakaumat olivat luettu 50 m:in korkeudelta. Jotta saataisiin tulokset vastaamaan napakorkeuden oloja, oli tehtävä tuulennopeuksien keskimääräisille arvoille tuuliprofiilin eksponenttikaavalla ns. korkeuskorjaus. Tuulen profiili-kaava on seuraavanlainen (Tammelin B. 2011, PFR 2010):

$$v = v_{ref} \cdot \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

jossa

$$v = \text{Tuulen nopeus korkeudella } h \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$v_{ref} = \text{Tuulen nopeus korkeudella } h_{ref} \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$\alpha = \text{Tuuliprofiilin eksponentti}$$

Kaavassa esitetty eksponentti voidaan määrittää yleisellä luvulla, mutta tässä tapauksessa, luvut valittiin laitosten maaston rosoisuuden perusteella käyttämällä hyväksi jo aiemmin määritettyjä rosoisuusarvoja maastokuvausten perusteella (Luku 5). Laitoksille valittiin eksponenttiluku taulukosta 10.

Taulukko 10. Eksponentit eri maastotyyppien mukaan (Ray M.L. et al. 2006, 4)

Terrain Description	Power law exponent, $\alpha$
Smooth, hard ground, lake or ocean	0.10
Short grass on untilled ground	0.14
Level country with foot-high grass, occasional tree	0.16
Tall row crops, hedges, a few trees	0.20
Many trees and occasional buildings	0.22 – 0.24
Wooded country – small towns and suburbs	0.28 – 0.30
Urban areas with tall buildings	0.4

Keskimääräiset tuulennopeudet luettiin sijoituspaikkojen WAsP – tiedostoista (Liitteet 3-8). Korjatut tuulennopeusarvot ovat esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 11. Vuotuiset tuulen nopeudet korkeuskorjattuna.

Sijoituspaikka	Tuulennopeus 50 m (m/s)	Napakorkeus (m)	Eksponentti $\alpha$	Tuulennopeus Napakorkeus (m/s)
Korsnäs 1-4	6.85	32.5	0.16	6.39
Kemi 1-3	5.45	35	0.23	5.02
Pori 1	6.5	30.5	0.16	6.01
Sottunga	6.37	31.5	0.23	5.73
Siikajoki Säikkä 1-2	6.44	30.5	0.16	5.95
Hailuoto Huikku	6.65	41	0.14	6.47
Hailuoto Marjaniemi 1-2	6.65	30.5	0.14	6.21
Hailuoto Marjaniemi 3	6.65	36	0.14	6.35

Koska tuulennopeusjakaumaa ei ollut saatavilla napakorkeudelle, oli käytettävä tuulennopeuden keskimääräistä arvoa laskettaessa tuotantoarviota laitoksille. Tuulivoimalaitos pystyy hyödyntämään vain tietyn osan saatavilla olevasta tuulen liike-energiasta tiettyä pinta-alaa kohden, joten vuotuisen keskitehon laskentaa varten selvitettiin laitoksen tehokerroin/hyötysuhde ( $\eta$ ). Hyötysuhde saadaan laskettua jakamalla tehokäyrältä luettu tehoarvo tuulesta saatavalla teholla, eli seuraavalla tavalla (PFC 2008):

$$\eta = \frac{\text{Teho (kW)}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

jossa

*Teho (kW) = Laitoksen tuottama teho tietyllä tuulen nopeudella  $v$*

$$\rho = \text{Ilman tiheys STP – tilassa}^9 \left(1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

*D = Laitoksen roottorin halkaisija*

Tehokerrointa voidaan pitää siis laitoksen hyötysuhteena, jolloin voidaan laskea karkeasti vuotuinen keskiteho hyödyntämällä keskimääräisiä tuulennopeusarvoja ja laitoksen pyyhkäisy pinta-alaa sijoittamalla ne seuraavaan kaavaan:

$$P_{vuosi} = \eta \cdot A \cdot v^3$$

Laskuesimerkki on esitetty liitessä 15. Kaavassa on käytetty painoitettua keskiarvoa tehokertoimesta ja painotus on tehty laitosten käynnistymis- ja nimellistuulennopeuden perusteella. Vuotuiset keskitehot ja painoitettut keskiarvot tehokertoimille on esitetty taulukossa 12.

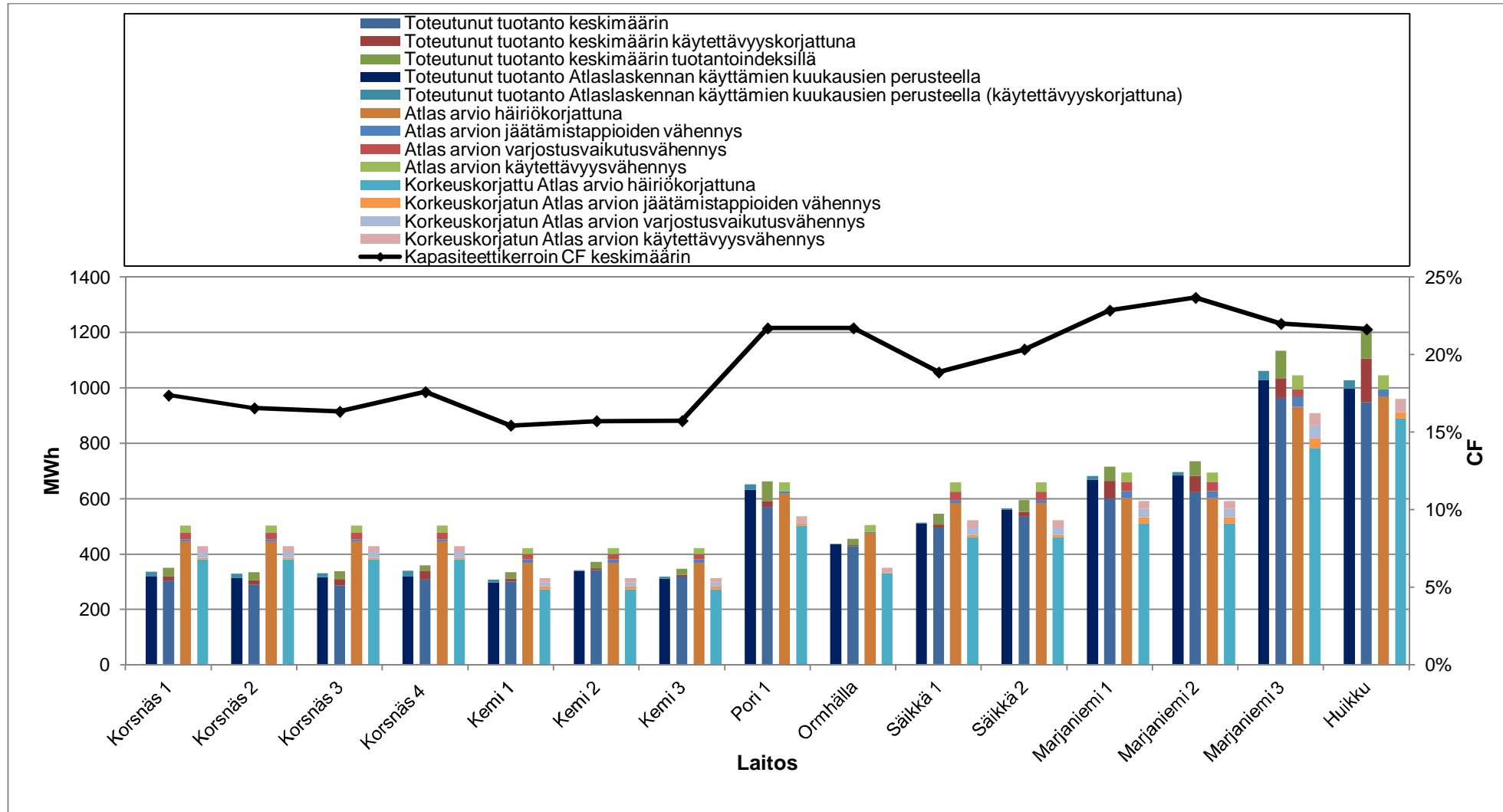
---

<sup>9</sup> STP –tila= Standardilämpötila (15 °C) ja –paine (1 bar)

Taulukko 12. Vuotuiset keskitehot ja tehokertoimet.

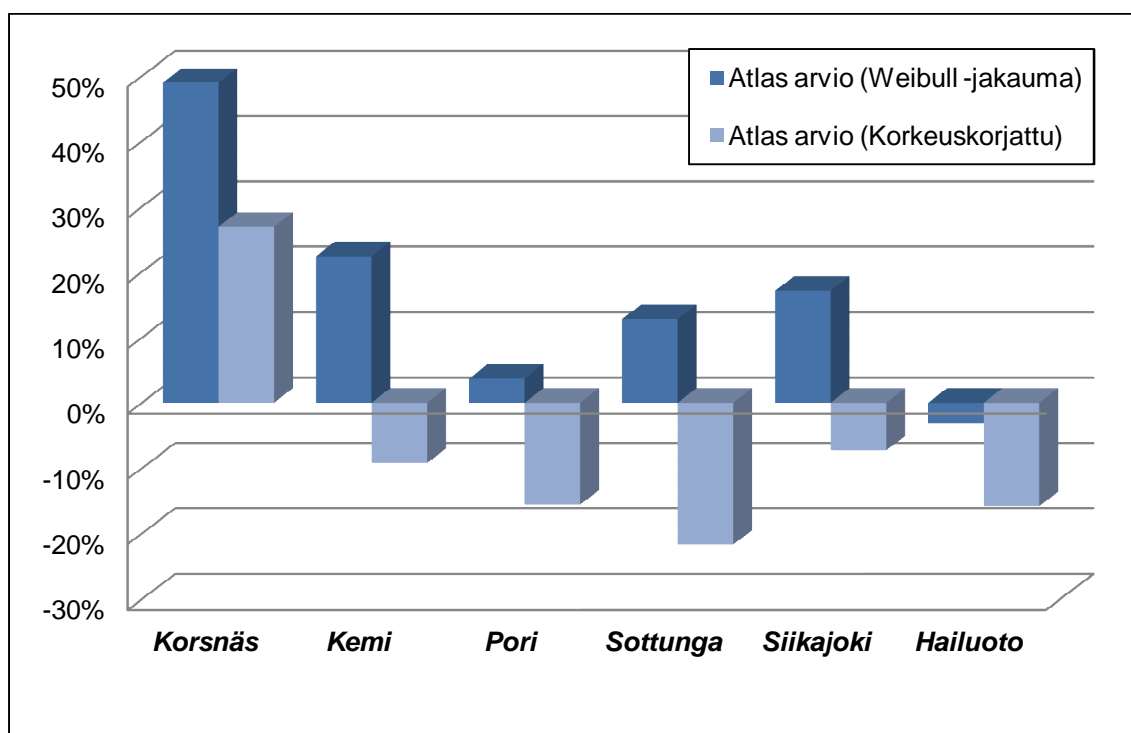
Sijoituspaikka	Keskiteho (kW)	Tehokerroin ( $\eta$ , painoitettu)
Korsnäs 1-4	49.0	0.395
Kemi 1-3	35.8	0.375
Pori 1	61.3	0.375
Sottunga	40.0	0.371
Siikajoki Säikkä 1-2	59.6	0.375
Hailuoto Marjaniemi 1-2	67.6	0.375
Hailuoto Huikku	109.7	0.371
Hailuoto Marjaniemi 3	103.8	0.371

Vuotuinen tuotantoarvio saadaan laskettua kuten edellä eli kertomalla keskiteho vuoden tunneilla. Arvioita on korjattu jäätämistappioarvioilla, käytettävyydellä ja varjovaikutuksella. (luku 5.1) Saadut tulokset on esitetty seuraavalla sivulla kuviossa 17.



Kuvio 17. Toteutuneet tuotannot ja tuotantoarviot. Kuvioon 15 lisätty korkeuskorjattu tuotantoarvio.

Kuviosta voidaan todeta, että korkeuskorjattu tuotantoarvio oli huomattavasti alhaisempi kuin jakaumalta tehty. Korkeuskorjattua arviota verrattiin toteutuneisiin tuotantoihin samalla tavalla, kuten on kuviossa 16 esitetty. Jakaumalta tehty arvion ja korkeuskorjattujen arvioiden erot keskimäärin on havainnollistettu kuviossa 18.



Kuvio 18. Arvioiden erot toteutuneista keskimäärin. Kuviossa esitetty jakaumalta tehty arvio ja korkeuskorjattu arvio. Erot toteutuneista keskimääräisinä. Arvioita verrattu toteutuneisiin bruttona ja nettona.

Kuviosta nähdään, että korkeuskorjatut tulokset jäivät aliarvioimaan tuotantoja kaikkien muiden laitoksien paitsi Korsnäsin osalta. Siikajoen ja Kemin laitoksien arviot laskivat hieman alle -10 %:iin, kun taas Hailuodon, Sottungan sekä Porin tulokset muuttuivat selkeästi aliarvioiviksi yli -15 %:iin.

## 6 YHTEENVETO

Suomessa uusiutuvien energiamuotojen osuutta kokonaistuotannosta pyritään nostamaan 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä ja tuulivoimalla on merkittävä rooli näihin tavoitteisiin pääsyn tukemisessa. Tuuliresurssien tarkastelu on oleellista, kun suunnitellaan tuulivoimalalle optimaalista sijoituspaikkaa ja kun arvioidaan potentiaalista tuotantoa.

Suomessa on tuulivoimalle asetettu tavoitteeksi tuottaa 6 TWh vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteeseen pääseminen edellyttää tuulivoiman nimellistehon lisäämistä 2500 MW:iin ja sen edesauttamiseksi on luotu syöttötariffijärjestelmä. Tuulivoimahankkeita oli vuoden 2012 tammikuussa suunnitteilla n. 7800 MW:n verran, joista 3000 MW oli suunniteltu merelle.

### 6.1 Tuuleen vaikuttavat tekijät

Tuulivoimalat sijaitsevat ilmakehän rajakerroksessa, jossa virtaus on aina turbulenttista. Turbulettisuus riippuu maan pinnan muodoista eli rosoisuudesta, joka määritetään tarkasteltavan ympäristön kasvillisuuden, metsien ja rakennusten yms. perusteella. Maaston rosoisuutta tarkastellaan kun määritetään tuulivoimalalle sijoituspaikkaa ja/tai tuotantoarviota.

Varjostusvaikutus on ominaista tuulipuistoissa, joissa on useampia voimaloita. Tuulen suunta ja voimakkuus häiriintyy pyörivän roottorin edessä ja takana. Varjostusvaikutusta pyritään välttämään sijoittamalla voimalat vallitsevan tuulen suuntaisesti jolloin voimaloiden etäisyys toisistaan tulisi olla vähintään 5–9 roottorin halkaisijan mittaa. Kohtisuorasti välimatkan tulisi olla kolmesta viiteen roottorin halkaisijan mittaa. Varjostusvaikutus aiheuttaa tuulivoimaloille tuotantotappiota keskimäärin n. 5 %.

## 6.2 Tuuliatlas

Suomen Työ- ja Elinkeinoministeriön tilaama Suomen Tuuliatlas on luotu tuuli-voimarakentamisen edistämiseksi. Suomen Tuuliatlas on Internet –pohjainen karttaliittymä, josta voi ladata tuulisuusolosuhteita ja tuotantoarvioita sekä jäätämiseen liittyviä tietoja halutulle alueelle ja eri korkeuksille. Tietoja voi ladata kahdessa eri hilakoossa: 250 x 250 m<sup>2</sup> ja 2,5 x 2,5 km<sup>2</sup>. Mallinnuksessa on pyritty luomaan mahdollisimman edustava kuvaus Suomen pitkän ajan keskimääräisistä tuulisuusoloista. Mallinnuksen ajanjaksoksi valittiin vuosiväli 1989–2007 ja jokaiselle kalenterikuukaudelle määritettiin neljän eri vuoden arvot vastamaan kyseisen kuukauden keskimääräistä tuulisuutta, joiden lisäksi jokaiselle kuukaudelle määritettiin kova- ja heikkotuulin referenssivuosi, yhteensä siis 72 kuukautta.

Säänennustusmallit pyrkivät ennustamaan erilaisia säätiloja matemaattisten yhtälöiden avulla, jotka mukailevat säänkehitystä. Laskentakapasiteettia tarvitaan runsaasti, joten tähän tarkoitukseen on käytetty Ilmatieteenlaitoksen ja Risø DTU:n supertietokoneita. Tuuliatlaksen säänennustusmalleina käytettiin kolmea eri menetelmää: IFS, AROME ja HIRLAM.

WASP tuulimallilla voidaan määrittää rajatun alueen tuuliolosuhteita, tuulienergiapotentiaalia ja voimaloiden vuosituottoja. Ohjelma on kehitetty Risø DTU:n toimesta ja Tuuliatlaksesta on ladattavissa Lib – tiedosto, josta voidaan lukea kohteelle tuulen nopeuden keskiarvoja ja tuulen energiasisältöä sekä määrittää voimalalle tuotantoarvio. WASP – mallissa on maaston muutokset ja esteet otettu huomioon mallintamalla ne rosoisuusluokkiin. Rosoisuusluokissa tuuli käytäytyy eri tavoin. Sijituspaikkoja lähimpänä olevista hilapisteistä on luettu tuulisuusarvot työssä tehtyihin tuotantoarvioihin.

Suomen kylmiin oloihin soveltuva Jäätämisatlas on mallinnettu käyttäen hyväksi AROME -mallin arvoja. Jäätämisatlas on integroitu Tuuliatlas -karttasovellukseen. Tietoja voi ladata taulukkomuodossa, josta voi lukea arvoja aktiiviselle ja passiiviselle jäätämiselle sekä jäätymisestä aiheutuville tuotantotappioille. Jään kertyminen tuuli voimalan lapoihin muuttaa lavan aerodynamiik-



kaa ja siitä aiheutuu tehohäviöitä, jotka heijastuvat suoraan tuotannon heikkenemiseen. Kertymät on jaettu kolmeen kategoriaan: alkavaan, pieneen ja kohtalaiseen. Jäätymistä voi estää esim. asentamalla lapalämmitysjärjestelmä, joka vie tuotetusta sähköstä pienen osan, mutta voi pidentää vuotuista käyttöaika ja lisätä tuotantoa huomattavasti.

### 6.3 Tilastot

Suomessa on pidetty tuotantotilastoja vuodesta 1992 lähtien. VTT on koonnut tuotanto- ja vikatilastot sekä Ilmatieteenlaitoksen tuotantoindeksit tietokantaan vuodesta 1996 alkaen. Tilastointiin osallistuvat verkkoonkytketyt yli 70 kW:n voimalat. Laitoksista tilastoidaan vuosi- ja kuukausitasolta tuotanto- ja vikatilastoja. Voimaloista tilastoidaan myös tekniset tiedot ja sijainnit.

Tuuliatlasarviointiin valitut laitokset olivat vanhempia ja samalla pienemmän kokoluokan (kW) laitoksia, johtuen Tuuliatlaksen simuloinnin ajankohdasta. Laitoksia valittiin 15 kappaletta kuudelta eri sijoituspaikalta.

Tuulivoimalan tuotannon katkoksiin voidaan lukea vuosihuollot, keskeytykset, sähköverkon ja lämpötilan aiheuttamat katkokset sekä mekaaniset häiriöt. Häiriöaikoja tilastoidaan niiden kestona, eli h/kk/vuosi. Vikatilastoista voidaan selvittää laitoksen tekninen käytettävyys, joka kuvaa sitä kuinka suuren ajan laitos on teknisesti toiminnassa tai toimintavalmis. Koko kuukauden/vuoden tuntimäärästä vähennetään häiriön tai vian takia aiheutunut seisokkiaika.

### 6.4 Tuuliatlas arviot ja niiden vertailu toteutuneisiin tuotantoihin

Tuuliatlasvertailuun valituille laitoksille tehtiin tuotantoarviot Tuuliatlas – karttaliittymästä saatavasta Lib – tiedostosta, josta voidaan lukea halutulle kohteelle tuulenopeuksien frekvenssejä Weibull -jakaumalta. Laitoksien keskiteho laskettiin näistä tiedoista, jonka avulla saatiin määritettyä laitoksille keskimääräinen vuosituotanto bruttona. Tuotantoa vähentäviksi tekijöiksi oletettiin käytettävyyshäviöksi 5 % ja tuulipuistoille varjostusvaikutushäviöksi 5 %. Jäätämislak-

sesta sai vastaavasti arvion jäätyksen aiheuttamalle tuotantotappiolle. Vähentämällä häviöt saatiin tuotannolle määritettyä nettoarvo.

Työhön valittujen laitoksien toteutuneita tuotantoja ja käytettävyyksiä tarkasteltiin pitkiltä vuosiväleiltä, jotta saatiin määritettyä mahdollisimman edustava pitkän ajan keskimääräinen tuotanto. Tuuliatlasarviointiin osallistuvien laitosten tuotantoja ja vikatilastoja tarkasteltiin yhteensä 262 tuotantovuodelta. Tuuliatlasarviointiin osallistuneiden laitosten tuotantoja tarkasteltiin myös kuukausitasolta, jotta saataisiin toteutuneita tuotantoja Tuuliatlakseen simuloitujen vuosien kuukausilta. Lopuksi kuukausituotot summattiin yhteen, jotka siten muodostivat keskimääräisen vuosituotannon Atlaslaskennan ajalle. Kaikista Tuuliatlakseen mallinnettujen vuosien kuukausista ei ollut saatavilla tuotantotietoja, joten arvot korvattiin pitkän aikavälin keskimääräisellä arvolla ko. kuukaudelta. Ilmatieteen laitoksen mukaan korvattavan vuoden kuukausi on saattanut olla erittäin tuulinen, jolloin tuotanto olisi esim. voinut olla korkeampi, jolloin korvaavuus keskimääräisellä arvolla ei välttämättä vastaa potentiaalista tuotantoa, lopputuloksissa tämä ei merkittävästi kuitenkaan näy.

Tuuliatlasarvioita verrattiin toteutuneisiin tuotantoihin eri tavoin. Tuuliatlasvertailun laitoksista parhaimmat tuotantopaikat ovat Hailuodon, Porin ja Ahvenanmaan Sottungan alueilla. Tuotantoarvioissa osoittautui yliarviointia, kun tuloksia verrattiin toteutuneisiin tuotantoihin. Korsnäsin laitoksien tuotantoarviot yliarvioivat melko paljon, mutta Ilmatieteen laitoksen mukaan hilan tunniste oli ollut liian merellinen, jolloin tuulusuus ei vastaa laitoksien sijainnin todellisia arvoja ja näin ollen se luonnollisesti yliarvioi tuotantoja. Vähiten eroa toteutuneista arvioista oli Hailuodon ja Porin laitoksilla. Tuuliatlasarvion vertailun tulokset on kuvattu taulukossa 13.

Taulukko 13. Tuotantoarviot ja erot toteuneisiin tuotantoihin

Sijointipaikka	Nimellisteho (kW)	Tuotantoarvio (MWh)		Ero
		$E_{br.}$	$E_n.$	
Korsnäs	200	500	443	+49,0%
Kemi	300	423	367	+22,4%
Siikajoki	300	657	580	+17,2%
Sottunga	225	501	473	+12,8%
Pori	300	659	618	+3,7%
Hailuoto	300	695	599	-3,2%
Hailuoto	500	1046	968	

Yliarviointia tapahtui keskimäärin n.10 %, mikäli ei oteta Korsnäs arvioita huomioon, muuten 17 %.

Tässä työssä käytetyn lisensoimattoman WAsP – ohjelmaversioon avulla voi lukea tuulen nopeusjakaumia ainoastaan tietyille korkeuksille. Koska jakaumaa ei ollut saatavilla laitosten napakorkeuksille, oli tehtävä tuotantoarvio karkeasti laskemalla se hyödyntäen vain korkeuskorjattuja arvoja tuulennopeuksille. Tuulen profiikaavassa on hyödynnetty eri maaston mukaan vaihtelevia eksponentteja. Taulukossa 14 on kuvattu 50 m korkeudelta tehtyjen arvioiden ja korkeuskorjattujen arvioiden erot toteutuneisiin tuotantoihin.

Taulukko 14. Korkeuden vaikutus tuotantoarvioihin.

Sijointipaikka	Atlas arvio (Weibull-jakauma)	Atlas arvio (Korkeuskorjattu)
Korsnäs	+49.0%	+27.0%
Kemi	+22.4%	-9.2%
Siikajoki	+17.2%	-7.3%
Sottunga	+12.8%	-21.7%
Pori	+3.7%	-15.6%
Hailuoto	-3.2%	-15.8%

Korkeudella on vaikutus tuotantoarvioihin, joka voi selittää Tuuliatlakselta tehtyjen tuotantoarvioiden yliarviointia. Arviot paranivat Siikajoen ja Kemin laitosten kohdalla, mutta jäivät silti yliarvioimaan Korsnäs kohdalla. Porin, Hailuodon ja

Sottungan voimaloiden arviot muuttuivat kuitenkin huomattavan aliarvioiviksi. Toisaalta alkuperäinen arvio osui melko kohdalleen Porin ja Hailuodon laitoksilla, jolloin jakauma on vastannut melko tarkasti vallitsevia tuulisuusoloja napakorkeudella. On hyvä myös pitää mielessä, että tuotantoarvioiden tulokset ovat hyvin karkeita, silloin kun laskeminen suoritetaan käyttämällä keskimääräisiä tuulen nopeuksia.

Yliarviointia voi siis selittää seuraavat asiat:

- Tuulisuusarvojen lukeminen 50 m korkeudelta
- Hilan tietojen pisteen sijainti on huomattavasti erillään laitoksen/laitosten sijainnista

Hilan tunnisteen sijainnin voisi esim. varmistaa Ilmatieteenlaitokselta, jolloin voidaan välttää tuotantoarvioiden runsas yliarviointi (Korsnäs) tai mahdollisesti valita 2-4 hilapistettä sijoituspaikan ympäriltä.

## LÄHTEET

Valtiovarainministeriö 2012. Eurooppa 2020 –strategia. Viitattu 8.7.2012. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/nd/nrp2012\\_finland\\_fi.pdf](http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/nd/nrp2012_finland_fi.pdf), ISBN 978-952-251-340-3.

Motiva Oy 2009. Tuulivoiman tietopaketti. Viitattu 20.4.2012. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/> > Mitä tuuli on? > Geostrofinen tuuli

Motiva Oy 2009. Tuulivoiman tietopaketti. Viitattu 19.4.2012. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/> > Mitä tuuli on?

Motiva Oy julkaisu 1999. Tuulivoiman projektiopas. Viitattu 18.4.2012. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/228/tuulivoimanprojektiopas.pdf>. ISBN 952-5304-04-3.

Tekniikka tutuksi Suomen Tuulienergia – FWT Oy. 2011 . Viitattu 18.4.2012. Saatavissa: <http://www.suomentuulienergia.fi/> > Tekniikka tutuksi

Ragheb, M 2012. Orography and wind turbine siting. Viitattu 15.6.2012. Saatavissa: <https://netfiles.uiuc.edu/mragheb/www/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Orography%20and%20Wind%20Turbine%20Siting.pdf>

Tuulivoima. Motiva Oy:n verkkosivut 2012. Viitattu 16.6.2012. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/Toimialueet> > [Uusiutuva energia](#) > [Tuulivoima](#)

Syöttötariffi. Motiva Oy:n verkkosivut 2012. Viitattu 16.6.2012. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/Toimialueet> > [Uusiutuva energia](#) > [Uusiutuvan](#) energian tuet > Syöttötariffi

Tuulivoimahankkeet/Hankelista. SuomenTuulivoimayhdistys ry:n verkkosivut ja excel -tiedosto 2012. Viitattu 5.7.2012. Saatavissa: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/> > Teollinen tuulivoima > Tuulivoimahankkeet Suomessa

Merituulivoima. WDP Finland Oy:n verkkosivut 2012. Viitattu 5.7.2012. Saatavissa: <http://www.wpd-finland.com/fi/> > Tuulivoimaprojektit > Merituulivoima > li – Suurhiekkä

Työ- ja elinkeinoministeriö 2009a. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 20.4.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulisuus Suomessa

Työ- ja elinkeinoministeriö 2009b. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 20.4.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulisuus Suomessa > Rajakerros

Työ- ja elinkeinoministeriö 2009c. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 24.4.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulivoima

Työ- ja elinkeinoministeriö 2009d. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 18.4.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuuliatlaksen toteuttajat

Työ- ja elinkeinoministeriö 2009e. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 14.5.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuuliatlaksen mallinnus > Tuuliatlaksen ajallinen edustavuus

Työ- ja elinkeinoministeriö 2009f. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 14.5.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuuliatlaksen mallinnus > Simuloidun jakson valinta

Työ- ja elinkeinoministeriö 2009g. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 15.5.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuuliatlaksen mallinnus

- Työ- ja elinkeinoministeriö 2009h. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 18.5.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulen keskinopeuskartat
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2009i. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 20.5.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuuliatlaksen mallinnus > Säämallit
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2009j. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 16.5.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuuliatlaksen mallinnus > WAsP -malli
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2009k. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 25.5.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Jäätämisaatlas
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2009l. Suomen Tuuliatlas. Viitattu 25.5.2012. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/> > Jäätämisaatlas > Tuotantotappiot
- Risø DTU 2010. WAsP -ohjelman kotisivut. Viitattu 16.5.2012. Saatavissa: <http://www.wasp.dk> > WAsP Products > Wind Power Potential
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2010. Suomen Tuuliatlas, Yhteenvetoraportti. Viitattu 18.4.2012. Saatavissa: [http://www.tuuliatlas.fi/linked/fi/Tuuliatlas\\_yhteenvetoraportti.pdf](http://www.tuuliatlas.fi/linked/fi/Tuuliatlas_yhteenvetoraportti.pdf)
- Holtinen, H & Stenberg, A 2011. Tuulivoiman tuotantotilastot. VTT. Viitattu 26.5.2012. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W178.pdf> ISBN 978-951-38-7520-6
- VTT 2012. Suomen tuulivoimatilastojen kotisivut. Viitattu 30.6.2012. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/proj/windenergystatistics/>
- Milborrow, D 2010. Breaking down the cost of wind turbine maintenance. Wind Power Monthly 06/2010. Viitattu 15.6.2012. Saatavissa: <http://www.windpowermonthly.com/news/1010136/Breaking-down-cost-wind-turbine-maintenance/>
- Paikkatieto 2011. Wikipedia. Viitattu 15.7.2011 <http://fi.wikipedia.org/wiki/Paikkatieto>.
- Van de Wekken, T 2007. Leonardo ENERGY, Power Quality and Utilisation Guide. Distributed Generation and Renewables 8.5.1 Wind Farm Case Study. Viitattu 15.4.2012. Saatavissa: <http://www.copperinfo.co.uk/power-quality/downloads/pqug/851-wind-farm-case-study.pdf>
- Partnerships for Renewables (PFR) 2010. Appendix 8.6, Wind Speed Calculations. Viitattu 20.8.2012. Saatavissa: <http://www.pfr.co.uk/documents/Appendix%208.6%20Wind%20Speed%20Calculations.pdf>
- Tammelin, B 2011. Wind Energy Related Meteorology. TKK Kurssimateriaali 23.9.2011. Viitattu 20.8.2012.
- PelaFlow Consulting (PFC) 2008. Wind Power Program. Turbine Characteristics. Viitattu 18.8.2012. Saatavissa: <http://www.wind-power-program.com> > Wind Turbine Characteristics
- M.L. Ray, A.L. Rogers, J.G. McGowan 2006. Analysis of wind shear models and trends in different terrains. Viitattu 22.8.2012. Saatavissa: <http://www.ceere.org/rerl/publications/published/2006/AWEA%202006%20Wind%20Shear.pdf>
- Kuva 1. <http://www.tuulivoimatieto.fi/> > Mitä tuuli on?
- Kuva 2. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulisuus Suomessa > Mitä tuuli on?
- Kuva 3. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulisuus Suomessa
- Kuva 4. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulisuus Suomessa > Rajakerros
- Kuva 5. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulivoima

- Kuva 6. Tuulivoiman projektiopas. 1999. 78
- Kuva 7. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuulivoima
- Kuva 8. Ragheb, M 2012. Orography and wind turbine siting. 6
- Kuva 9. <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/> > Teollinen tuulivoima > Tuulivoimahankkeet Suomessa
- Kuva 10. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuuliatlaksen mallinnus > Simuloidun jakson valinta
- Kuva 11. Tammelin, B *et al.* 2011. The Production of The Finnish Wind Atlas. 13. Saatavissa: <http://www.wileyonlinelibrary.com>, DOI: 10.1002/we.517.
- Kuva 12. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Tuuliatlaksen mallinnus
- Kuva 13. Kuvakaappaus WAsP -ohjelmasta
- Kuva 14. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Jäätämisaatlas > jääkertymätapauksia
- Kuva 15. <http://www.tuuliatlas.fi/> > Jäätämisaatlas > heikentämät tehokäyrät
- Kuva 16. <http://www.vtt.fi/proj/windenergystatistics/> > Tuulivoima Suomessa
- Kuva 17. <http://www.vtt.fi/proj/windenergystatistics/> > Tuulivoimalaitokset Suomessa
- Kuva 18. Holttinen & Stenberg 2011. Tuulivoiman tuotantotilastot. 39.
- Kuva 19. <http://www.windpowermonthly.com/news/1010136/Breaking-down-cost-wind-turbine-maintenance/> > Planned maintenance
- Kuva 20. <http://www.vtt.fi/files/projects/windenergystatistics/lowres/korsnas.jpg>
- Kuva 21. <http://www.vtt.fi/files/projects/windenergystatistics/lowres/ajos.jpg>
- Kuva 22. Google Earth -sovellus
- Kuva 23. Jaanoz. Panoramio 2011. Viitattu 5.6.2012. Saatavissa: <http://www.panoramio.com/photo/50237396>
- Kuva 24. Pekkala, T. Panoramio 2007. Viitattu 7.6.2012. Saatavissa: <http://www.panoramio.com/photo/840245>
- Kuva 25. Jaanoz. Panoramio 2010. Viitattu 5.6.2012. Saatavissa: <http://www.panoramio.com/photo/31662108?tag=Hailuoto>
- Kuva 26. <http://www.vtt.fi/files/projects/windenergystatistics/lowres/hailuoto.jpg>

# Liite 1. Suomen tuulivoimalaitokset

Suomen tuulivoimalaitosten tiedot. Tilastoituna laitoskohtaisesti sijainnit, käyttöönotto- ja lopetuspäivämäärät, laitoksen tyyppi, roottorin halkaisija (m) ja nimellisteho (kW) sekä napakorkeus (m).

Nimi	Kunta	Sijointipaikka	Aloituspvm	Lopetus pvm	Nimellisteho (kW)	Roottorin koko (D,m)	Valmistaja	Tyyppi	Napakorkeus (m)	LAT	LON
Koppamäs	Inko	Koppamäs	11.1986	31.12.1994	300	31	DWT		32,00		
Pajlasselkä	Enontekiö	Pajlasselkä	02.1991	29.8.2002	65	20	Nordtank		26,00		
Pyhänturi	Pelkosenniemi	Pyhänturi	10.1993	3.9.2001	220	25	Windworld		31,00		
Sandö 2	Hanko	Sandö	09.2004		2000	70	Enercon	E-66	65,00	59,88	23,1
Sandö 1	Hanko	Sandö	09.2004		2000	70	Enercon	E-66	65,00	59,88	23,1
Sandö 3	Hanko	Sandö	09.2004		2000	70	Enercon	E-66	65,00	59,88	23,1
Sandö 4	Hanko	Sandö	09.2004		2000	70	Enercon	E-66	65,00	59,88	23,1
Kökar 1	Kökar	Kökar	10.1997		500	40,3	Enercon	E-40	44,00	59,92	20,91
Högsåra 1	Dragsfjärd	Högsåra	09.2007		2000	70,7	Harakosan	Z72	65,00	59,95	22,34
Högsåra 2	Dragsfjärd	Högsåra	08.2007		2000	70,7	Harakosan	Z72	65,00	59,95	22,34
Högsåra 3	Dragsfjärd	Högsåra	09.2007		2000	70,7	Harakosan	Z72	65,00	59,95	22,34
Båtskärs 6	Lemland	Nyhamn Båtskärs	09.2007		2300	71	Enercon	E-70	64,00	59,9644444	19,95306
Båtskärs 2	Lemland	Nyhamn Båtskärs	08.2007		2300	71	Enercon	E-70	64,00	59,9644444	19,95306
Båtskärs 5	Lemland	Nyhamn Båtskärs	09.2007		2300	71	Enercon	E-70	64,00	59,9644444	19,95306
Båtskärs 3	Lemland	Nyhamn Båtskärs	08.2007		2300	71	Enercon	E-70	64,00	59,9644444	19,95306
Båtskärs 4	Lemland	Nyhamn Båtskärs	07.2007		2300	71	Enercon	E-70	64,00	59,9644444	19,95306
Båtskärs 1	Lemland	Nyhamn Båtskärs	08.2007		2300	71	Enercon	E-70	64,00	59,9644444	19,95306
Barö 1	Inko	Barö Sund	09.2004	16.11.2005	2000	70	Enercon	E-66	65,00	59,984486	23,85
Barö 2	Inko	Barö Sund	09.2004	16.11.2005	2000	70	Enercon	E-66	65,00	59,984486	23,85
Barö 3	Inko	Barö Sund	09.2004		2000	70	Enercon	E-66	65,00	59,984486	23,85
Brättö	Föglö	Brättö	09.1999		600	45	Enercon	E-40/600	65,00	59,9333333	20,315
Knutsboda 2	Lemland	Knutsboda	11.1997		600	44	Vestas	V44	45,00	60,079167	20,02778
Knutsboda 4	Lemland	Knutsboda	11.1997		600	44	Vestas	V44	50,00	60,079167	20,02778
Knutsboda 1	Lemland	Knutsboda	11.1997		600	44	Vestas	V44	45,00	60,079167	20,02778
Knutsboda 3	Lemland	Knutsboda	11.1997		600	44	Vestas	V44	45,00	60,079167	20,02778
Lumparland 2	Lumparland	Krogstad	08.2003		600	45	Enercon	E-40/600	65,00	60,105	20,24778
Lumparland 1	Lumparland	Krogstad	08.2003		600	45	Enercon	E-40/600	65,00	60,105	20,24778
Huikku	Hailuoto	Huikku	06.1995		37,3	30	Nordtank	500/37	41,00	65,04	25,07
Kasberget	Sottunga	Sottunga	01.2005		660	47	Vestas	V47	55,00	60,11495	20,67807
Bredvik	Eckerö	Bredvik	07.2004		225	29	Vestas	V29	35,00	60,1817778	19,52929
Mellanön	Eckerö	Eckerö	08.1995		500	39	Vestas	V39	40,50	60,219722	19,64361
Vårdö 1	Vårdö	Listersby	09.1998		500	40,3	Enercon	E-40	55,00	60,225566	20,4
Pettböle 3	Finström	Pettböle	10.1999		600	45	Enercon	E-40/600	65,00	60,3625	19,98333
Pettböle 2	Finström	Pettböle	10.1998		500	40,3	Enercon	E-40	55,00	60,3625	19,98333
Pettböle 1	Finström	Pettböle	10.1998		500	40,3	Enercon	E-40	55,00	60,3625	19,98333
Kotka 2	Kotka	Mussalo	09.1999		1000	54	Siemens		60,00	60,416667	26,91389
Kotka 1	Kotka	Mussalo	09.1999		1000	54	Siemens		60,00	60,416667	26,91389
Summa 2	Hamina	Summan tehdasalue	08.2010		3000	100	WinWind	WWD3	100,00	60,5356	27,1144
Summa 3	Hamina	Summan tehdasalue	08.2010		3000	100	WinWind	WWD3	100,00	60,5356	27,1144
Summa 4	Hamina	Summan tehdasalue	08.2010		3000	100	WinWind	WWD3	100,00	60,5356	27,1144
Summa 1	Hamina	Summan tehdasalue	08.2010		3000	100	WinWind	WWD3	100,00	60,5356	27,1144
Hankosaari 1	Uusikaupunki	Hankosaari	10.1999		1300	60	Nordex	N60/1300	69,00	60,789453	21,33736
Hankosaari 2	Uusikaupunki	Hankosaari	10.1999		1300	60	Nordex	N60/1300	69,00	60,789453	21,33736
Krisantie	Eurajoki	Krisantie	12.2005		250	30	NEGMicon		36,00	61,1	21,4
Okiluoto TU-1	Eurajoki	Okiluoto	10.2004		1000	56	WinWind	WWD1	60,00	61,24	21,46
Huittinen 1	Huittinen	Huittinen	03.2003		75	20	Nordtank		40,00	61,303	22,7042
Marjamaenvuori	Äetsä	Kiviniementie	09.2005		225	29	Vestas	V29	52,00	61,5	22,66667
Koppelo	Vammala	Suodenniemi	12.2004		225	29	Vestas	V29	50,00	61,53645	22,78064
Kemi 1	Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010	300	31	Nordtank	300/31	35,00	65,67	24,50
Meri-Pori 5	Pori	Reposaari	06.1999		1000	54	Siemens		50,00	61,601389	21,45806
Meri-Pori 4	Pori	Reposaaren pengertie	06.1999		1000	54	Siemens		60,00	61,6081222	21,52007
Meri-Pori 3	Pori	Reposaaren pengertie	06.1999		1000	54	Siemens		60,00	61,6081222	21,52007
Meri-Pori 2	Pori	Reposaaren pengertie	06.1999		1000	54	Siemens		60,00	61,6081222	21,52007
Meri-Pori 1	Pori	Reposaaren pengertie	06.1999		1000	54	Siemens		60,00	61,6081222	21,52007
Hilskansaari	Pori	Reposaaren pengertie	07.2007		1000	64	WinWind	WWD1	70,00	61,6081222	21,52007
Kristiina T1	Kristiinankaupunki	Karhusaari	12.2003		1000	56	WinWind	WWD1	66,00	62,26	21,31
Meri-Pori 6	Pori	Tahkoluoto Bonus	06.1999		1000	54	Siemens		50,00	61,6334583	21,38347
Meri-Pori 7	Pori	Tahkoluoto Bonus	06.1999		1000	54	Siemens		50,00	61,6334583	21,38347
Meri-Pori 8	Pori	Tahkoluoto Bonus	06.1999		1000	54	Siemens		50,00	61,6334583	21,38347
Meri-Pori 10	Pori	Tahkoluoto WinWind	06.2006		3000	90	WinWind	WWD3	90,00	61,6370861	21,39811
Pori Offshore 1	Pori	Tahkoluoto Offshore	07.2010		2300	101	Siemens	SWT-2.3-	80,00	61,6370861	21,39811
Meri-Pori 11	Pori	Tahkoluoto WinWind	10.2009		3000	100	WinWind	WWD3	100,00	61,6370861	21,39811
Kristiina T2	Kristiinankaupunki	Karhusaari	12.2003		1000	56	WinWind	WWD1	66,00	62,26	21,31
Kristiina T3	Kristiinankaupunki	Karhusaari	12.2003		1000	56	WinWind	WWD1	66,00	62,26	21,31
Meri-Pori 9	Pori	Tahkoluoto Bonus	07.2002		2000	76	Siemens		80,00	61,63	21,38
Oskata 1	Närpiö	Oskata	09.1999		750	48	NEGMicon	NM750/48	45,00	62,47444	21,14028
Vaasantie	Jalasjärvi	Jalasjärvi	07.2003		220	25	Windworld		31,00	62,5	22,8
Riihontie 1	Töysä	Riihontie	06.2009		600	43	NEGMicon	NM600/43	50,00	62,61	23,787
Kemi 2	Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010	300	31	Nordtank	300/31	35,00	65,67	24,50
Kemi 3	Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010	300	31	Nordtank	300/31	35,00	65,67	24,50
Korsnäs 1	Korsnäs	Korsnäs Bredskäret	11.1991		200	24,6	Nordtank	200 F	32,50	62,93	21,19
Korsnäs 2	Korsnäs	Korsnäs Bredskäret	11.1991		200	24,6	Nordtank	200 F	32,50	62,93	21,19
Vuorensyrjänka	Kauhava	Vuorensyrjänkallio	06.2010	1.12.2010	250	26	NEGMicon	M530	30,00	63,062	23,297
Vuorensyrjänka	Kauhava	Vuorensyrjänkallio	06.2010	1.12.2010	250	26	NEGMicon	M530	30,00	63,062	23,297
Fränsviken 1	Luoto	Fränsviken	06.2006		1000	64	WinWind	WWD1	66,00	63,807944	22,78518
Kokkola T1	Kokkola	Kokkola syväsatama	06.2003		1000	56	WinWind	WWD1	66,00	63,868736	23,03091
Kokkola T2	Kokkola	Kokkola syväsatama	06.2003		1000	56	WinWind	WWD1	66,00	63,868736	23,03091
Rahja 2	Kalajoki	Rahja	04.1993	31.10.2006	300	31	Nordtank		30,50	64,226389	23,71389
Rahja 1	Kalajoki	Rahja	04.1993	31.10.2006	300	31	Nordtank		30,50	64,226389	23,71389
Raaha 3	Raaha	Kujunniemi	06.2004		2300	82,4	Siemens		80,00	64,632091	24,39209
Raaha 2	Raaha	Kujunniemi	06.2004		2300	82,4	Siemens		80,00	64,632091	24,39209
Raaha 1	Raaha	Kujunniemi	06.2004		2300	82,4	Siemens		80,00	64,632091	24,39209
Raaha 5	Raaha	Kujunniemi	06.2004		2300	82,4	Siemens		80,00	64,632091	24,39209
Raaha 6	Raaha	Kujunniemi	06.2010		2300	101	Siemens	SWT-2.3-	80,00	64,632091	24,39209
Raaha 7	Raaha	Kujunniemi	06.2010		2300	101	Siemens	SWT-2.3-	80,00	64,632091	24,39209
Raaha 8	Raaha	Kujunniemi	06.2010		2300	101	Siemens	SWT-2.3-	80,00	64,632091	24,39209
Raaha 9	Raaha	Kujunniemi	06.2010		2300	101	Siemens	SWT-2.3-	80,00	64,632091	24,39209
Raaha 4	Raaha	Kujunniemi	06.2004		2300	82,4	Siemens		80,00	64,632091	24,39209
Tauvo 2	Sitkajoki	Tauvonniemi	04.1997		600	43	Nordtank		49,00	64,807652	24,54714
Tauvo 1	Sitkajoki	Tauvonniemi	04.1997		600	43	Nordtank		49,00	64,807652	24,54714
Korsnäs 3	Korsnäs	Korsnäs Bredskäret	11.1991		200	24,6	Nordtank	200 F	32,50	62,93	21,19
Korsnäs 4	Korsnäs	Korsnäs Bredskäret	11.1991	6.7.2009	200	24,6	Nordtank	200 F	32,50	62,93	21,19
Routunkari	Lumioki	Routunkari	03.1999		660	47	Vestas	V47	50,00	64,9283333	25,09556



Nimi	Kunta	Sijituspaikka	Aloitus pvm	Lopetus pvm	Nimellisteho (kW)	Rootorin koko (D,m)	Valmistaja	Tyyppi	Napakorkeus (m)	LAT	LON
Riutunkari T1	Oulunsalo	Riutunkari	02.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,01	25,20
Riutunkari T2	Oulunsalo	Riutunkari	02.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,01	25,20
Riutunkari T3	Oulunsalo	Riutunkari	08.1999		1300	60	Nordex	N60/1300	65,00	65,01	25,20
Riutunkari T4	Oulunsalo	Riutunkari	08.2003		1000	56	WirWinD	WWD1	66,00	65,01	25,20
Riutunkari T5	Oulunsalo	Riutunkari	08.2003		1000	56	WirWinD	WWD1	66,00	65,01	25,20
Riutunkari T6	Oulunsalo	Riutunkari	08.2003		1000	56	WirWinD	WWD1	66,00	65,01	25,20
Vihreäsaari T2	Oulu	Vihreäsaari	12.2004		3000	90	WirWinD	WWD3	90,00	65,0085556	25,40111
Vihreäsaari T1	Oulu	Vihreäsaari	09.2001		1000	60	WirWinD	WWD1	56,00	65,0085556	25,40111
Marjaniemi 1	Hailuoto	Marjaniemi	10.1993		300	31	Nordtank	300/31	30,50	65,04	24,56
Marjaniemi 2	Hailuoto	Marjaniemi	10.1993		300	31	Nordtank	300/31	30,50	65,04	24,56
Marjaniemi 3	Hailuoto	Marjaniemi	04.1995		500	37,3	Nordtank	300/31	36,00	65,04	24,56
Ormhalla	Sottunga	Sottunga	01.1992	10.8.2010	225	27	Vestas	V27-225	31,50	60,11	20,68
Laitakari 1	Ii	Laitakari	01.1997		500	37,3	Nordtank		39,00	65,4101306	25,26344
Laitakari 2	Ii	Laitakari	02.2009		1000	64	WirWinD	WWD1	70,00	65,4101306	25,26344
Kuivamatala 2	Kuivaniemi	Kuivamatala	10.1998		750	44	NEGMicon	NM750/44	50,00	65,544841	25,11994
Kuivamatala 1	Kuivaniemi	Kuivamatala	10.1998		750	44	NEGMicon	NM750/44	50,00	65,544841	25,11994
Kuivamatala 3	Kuivaniemi	Kuivamatala	10.1998		750	44	NEGMicon	NM750/44	50,00	65,544841	25,11994
Vatunki 3	Kuivaniemi	Vatunqinnokka	11.1999		750	48	NEGMicon	NM750/48	50,00	65,5524278	25,12636
Vatunki 5	Kuivaniemi	Vatunqinnokka	11.1999		750	48	NEGMicon	NM750/48	50,00	65,5524278	25,12636
Vatunki 6	Kuivaniemi	Vatunqinnokka	12.2002		2000	80	Vestas	V80	78,00	65,5524278	25,12636
Vatunki 1	Kuivaniemi	Vatunqinnokka	08.1995		500	37,3	Nordtank		36,00	65,5524278	25,12636
Vatunki 2	Kuivaniemi	Vatunqinnokka	11.1999		750	48	NEGMicon	NM750/48	50,00	65,5524278	25,12636
Ajos 1	Kemi	Kemi Ajos	12.2005		3000	90	WirWinD	WWD3	90,00	65,6554278	24,54303
Ajos T9	Kemi	Kemi Ajos	12.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T7	Kemi	Kemi Ajos	02.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T6	Kemi	Kemi Ajos	02.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T5	Kemi	Kemi Ajos	10.2007		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T3	Kemi	Kemi Ajos	01.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T2	Kemi	Kemi Ajos	01.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T8	Kemi	Kemi Ajos	12.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T10	Kemi	Kemi Ajos	12.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T11	Kemi	Kemi Ajos	12.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Ajos T4	Kemi	Kemi Ajos	11.2008		3000	100	WirWinD	WWD3	88,00	65,6554278	24,54303
Pori 1	Pori	Reposaan	09.1993		300	31	Nordtank	300/31	30,50	61,60	21,46
Säikkä 1	Siikajoki	Varessäikkä	04.1993		300	31	Nordtank	300/31	30,50	64,89	24,81
Säikkä 2	Siikajoki	Varessäikkä	04.1993		300	31	Nordtank	300/31	30,50	64,89	24,81
Olos 3	Muonio	Olos	09.1999		600	44	Siemens	MKIV	40,00	67,922222	23,8
Olos 4	Muonio	Olos	09.1999		600	44	Siemens	MKIV	40,00	67,922222	23,8
Olos 5	Muonio	Olos	09.1999		600	44	Siemens	MKIV	40,00	67,922222	23,8
Olos 2	Muonio	Olos	11.1998		600	44	Siemens	MKIV	41,00	67,922222	23,8
Olos 1	Muonio	Olos	11.1998		600	44	Siemens	MKIV	41,00	67,922222	23,8
Lammasoaivi 1	Enontekiö	Lammasoaivi	10.1996		450	37	Siemens	MKIII	35,00	68,784722	21,34639
Lammasoaivi 2	Enontekiö	Lammasoaivi	10.1996		450	37	Siemens	MKIII	35,00	68,784722	21,34639
Lammasoaivi 3	Enontekiö	Lammasoaivi	11.1998		600	44	Siemens	MKIV	41,00	68,784722	21,34639

## Liite 2. Tuuliatlas arviointiin valittujen laitosten tehoarvot.

Tuuliatlasvertailuun valittujen laitosten tehoarvot tuulennopeuden funktiona.

Wind speed m/s	Nordtank NTK200F	Vestas V27-225	Nordtank NTK 300/31	Nordtank NTK 500/37
	Power output kW	Power output kW	Power output kW	Power output kW
0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0
2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0
3.5	0.0	1.5	0.0	0.0
4	0.0	4.5	0.0	0.0
4.5	5.0	10.6	0.0	0.0
5	7.5	16.6	0.0	17.6
5.5	20.0	24.2	16.5	33.7
6	27.5	31.8	32.9	49.8
6.5	30.0	42.2	50.3	71.0
7	50.0	52.5	67.6	92.2
7.5	62.5	67.5	86.9	118.3
8	72.5	82.4	106.2	144.4
8.5	87.5	98.5	128.0	175.0
9	100.0	114.5	149.7	205.5
9.5	112.5	131.4	170.0	239.8
10	125.0	148.3	190.3	274.0
10.5	137.5	164.7	209.2	310.4
11	150.0	181.0	228.0	346.8
11.5	162.5	193.0	245.8	381.9
12	175.0	205.0	263.5	417.0
12.5	180.0	211.3	279.7	446.1
13	187.5	217.6	295.8	475.2
13.5	200.0	221.3	308.0	496.3
14	200.0	225.0	320.2	517.4
14.5	200.0	225.0	327.6	529.5
15	200.0	225.0	334.9	541.5
15.5	200.0	225.0	337.4	545.3
16	200.0	225.0	339.8	549.0
16.5	200.0	225.0	340.2	544.5
17	200.0	225.0	340.5	540.0
17.5	200.0	225.0	338.5	529.1
18	200.0	225.0	336.5	518.2
18.5	200.0	225.0	332.8	506.6
19	200.0	225.0	329.0	495.0
19.5	200.0	225.0	325.6	487.4
20	200.0	225.0	322.1	479.7
20.5	200.0	225.0	319.3	476.5
21	200.0	225.0	316.4	473.3
21.5	200.0	225.0	314.7	473.5
22	200.0	225.0	313.0	473.7
22.5	200.0	225.0	311.4	476.9
23	200.0	225.0	309.8	480.0
23.5	200.0	225.0	300.0	485.6
24	200.0	225.0	300.0	491.1
24.5	200.0	225.0	300.0	500.0
25	200.0	225.0	300.0	500.0

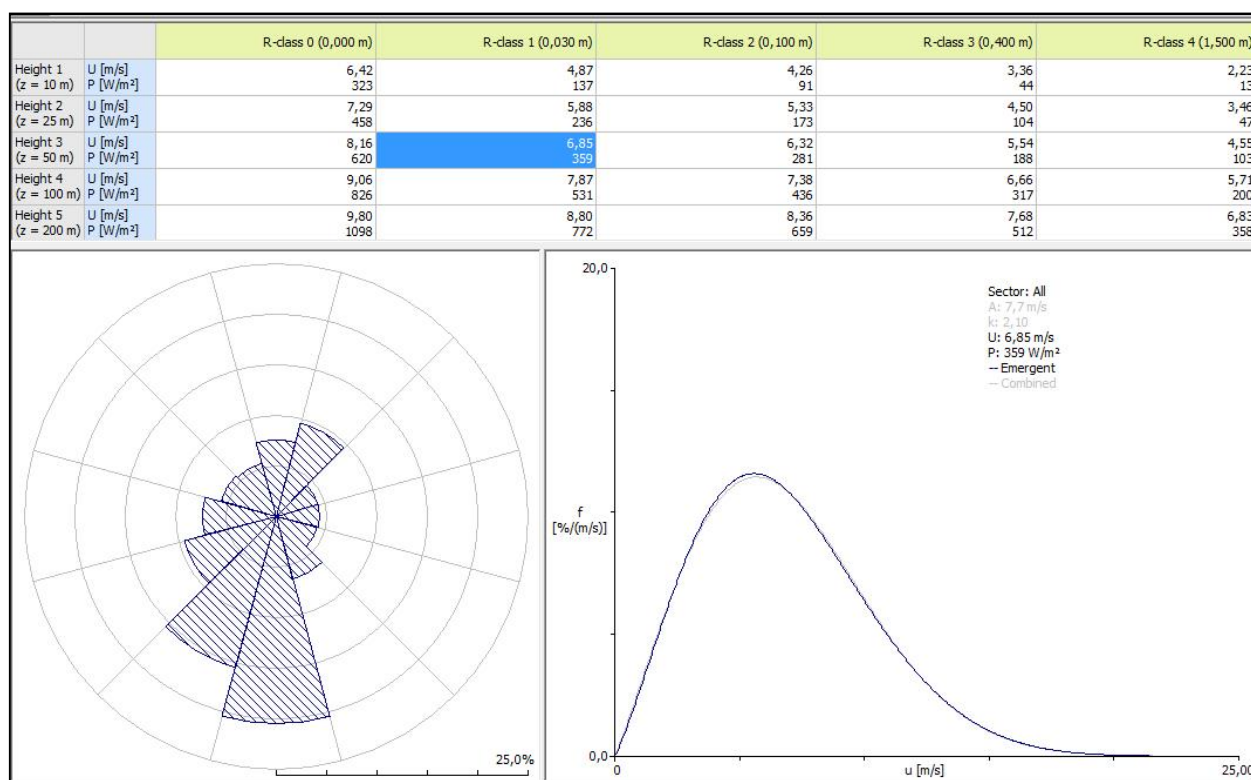
### Liite 3. Korsnäs; Tuulen nopeuden frekvenssit, jäätämisen, keskiteho ja keskimääräinen vuosituotanto.

Korsnäsillem tyypillinen tuuli-ilmastokuva WAsP -tiedostona, josta on luettu tuulen nopeuksien frekvenssi %. Tehotiedot ovat luettu valmistajan ilmoittamasta tehokäyrästä. Keskiteho on (kW) laskettu tuuliolojen perusteella:

$$P_{\text{keski}} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} f_{wi} \cdot P_{wi} \right)$$

Keskitehosta on määritetty keskimääräinen vuosituotanto (kWh):

$$E = P_{\text{keski}} \cdot h_{\text{vuosi}}$$



Aktiivinen jäätäminen, > 10 g/h/m (h/vuosi)	85.5
Aktiivinen jäätäminen, 10-50 g/h/m (h/vuosi)	48
Aktiivinen jäätäminen, 50-100 g/h/m (h/vuosi)	15.75
Aktiivinen jäätäminen, > 100 g/h/m (h/vuosi)	21.75
Passiivinen jäätäminen, > 10 g/m (h/vuosi)	1130.25
Tuotantotappioarvio (%)/vuosi	1.50 %

Nordtank 200F		
Weibull %	Wind speed m/s	Power output kW
0.00 %	0	0.0
0.65 %	0.5	0.0
1.30 %	1	0.0
2.20 %	1.5	0.0
2.85 %	2	0.0
3.65 %	2.5	0.0
4.25 %	3	0.0
4.80 %	3.5	0.0
5.25 %	4	0.0
5.50 %	4.5	5.0
5.75 %	5	7.5
5.80 %	5.5	20.0
5.75 %	6	27.5
5.55 %	6.5	30.0
5.35 %	7	50.0
5.05 %	7.5	62.5
4.80 %	8	72.5
4.40 %	8.5	87.5
3.90 %	9	100.0
3.60 %	9.5	112.5
3.15 %	10	125.0
2.80 %	10.5	137.5
2.40 %	11	150.0
2.05 %	11.5	162.5
1.70 %	12	175.0
1.40 %	12.5	180.0
1.15 %	13	187.5
1.00 %	13.5	200.0
0.80 %	14	200.0
0.65 %	14.5	200.0
0.50 %	15	200.0
0.40 %	15.5	200.0
0.30 %	16	200.0
0.20 %	16.5	200.0
0.15 %	17	200.0
0.15 %	17.5	200.0
0.10 %	18	200.0
0.05 %	18.5	200.0
0.05 %	19	200.0
0.05 %	19.5	200.0
99.45 %	20	

**Keskiteho (kW)**  
57.08375

**Keskimääräinen vuosituotanto (kWh)**  
500053.65

**Korsnäs - Weibull**

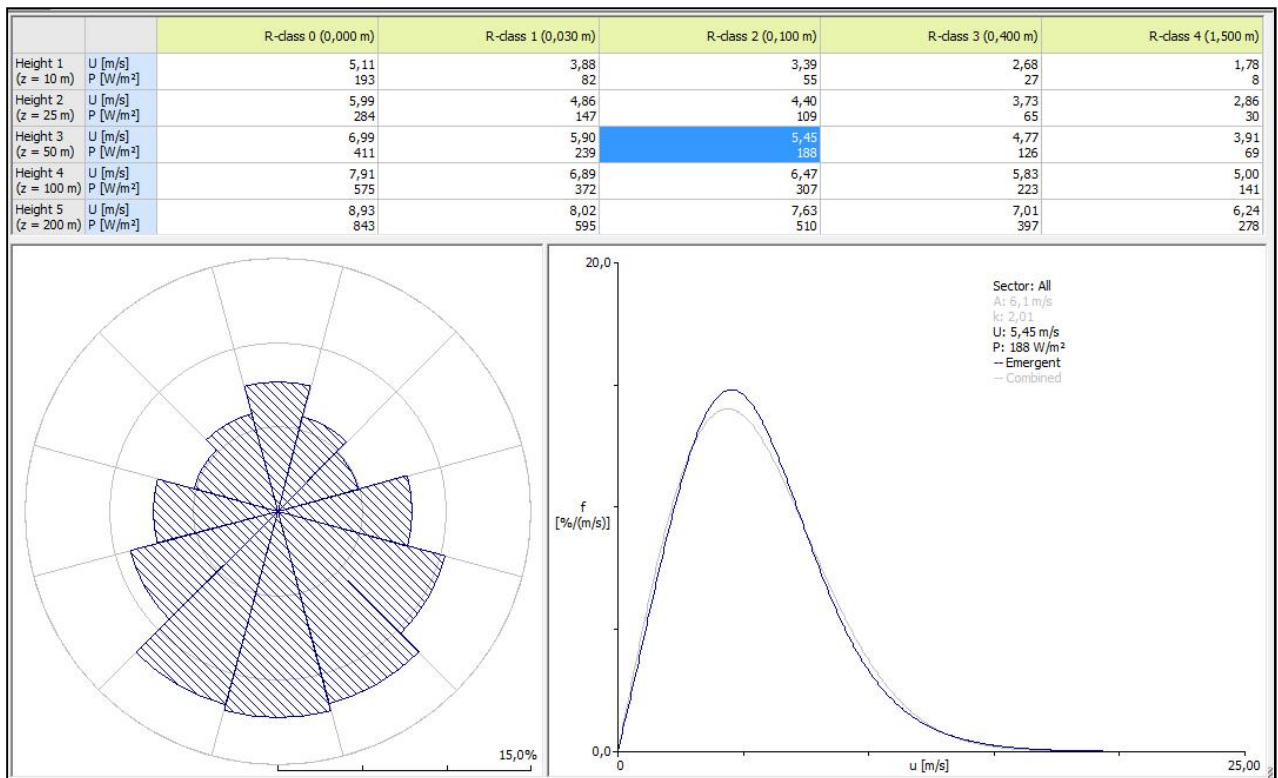
## Liite 4. Kemi; Tuulen nopeuden frekvenssit, jäätäminen, keskiteho ja keskimääräinen vuosituotanto.

Kemille tyypillinen tuuli-ilmastokuvattu WAsP -tiedostona, josta on luettu frekvenssi %. Tehotiedot ovat luettu valmistajan ilmoittamasta tehoikäyrästä. Keskiteho on (kW) laskettu tuuliolojen perusteella:

$$P_{\text{keski}} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} f_{wi} \cdot P_{wi} \right)$$

Keskitehosta on määritetty keskimääräinen vuosituotanto (kWh):

$$E = P_{\text{keski}} \cdot h_{\text{vuosi}}$$

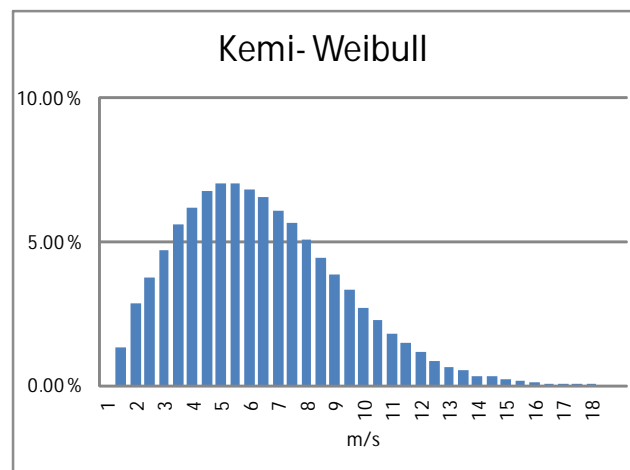


Aktiivinen jäätäminen, > 10 g/h/m (h/vuosi)	91.5
Aktiivinen jäätäminen, 10-50 g/h/m (h/vuosi)	42
Aktiivinen jäätäminen, 50-100 g/h/m (h/vuosi)	18
Aktiivinen jäätäminen, > 100 g/h/m (h/vuosi)	31.5
Passiivinen jäätäminen, > 10 g/m (h/vuosi)	2074.5
Tuotantotappioarvio (%)	3.33 %

Nordtank NTK 300/31		
Weibull %	Wind speed m/s	Power output kW
0.00 %	0	0.0
1.30 %	0.5	0.0
2.85 %	1	0.0
3.75 %	1.5	0.0
4.70 %	2	0.0
5.60 %	2.5	0.0
6.20 %	3	0.0
6.75 %	3.5	0.0
7.00 %	4	0.0
7.00 %	4.5	0.0
6.80 %	5	0.0
6.55 %	5.5	16.5
6.05 %	6	32.9
5.65 %	6.5	50.3
5.05 %	7	67.6
4.45 %	7.5	86.9
3.85 %	8	106.2
3.35 %	8.5	128.0
2.70 %	9	149.7
2.30 %	9.5	170.0
1.80 %	10	190.3
1.50 %	10.5	209.2
1.15 %	11	228.0
0.85 %	11.5	245.8
0.65 %	12	263.5
0.55 %	12.5	279.7
0.35 %	13	295.8
0.30 %	13.5	308.0
0.20 %	14	320.2
0.15 %	14.5	327.6
0.10 %	15	334.9
0.05 %	15.5	337.4
0.05 %	16	339.8
0.05 %	16.5	340.2
0.05 %	17	340.5
0.00 %	17.5	338.5
0.00 %	18	336.5
99.70 %	18.5	332.8

Keskiteho (kW)  
48.144

Keskimääräinen vuosituotanto (kWh)  
421741.44



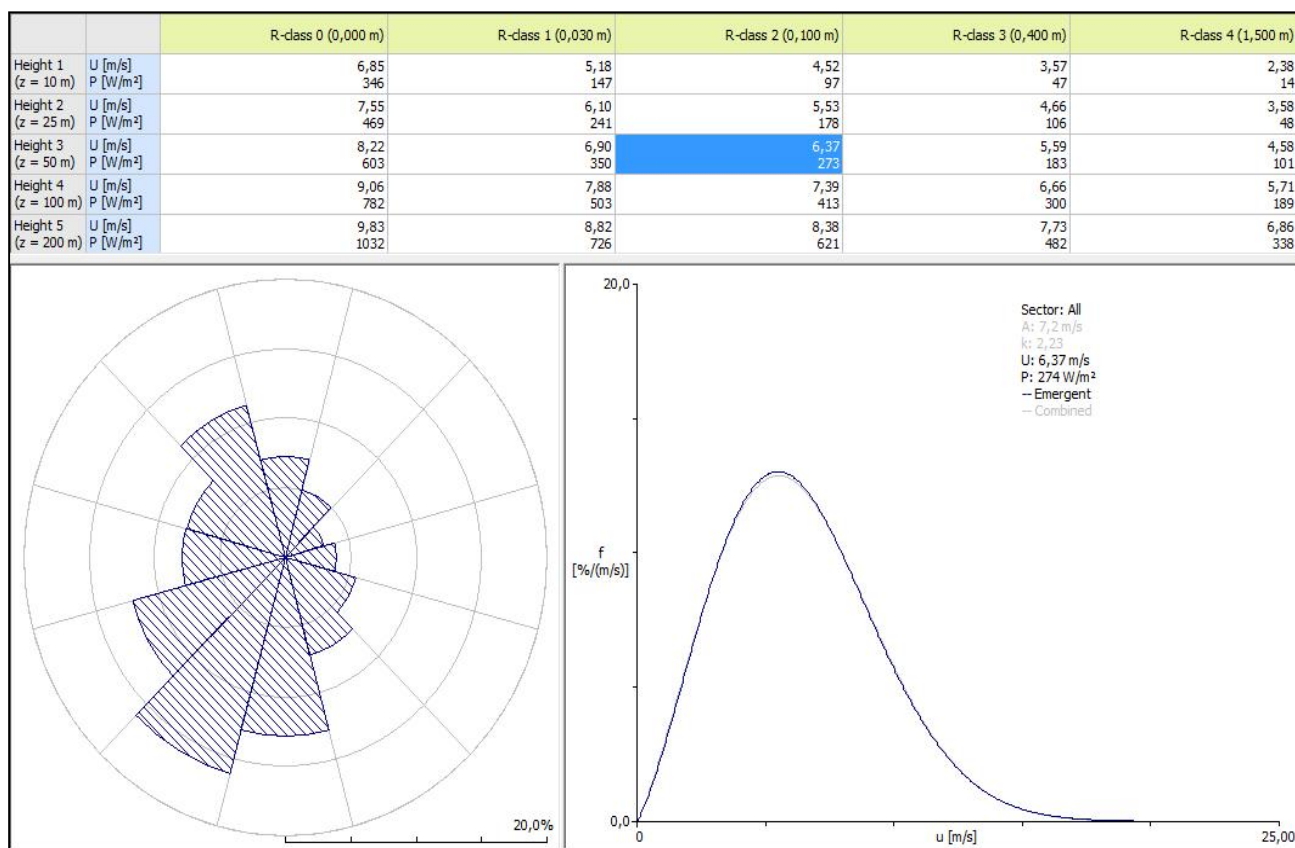
## Liite 5. Sottunga; Tuulen nopeuden frekvenssit, jäätäminen, keskiteho ja keskimääräinen vuosituotanto.

Sottungalle tyypillinen tuuli-ilmastotiedosto kuvattu WAsP -tiedostona, josta on luettu frekvenssi %. Tehotiedot ovat luettu valmistajan ilmoittamasta tehokäyrästä. Keskiteho on (kW) laskettu tuuliolojen perusteella:

$$P_{\text{keski}} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} f_{wi} \cdot P_{wi} \right)$$

Keskitehosta on määritetty keskimääräinen vuosituotanto (kWh):

$$E = P_{\text{keski}} \cdot h_{\text{vuosi}}$$

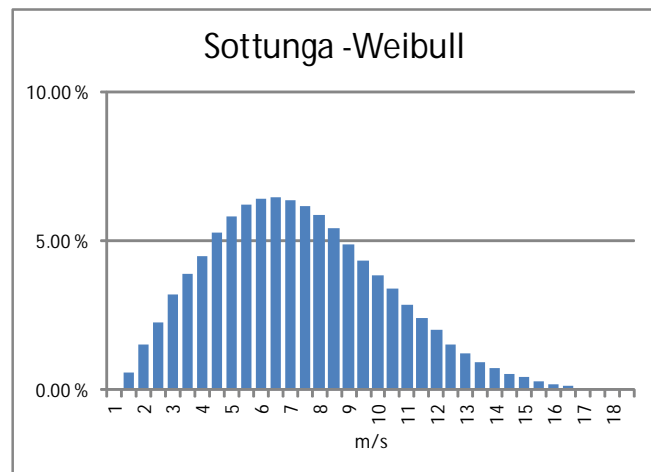


Aktiivinen jäätäminen, > 10 g/h/m (h/vuosi)	30
Aktiivinen jäätäminen, 10-50 g/h/m (h/vuosi)	18
Aktiivinen jäätäminen, 50-100 g/h/m (h/vuosi)	5.25
Aktiivinen jäätäminen, > 100 g/h/m (h/vuosi)	6.75
Passiivinen jäätäminen, > 10 g/m (h/vuosi)	480
Tuotantotappioarvio (%)	0.61 %

Vestas V27-225		
Weibull %	Wind speed m/s	Power output kW
0.00 %	0	0.0
0.60 %	0.5	0.0
1.55 %	1	0.0
2.25 %	1.5	0.0
3.20 %	2	0.0
3.90 %	2.5	0.0
4.50 %	3	0.0
5.30 %	3.5	1.5
5.80 %	4	4.5
6.20 %	4.5	10.6
6.40 %	5	16.6
6.45 %	5.5	24.2
6.35 %	6	31.8
6.15 %	6.5	42.2
5.85 %	7	52.5
5.45 %	7.5	67.5
4.90 %	8	82.4
4.35 %	8.5	98.5
3.85 %	9	114.5
3.40 %	9.5	131.4
2.85 %	10	148.3
2.40 %	10.5	164.7
2.00 %	11	181.0
1.55 %	11.5	193.0
1.25 %	12	205.0
0.95 %	12.5	211.3
0.75 %	13	217.6
0.55 %	13.5	221.3
0.45 %	14	225.0
0.30 %	14.5	225.0
0.20 %	15	225.0
0.15 %	15.5	225.0
0.05 %	16	225.0
0.05 %	16.5	225.0
0.03 %	17	225.0
0.03 %	17.5	225.0
100.00 %	18	225.0

Keskiteho (kW)  
57.193875

Keskimääräinen vuosituotanto (kWh)  
501018.345





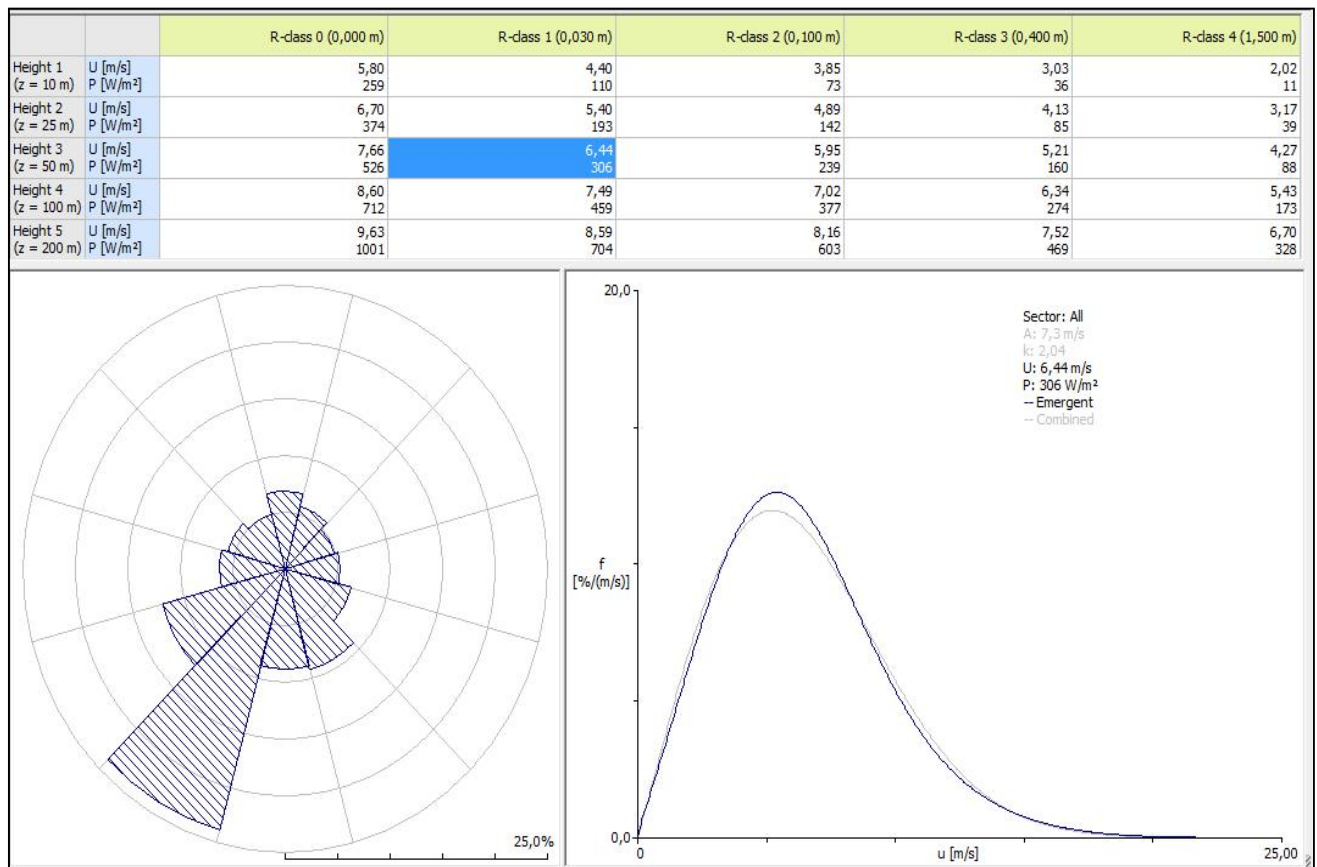
## Liite 6. Siikajoki; Tuulen nopeuden frekvenssit, jäätäminen, keskiteho ja keskimääräinen vuosituotanto.

Siikajoelle tyypillinen tuuli-ilmastotiedosto kuvattu WASP -tiedostona, josta on luettu frekvenssi %. Tehotiedot ovat luettu valmistajan ilmoittamasta tehokäyrästä. Keskiteho on (kW) laskettu tuuliolojen perusteella:

$$P_{\text{keski}} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} f_{wi} \cdot P_{wi} \right)$$

Keskitehosta on määritetty keskimääräinen vuosituotanto (kWh):

$$E = P_{\text{keski}} \cdot h_{\text{vuosi}}$$

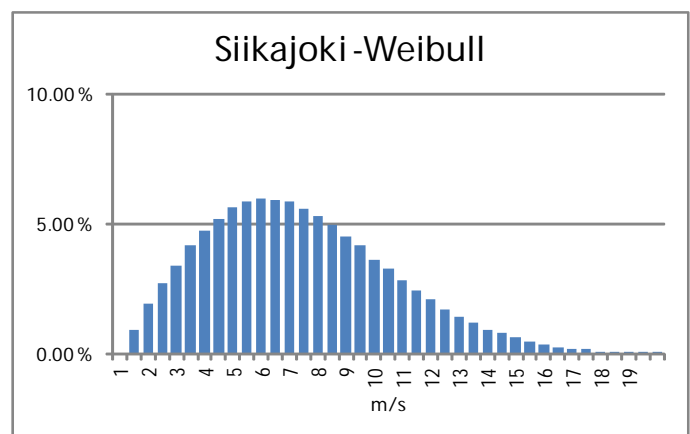


Aktiivinen jäätäminen, > 10 g/h/m (h/vuosi)	54.75
Aktiivinen jäätäminen, 10-50 g/h/m (h/vuosi)	30.75
Aktiivinen jäätäminen, 50-100 g/h/m (h/vuosi)	7.5
Aktiivinen jäätäminen, > 100 g/h/m (h/vuosi)	16.5
Passiivinen jäätäminen, > 10 g/m (h/vuosi)	1129.5
Tuotantotappioarvio (%)	1.71 %

Nordtank 300/31		
Weibull %	Wind speed m/s	Power output kW
0.00 %	0	0.0
0.90 %	0.5	0.0
1.95 %	1	0.0
2.70 %	1.5	0.0
3.40 %	2	0.0
4.20 %	2.5	0.0
4.75 %	3	0.0
5.20 %	3.5	0.0
5.65 %	4	0.0
5.85 %	4.5	0.0
6.00 %	5	0.0
5.95 %	5.5	16.5
5.90 %	6	32.9
5.60 %	6.5	50.3
5.30 %	7	67.6
5.00 %	7.5	86.9
4.55 %	8	106.2
4.20 %	8.5	128.0
3.65 %	9	149.7
3.30 %	9.5	170.0
2.85 %	10	190.3
2.45 %	10.5	209.2
2.10 %	11	228.0
1.70 %	11.5	245.8
1.45 %	12	263.5
1.20 %	12.5	279.7
0.95 %	13	295.8
0.80 %	13.5	308.0
0.65 %	14	320.2
0.45 %	14.5	327.6
0.35 %	15	334.9
0.25 %	15.5	337.4
0.20 %	16	339.8
0.20 %	16.5	340.2
0.10 %	17	340.5
0.10 %	17.5	338.5
0.05 %	18	336.5
0.05 %	18.5	332.8
0.05 %	19	329.0
100.00 %	19.5	325.6

Keskiteho (kW)  
75.014675

Keskimääräinen vuosituotanto (kWh)  
657128.553



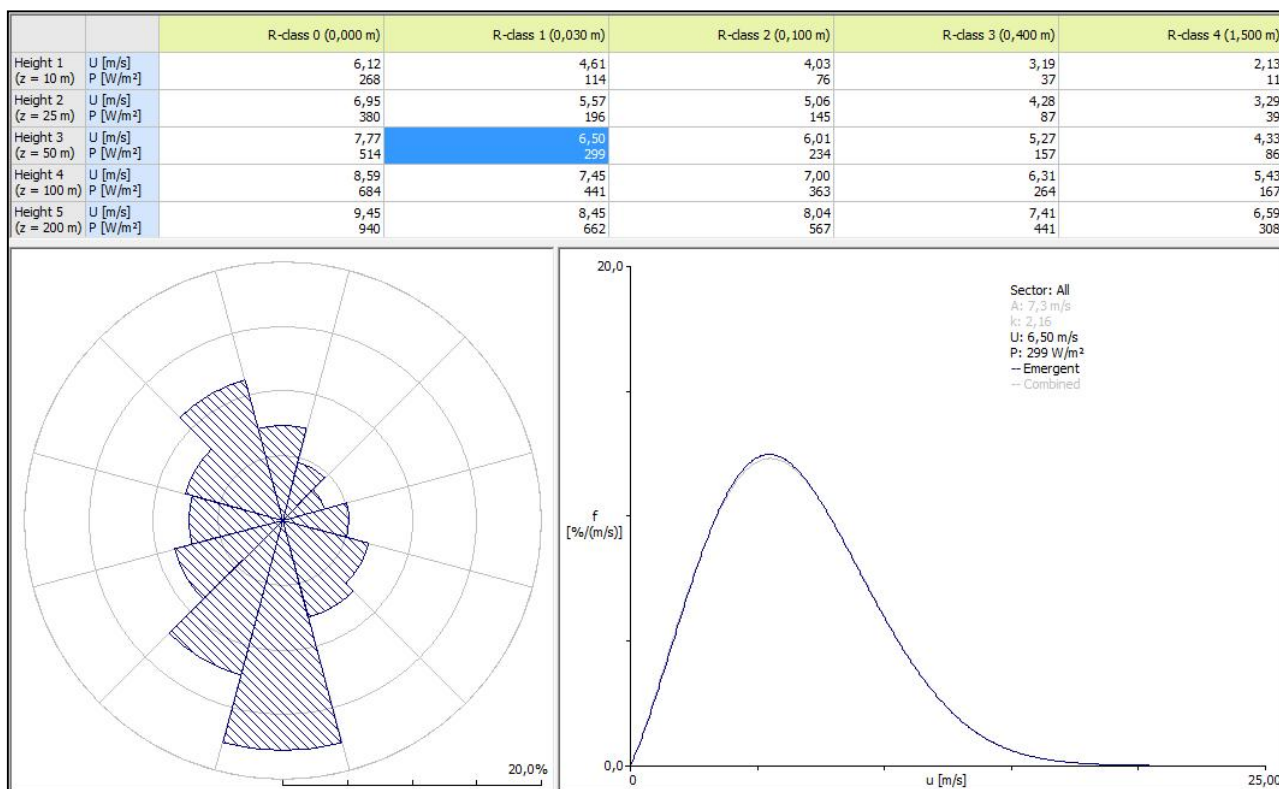
## Liite 7. Pori; Tuulen nopeuden frekvenssit, jäätäminen, keskiteho ja keskimääräinen vuosituotanto.

Porille tyypillinen tuuli-ilmastotiedosto kuvattu WAsP -tiedostona, josta on luettu frekvenssi %. Tehotiedot ovat luettu valmistajan ilmoittamasta tehoikäyrästä. Keskiteho on (kW) laskettu tuuliolojen perusteella:

$$P_{\text{keski}} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} f_{wi} \cdot P_{wi} \right)$$

Keskitehosta on määritetty keskimääräinen vuosituotanto (kWh):

$$E = P_{\text{keski}} \cdot h_{\text{vuosi}}$$

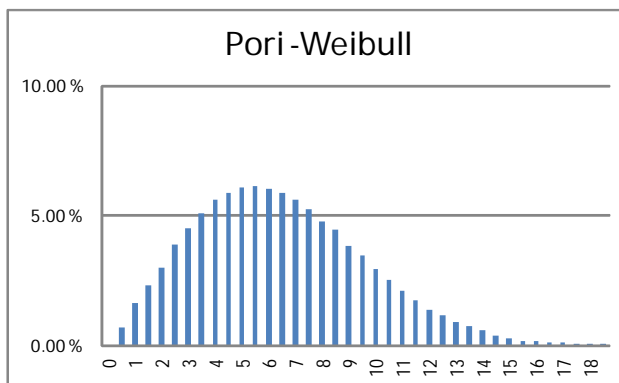


Aktiivinen jäätäminen, > 10 g/h/m (h/vuosi)	54
Aktiivinen jäätäminen, 10–50 g/h/m (h/vuosi)	25.5
Aktiivinen jäätäminen, 50–100 g/h/m (h/vuosi)	12
Aktiivinen jäätäminen, > 100 g/h/m (h/vuosi)	16.5
Passiivinen jäätäminen, > 10 g/m (h/vuosi)	922.5
Tuotantotappioarvio (%)	1.20 %

Nordtank 300/31		
Weibull %	Wind speed m/s	Power output kW
0.00 %	0	0.0
0.70 %	0.5	0.0
1.65 %	1	0.0
2.30 %	1.5	0.0
3.00 %	2	0.0
3.90 %	2.5	0.0
4.50 %	3	0.0
5.10 %	3.5	0.0
5.60 %	4	0.0
5.90 %	4.5	0.0
6.10 %	5	0.0
6.15 %	5.5	16.5
6.05 %	6	32.9
5.90 %	6.5	50.3
5.60 %	7	67.6
5.25 %	7.5	86.9
4.80 %	8	106.2
4.45 %	8.5	128.0
3.85 %	9	149.7
3.45 %	9.5	170.0
2.95 %	10	190.3
2.55 %	10.5	209.2
2.10 %	11	228.0
1.75 %	11.5	245.8
1.40 %	12	263.5
1.15 %	12.5	279.7
0.90 %	13	295.8
0.75 %	13.5	308.0
0.60 %	14	320.2
0.40 %	14.5	327.6
0.30 %	15	334.9
0.20 %	15.5	337.4
0.15 %	16	339.8
0.10 %	16.5	340.2
0.10 %	17	340.5
0.05 %	17.5	338.5
0.05 %	18	336.5
0.05 %	18.5	332.8
99.80 %	19	329.0

Keskiteho (kW)  
75.25255

Keskimääräinen vuosituotanto (kWh)  
659212.338



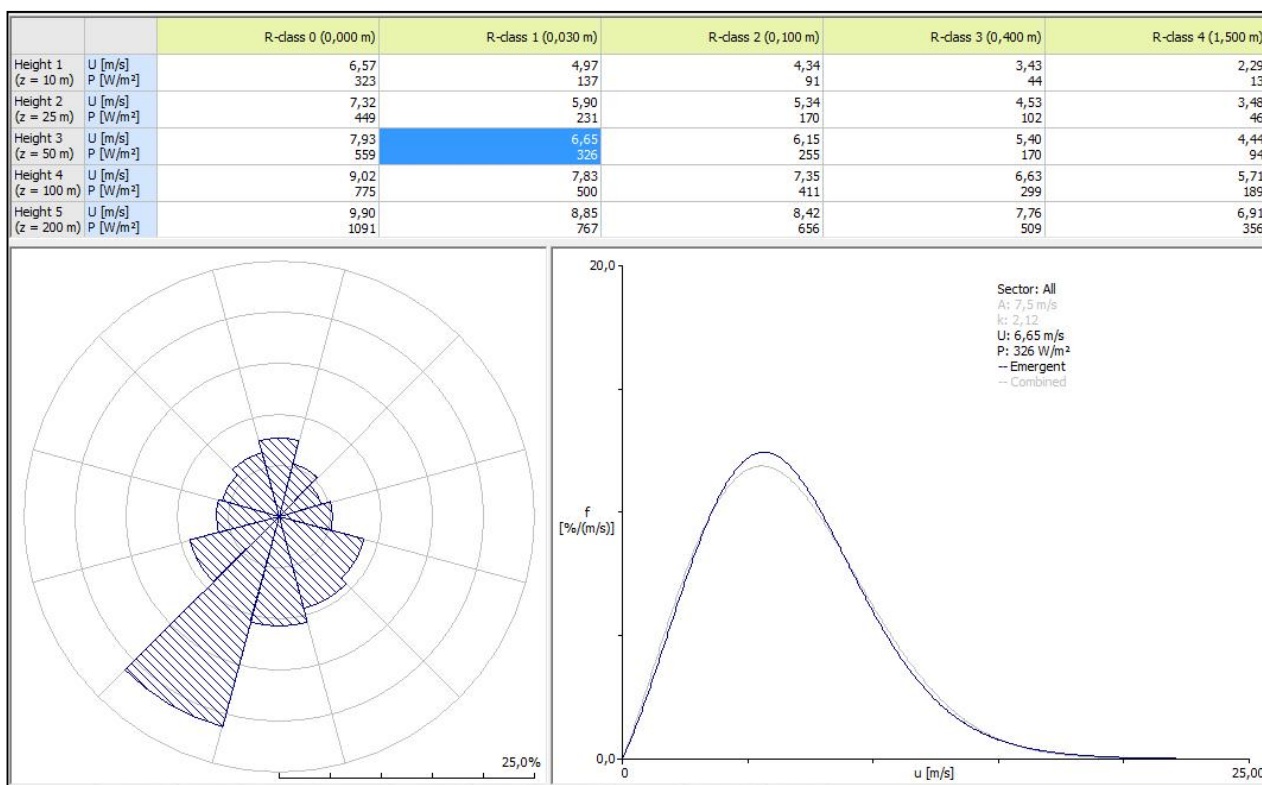
## Liite 8. Hailuoto; Tuulen nopeuden frekvenssit, jäätämisen, keskiteho ja keskimääräinen vuosituotanto.

Hailuodon tyypillinen tuuli-ilmasto kuvattu WAsP -tiedostona, josta on luettu frekvenssi %. Tehotiedot ovat luettu valmistajan ilmoittamasta tehokäyrästä. Keskiteho on (kW) laskettu tuuliolojen perusteella:

$$P_{\text{keski}} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} f_{wi} \cdot P_{wi} \right)$$

Keskitehosta on määritetty keskimääräinen vuosituotanto (kWh):

$$E = P_{\text{keski}} \cdot h_{\text{vuosi}}$$



Marjaniemi 1-3	
Aktiivinen jäätäminen, > 10 g/h/m (h/vuosi)	124.5
Aktiivinen jäätäminen, 10-50 g/h/m (h/vuosi)	60
Aktiivinen jäätäminen, 50-100 g/h/m (h/vuosi)	21.75
Aktiivinen jäätäminen, > 100 g/h/m (h/vuosi)	42.75
Passiivinen jäätäminen, > 10 g/m (h/vuosi)	2292.75
Tuotantotappioarvio (%)	3.83 %

Nordtank 300/31		
Weibull %	Wind speed m/s	Power output kW
0.00 %	0	0.0
0.80 %	0.5	0.0
1.65 %	1	0.0
2.30 %	1.5	0.0
3.15 %	2	0.0
3.80 %	2.5	0.0
4.35 %	3	0.0
5.00 %	3.5	0.0
5.40 %	4	0.0
5.70 %	4.5	0.0
5.90 %	5	0.0
6.00 %	5.5	16.5
5.90 %	6	32.9
5.75 %	6.5	50.3
5.50 %	7	67.6
5.20 %	7.5	86.9
4.80 %	8	106.2
4.30 %	8.5	128.0
3.90 %	9	149.7
3.50 %	9.5	170.0
3.00 %	10	190.3
2.70 %	10.5	209.2
2.25 %	11	228.0
1.90 %	11.5	245.8
1.60 %	12	263.5
1.30 %	12.5	279.7
1.05 %	13	295.8
0.80 %	13.5	308.0
0.65 %	14	320.2
0.50 %	14.5	327.6
0.40 %	15	334.9
0.30 %	15.5	337.4
0.25 %	16	339.8
0.20 %	16.5	340.2
0.10 %	17	340.5
0.10 %	17.5	338.5
100.00 %	18	336.5

**Keskiteho (kW)**  
79.298175

**Keskimääräinen vuosituotanto (kWh)**  
694652.013

**Hailuoto -Weibull**

Huikku
Aktiivinen jäätäminen, > 10 g/h/m (h/vuosi)
61.5
Aktiivinen jäätäminen, 10-50 g/h/m (h/vuosi)
25.5
Aktiivinen jäätäminen, 50-100 g/h/m (h/vuosi)
12
Aktiivinen jäätäminen, > 100 g/h/m (h/vuosi)
24
Passiivinen jäätäminen, > 10 g/m (h/vuosi)
1711.5
Tuotantotappioarvio (%)
2.44 %

Nordtank 500/37		
Weibull %	Wind speed m/s	Power output kW
0.00 %	0	0.0
0.80 %	0.5	0.0
1.65 %	1	0.0
2.30 %	1.5	0.0
3.15 %	2	0.0
3.80 %	2.5	0.0
4.35 %	3	0.0
5.00 %	3.5	0.0
5.40 %	4	0.0
5.70 %	4.5	0.0
5.90 %	5	17.6
6.00 %	5.5	33.7
5.90 %	6	49.8
5.75 %	6.5	71.0
5.50 %	7	92.2
5.20 %	7.5	118.3
4.80 %	8	144.4
4.30 %	8.5	175.0
3.90 %	9	205.5
3.50 %	9.5	239.8
3.00 %	10	274.0
2.70 %	10.5	310.4
2.25 %	11	346.8
1.90 %	11.5	381.9
1.60 %	12	417.0
1.30 %	12.5	446.1
1.05 %	13	475.2
0.80 %	13.5	496.3
0.65 %	14	517.4
0.50 %	14.5	529.5
0.40 %	15	541.5
0.30 %	15.5	545.3
0.25 %	16	549.0
0.20 %	16.5	544.5
0.10 %	17	540.0
0.10 %	17.5	529.1
100.00 %	18	518.2

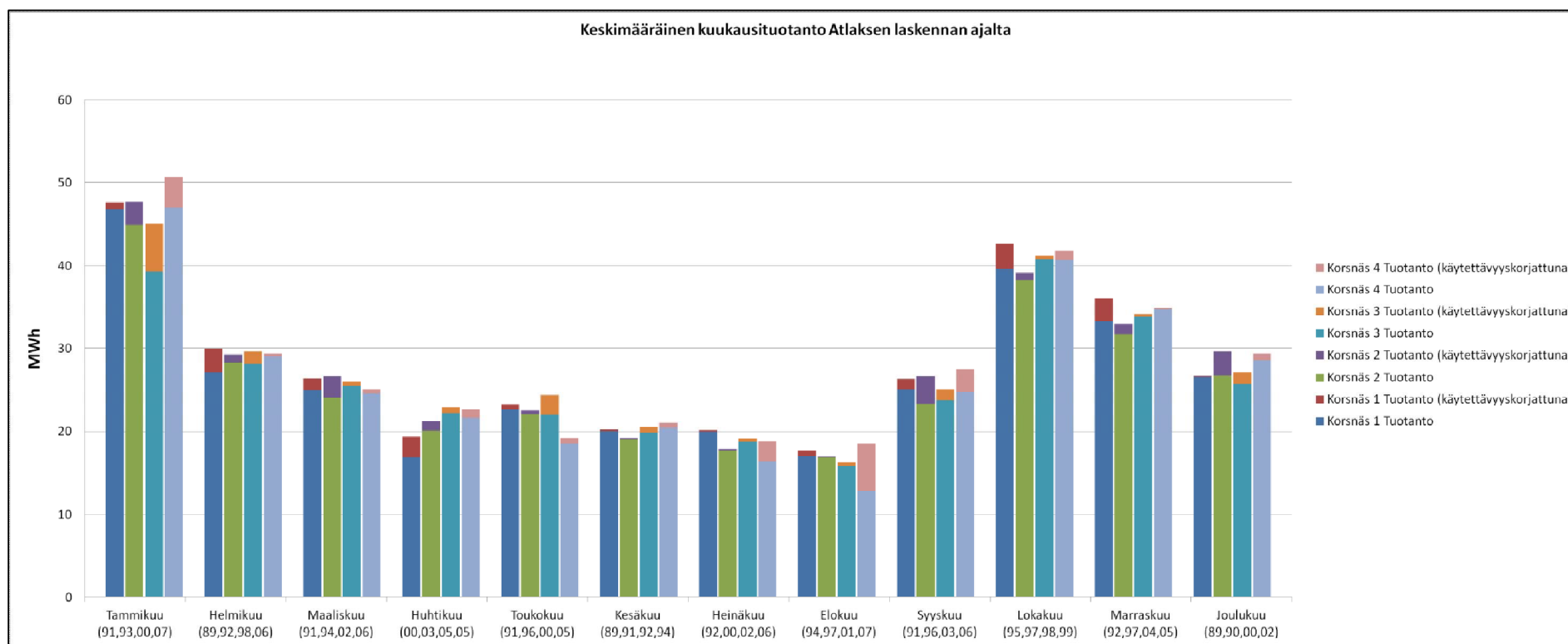
**Keskiteho (kW)**  
119.3573

**Keskimääräinen vuosituotanto (kWh)**  
1045.569948

**Hailuoto -Weibull**

## Liite 9. Korsnäs; Kuukausituotannot Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta ja tilastoidut suureet.

Kuukausituotannot ilmaistu Tuuliatlaksen käyttämien kuukausien perusteella ja puutteet kuukausituotannoista sekä selitys korvaavasta arvosta. Tuotannot on myös kuvattu käytettävyysskorjattuina. Tilastoidut suureet ja niistä lasketut tunnusluvut (kapasiteettikerroin CF (%), tekninen käytettävyys (%) ja huipunkäyttöaika (h)).





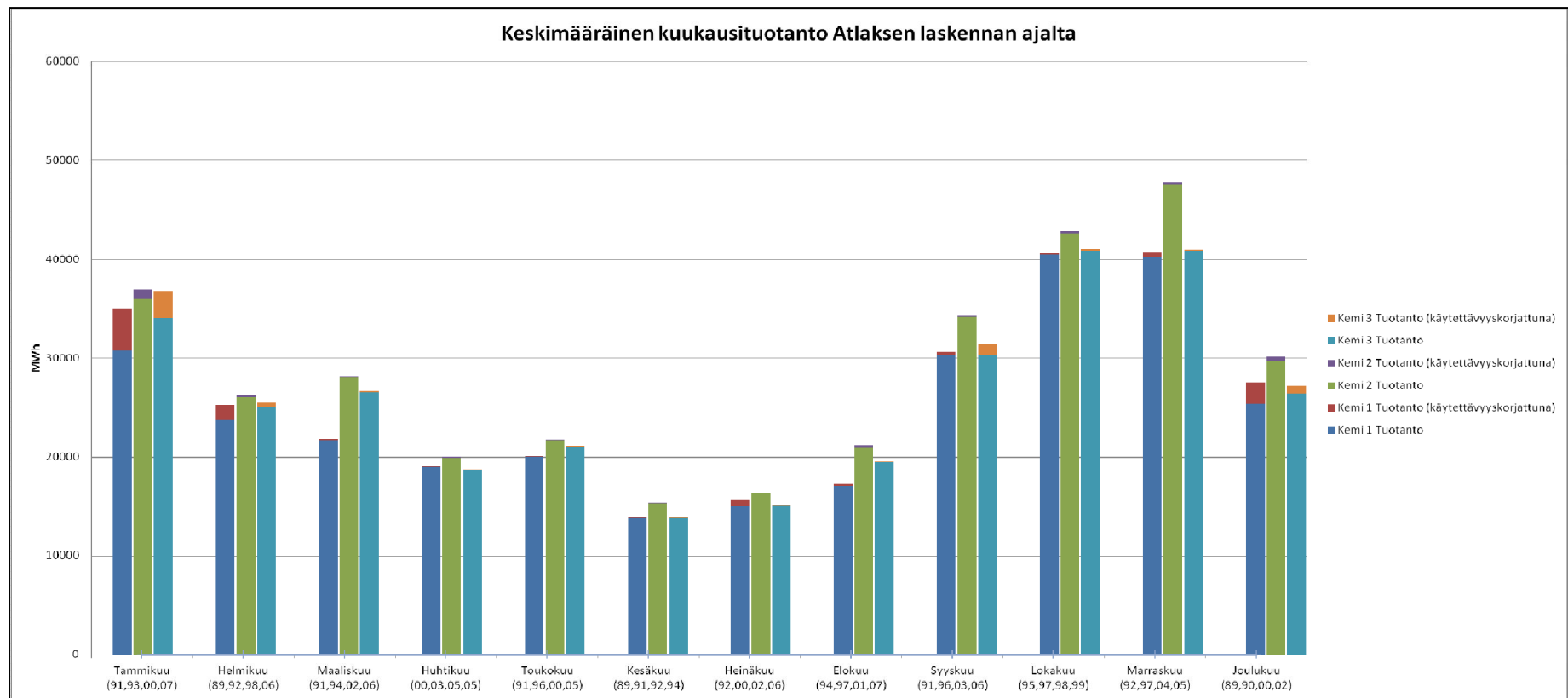
Atlas kuukaudet	Puuttuu tilastoista	Korvaus
	Vuosi	Keskimääräinen tuotantoarvo (92-07)
Tammikuu (91,93,00,07)	91	x
Helmikuu (89,92,98,06)	89	x
Maaliskuu (91,94,02,06)	91	x
Huhtikuu (00,03,05,05)		
Toukokuu (91,96,00,05)	91	x
Kesäkuu (89,91,92,94)	89,91	x,x
Heinäkuu (92,00,02,06)		
Elokuu (94,97,01,07)		
Syyskuu (91,96,03,06)	91	x
Lokakuu (95,97,98,99)		
Marraskuu (92,97,04,05)		
Joulukuu (89,90,00,02)	89,90	x,x
Huomioita		
Korsnäs 1	Korsnäs 2	
	Vuoden 06 helmikuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 1 (98.51%), koska käytettävyyks ollut 0%	
	Vuoden 06 heinäkuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 1 (99.87%), koska käytettävyyks ollut alle 10%	
Korsnäs 3	Korsnäs 4	
	Vuoden 03 huhtikuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 3 (95.97%), koska käytettävyyks ollut 0%	
Vuoden 07 elokuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 2 (98.66%), koska käytettävyyks ollut alle 10%		
	Vuoden 98 lokakuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 3 (95.97%), koska käytettävyyks ollut alle 0.5%	

Korsnäs 1		11.1991												
Nimi	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	Tuotanto (Käytettyvyskorjattu)	SumOfHäiriöaika	SumOfKäytettyvysaika	Tekninen käytettyvys	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	1992	8784	423912	423912	0	0	100.00 %	122.46 %	2119.56	0.241297814	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	1993	8760	320045	320045	0	0	100.00 %	100.95 %	1600.225	0.182674087	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	1994	8760	315483	315483	0	0	100.00 %	96.67 %	1577.415	0.180070205	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	1995	8760	391105	392224.3618	25	25	99.71 %	113.64 %	1955.525	0.223233447	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	1996	8784	272648	277674.2066	165	159	98.19 %	81.99 %	1363.24	0.155195811	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	1997	8760	348514	357785.3791	237	227	97.41 %	100.88 %	1742.57	0.198923516	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	1998	8760	315323	346013.9647	791	777	91.13 %	95.77 %	1576.615	0.179978881	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	1999	8760	279210	291418.992	401	367	95.81 %	87.32 %	1396.05	0.159366438	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2000	8784	333534	342301.9811	229	225	97.44 %	95.24 %	1667.67	0.189853142	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2001	8760	223636	245218.5956	801	771	91.20 %	85.56 %	1118.18	0.127646119	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2002	8760	230339	249507.8076	675	673	92.32 %	67.41 %	1151.695	0.131472032	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2003	8760	278518	305129.7749	792	764	91.28 %	89.47 %	1392.59	0.158971461	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2004	8784	259154	302031.1445	1247	1247	85.80 %	86.18 %	1295.77	0.1475148	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2005	8760	347230	375708.3498	664	664	92.42 %	101.93 %	1736.15	0.198190639	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2006	8760	289469	300550.9589	336	323	96.31 %	81.98 %	1447.345	0.165222032	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2007	8760	358019	368017.6531	244	238	97.28 %	100.48 %	1790.095	0.204348744	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2008	8784	337738	340959.7278	87	83	99.06 %	93.09 %	1688.69	0.192246129	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2009	8760	265743	273260.7912	247	241	97.25 %	69.89 %	1328.715	0.151679795	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2010	8760	203969	239995.7609	1315	1315	84.99 %	64.88 %	1019.845	0.116420662	
Korsnäs 1	200	32.5	24.6	2011	5832	162350	197419.7665	1047	1036	82.24 %	97.75 %	811.75	0.139188957	
Korsnäs 2		11.1991												
Nimi	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	Tuotanto (Käytettyvyskorjattu)	SumOfHäiriöaika	SumOfKäytettyvysaika	Tekninen käytettyvys	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	1992	8784	381529	381529	0	0	100.00 %	122.46 %	1907.645	0.2171727	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	1993	8760	320859	320859	0	0	100.00 %	100.95 %	1604.295	0.183138699	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	1994	8760	315237	315237	0	0	100.00 %	96.67 %	1576.185	0.179929795	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	1995	8760	392277	392680.4388	9	9	99.90 %	113.64 %	1961.385	0.223902397	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	1996	8784	263452	266393.7341	104	97	98.90 %	81.99 %	1317.26	0.149961293	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	1997	8760	363277	364817.8975	47	37	99.58 %	100.88 %	1816.385	0.207349886	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	1998	8760	323111	332837.7658	267	256	97.08 %	95.77 %	1615.555	0.184424087	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	1999	8760	290486	291317.3852	57	25	99.71 %	87.32 %	1452.43	0.165802511	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2000	8784	306871	317872.0358	306	304	96.54 %	95.24 %	1534.355	0.174676116	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2001	8760	255802	255977.3269	36	6	99.93 %	85.56 %	1279.01	0.146005708	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2002	8760	245418	249635.5876	150	148	98.31 %	67.41 %	1227.09	0.140078767	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2003	8760	316354	317805.1651	91	40	99.54 %	89.47 %	1581.77	0.180567352	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2004	8784	284890	286455.3297	48	48	99.45 %	86.18 %	1424.45	0.162164162	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2005	8760	318607	359618.2605	999	999	88.60 %	101.93 %	1593.035	0.181853311	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2006	8760	195593	324506.5682	3499	3480	60.27 %	81.98 %	977.965	0.11163984	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2007	8760	317507	329155.1858	310	310	96.46 %	100.48 %	1587.535	0.181225457	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2008	8784	283093	290670.8255	233	229	97.39 %	93.09 %	1415.465	0.16114128	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2009	8760	181861	201327.2286	847	847	90.33 %	69.89 %	909.305	0.103801941	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2010	8760	158509	207896.218	2081	2081	76.24 %	64.88 %	792.545	0.090473174	
Korsnäs 2	200	32.5	24.6	2011	5832	45998	132802.1465	3812	3812	34.64 %	97.75 %	229.99	0.039435871	

Korsnäs 3		11.1991											
Nimi	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	Tuotanto (Käytettävyysskorjattu)	SumOfHäiriöaika	SumOfKäytettävyyσαika	Tekninen käytettävyyς	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	1992	8784	413189	413189	0	0	100.00 %	122.46 %	2065.945	0.235194103
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	1993	8760	318047	318047	0	0	100.00 %	100.95 %	1590.235	0.181533676
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	1994	8760	307176	307176	0	0	100.00 %	96.67 %	1535.88	0.175328767
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	1995	8760	384994	384994	0	0	100.00 %	113.64 %	1924.97	0.219745434
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	1996	8784	264492	271033.3327	218	212	97.59 %	81.99 %	1322.46	0.150553279
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	1997	8760	352814	382506.2673	690	680	92.24 %	100.88 %	1764.07	0.201377854
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	1998	8760	339408	355392.5508	405	394	95.50 %	95.77 %	1697.04	0.193726027
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	1999	8760	275005	290316.1967	496	462	94.73 %	87.32 %	1375.025	0.156966324
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2000	8784	337199	349122.5856	382	300	96.58 %	95.24 %	1685.995	0.191939321
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2001	8760	248467	263061.5083	516	486	94.45 %	85.56 %	1242.335	0.141819064
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2002	8760	249922	259182.7536	315	313	96.43 %	67.41 %	1249.61	0.142649543
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2003	8760	286993	313551.8434	832	742	91.53 %	89.47 %	1434.965	0.16380879
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2004	8784	301462	305707.9437	122	122	98.61 %	86.18 %	1507.31	0.171597222
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2005	8760	354524	364981.8122	251	251	97.13 %	101.93 %	1772.62	0.202353881
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2006	8760	231951	261672.9891	1013	995	88.64 %	81.98 %	1159.755	0.132392123
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2007	8760	153450	331497.4106	4705	4705	46.29 %	100.48 %	767.25	0.087585616
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2008	8784	255836	280907.928	788	784	91.07 %	93.09 %	1279.18	0.145626138
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2009	8760	187802	207327.7278	825	825	90.58 %	69.89 %	939.01	0.107192922
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2010	8760	183561	211773.2596	1167	1167	86.68 %	64.88 %	917.805	0.10477226
Korsnäs 3	200	32.5	24.6	2011	5832	118965	149979.2218	1206	1206	79.32 %	97.75 %	594.825	0.101993313
Korsnäs 4		11.1991 07.2009											
Nimi	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	Tuotanto (Käytettävyysskorjattu)	SumOfHäiriöaika	SumOfKäytettävyyσαika	Tekninen käytettävyyς	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	1992	8784	425009	425009	0	0	100.00 %	122.46 %	2125.045	0.241922245
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	1993	8760	349557	349557	0	0	100.00 %	100.95 %	1747.785	0.199518836
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	1994	8760	318124	318124	0	0	100.00 %	96.67 %	1590.62	0.181577626
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	1995	8760	403506	417222.9178	288	288	96.71 %	113.64 %	2017.53	0.230311644
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	1996	8784	265289	276396.4626	360	353	95.98 %	81.99 %	1326.445	0.151006944
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	1997	8760	358682	360286.0131	49	39	99.55 %	100.88 %	1793.41	0.204727169
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	1998	8760	299478	339602.2369	1046	1035	88.18 %	95.77 %	1497.39	0.170934932
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	1999	8760	298868	303898.2797	177	145	98.34 %	87.32 %	1494.34	0.170586758
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2000	8784	354477	355691.7944	32	30	99.66 %	95.24 %	1772.385	0.201774249
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2001	8760	164204	246770.808	2942	2931	66.54 %	85.56 %	821.02	0.093723744
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2002	8760	267174	289050.7892	665	663	92.43 %	67.41 %	1335.87	0.152496575
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2003	8760	258718	327746.8807	1922	1845	78.94 %	89.47 %	1293.59	0.147670091
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2004	8784	292901	296444.5655	105	105	98.80 %	86.18 %	1464.505	0.166724158
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2005	8760	317249	377851.9701	1405	1405	83.96 %	101.93 %	1586.245	0.181078196
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2006	8760	240079	315637.4066	2114	2097	76.06 %	81.98 %	1200.395	0.137031393
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2007	8760	303532	425566.6325	2512	2512	71.32 %	100.48 %	1517.66	0.173248858
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2008	8784	331924	334436.8451	70	66	99.25 %	93.09 %	1659.62	0.188936703
Korsnäs 4	200	32.5	24.6	2009	5088	128470	148964.3026	700	700	86.24 %	69.89 %	642.35	0.126248035

## Liite 10. Kemi; Kuukausituotannot Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta ja tilastoidut suu-reet.

Kuukausituotannot ilmaista Tuuliatlaksen käyttämien kuukausien perusteella ja puutteet kuukausituotannoista sekä selitys korvaavasta arvosta. Tuotannot on myös kuvattu käytettävyysskorjattuina. Tilastoidut suureet ja niistä lasketut tunnusluvut (kapasiteettikerroin CF (%), tekninen käytettävyys (%) ja huipunkäyttöaika (h)).

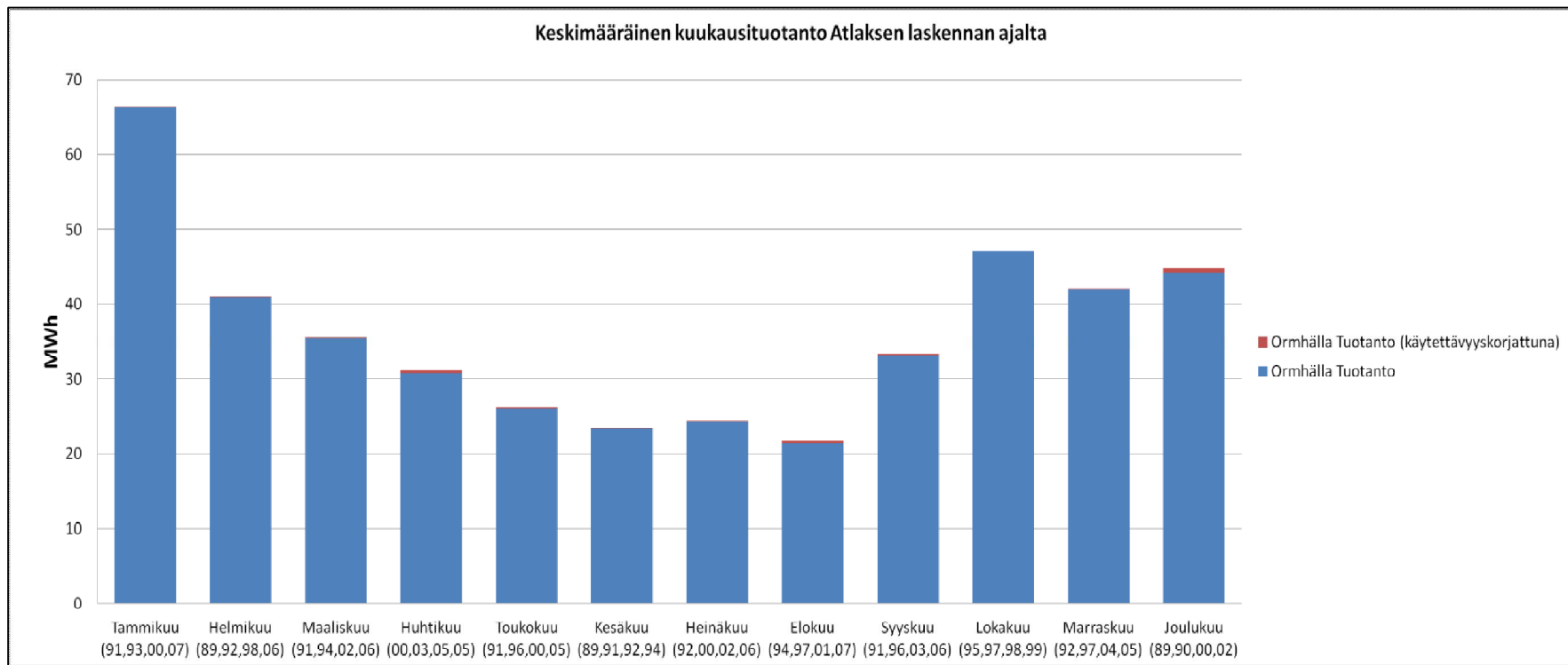


Atlas kuukaudet	Puuttuu tilastoista		Korvaus
	Vuosi		Keskimääräinen tuotantoarvo (94-07)
Tammikuu (91,93,00,07)	91		x
Helmikuu (89,92,98,06)	89, 92		x,x
Maaliskuu (91,94,02,06)	91		x
Huhtikuu (00,03,05,05)			
Toukokuu (91,96,00,05)	91		x
Kesäkuu (89,91,92,94)	89,91,92		x,x,x
Heinäkuu (92,00,02,06)	92		x
Elokuu (94,97,01,07)			
Syyskuu (91,96,03,06)	91		x
Lokakuu (95,97,98,99)			
Marraskuu (92,97,04,05)	92		x
Joulukuu (89,90,00,02)	89,90		x,x
<b>Huomioita</b>			
Kemi 1	Kemi 2		
Kemi 3			

Kemi 1		Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010											
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHairoika	SumOfKaytettavyyaika	Tekninen kaytettavyys	Tuotantoindeksi	Huipun kaytto aika	Kapasiteettikerroin CF		
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	1993	2928		155633	0	0	100,00%	101,03%	518,776667	0,17717823	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	1994	8760		309535	0	0	100,00%	98,08%	1031,783333	0,117783486	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	1995	8760		410988	239	239	97,27%	110,90%	1369,96	0,156388128	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	1996	8784		339410	283	283	96,78%	91,53%	1131,366667	0,128798573	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	1997	8760		367193	183	183	97,91%	99,13%	1223,976667	0,139723364	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	1998	8760		340802	104	104	98,81%	89,27%	1136,006667	0,129681126	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	1999	8760		352258	144	124	98,58%	86,73%	1174,193333	0,134040335	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2000	8784		365285	349	349	96,03%	96,63%	1217,616667	0,138617562	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2001	8760		293718	293	293	96,66%	85,16%	979,06	0,11176484	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2002	8760		221224	24	24	99,73%	73,41%	737,4133333	0,084179604	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2003	8760		258530	643	643	101,61%	92,66%	861,766667	0,09837519	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2004	8784		258409	710	710	91,92%	89,17%	861,3633333	0,098060489	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2005	8760		343218	306	306	96,51%	115,33%	1144,06	0,130600457	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2006	8760		239090	16	16	99,82%	84,51%	796,966667	0,09097793	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2007	8760		202164	1641	1641	81,27%	97,71%	0,076926941	673,88	0,103442623
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2008	8784		272592	288	288	96,72%	90,65%	908,64	0,103442623	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2009	8760		240741	152	145	98,34%	88,02%	802,47	0,091606164	
Kemi 1	65,66667	24,5	300	35	31	2010	5088		85021	480	480	90,57%	72,89%	283,4033333	0,055700341	
Kemi 2		Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010											
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHairoika	SumOfKaytettavyyaika	Tekninen kaytettavyys	Tuotantoindeksi	Huipun kaytto aika	Kapasiteettikerroin CF		
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	1993	2928		162877	0	0	100,00%	101,03%	542,9233333	0,185424636	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	1994	8760		349673	0	0	100,00%	98,08%	1165,576667	0,133056697	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	1995	8760		440305	111	111	98,73%	110,90%	1467,683333	0,16754376	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	1996	8784		362418	209	209	97,62%	91,53%	1208,06	0,137529599	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	1997	8760		391398	98	98	98,88%	99,13%	1304,66	0,14893379	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	1998	8760		361665	98	98	98,88%	89,27%	1205,55	0,137619863	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	1999	8760		379702	86	86	99,25%	86,73%	1265,673333	0,144483257	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2000	8784		403829	81	81	99,08%	96,63%	1346,096667	0,153244156	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2001	8760		341654	5	5	99,94%	85,16%	1138,846667	0,130005327	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2002	8760		246545	24	24	99,73%	73,41%	821,816667	0,093814688	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2003	8760		333521	29	29	99,67%	101,61%	1111,736667	0,126910578	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2004	8784		330567	14	14	99,84%	89,17%	1101,89	0,125442851	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2005	8760		429660	36	36	99,59%	115,33%	1432,866667	0,163569254	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2006	8760		268673	14	14	99,84%	84,51%	895,576667	0,102234779	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2007	8760		276168	1215	1215	86,13%	97,71%	920,56	0,105086758	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2008	8784		286480	258	258	97,06%	90,65%	954,9333333	0,108712811	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2009	8760		258199	611	604	93,11%	88,02%	860,6633333	0,098249239	
Kemi 2	65,66667	24,5	300	35	31	2010	5088		78263	1200	1200	76,42%	72,89%	260,876667	0,05127293	
Kemi 3		Kemi	Kemi Ajos	08.1993	26.7.2010											
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHairoika	SumOfKaytettavyyaika	Tekninen kaytettavyys	Tuotantoindeksi	Huipun kaytto aika	Kapasiteettikerroin CF		
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	1993	2928		156052	0	0	100,00%	101,03%	520,1733333	0,177654827	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	1994	8760		330467	0	0	100,00%	98,08%	1101,556667	0,125748478	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	1995	8760		420242	139	139	98,41%	110,90%	1400,806667	0,159909437	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	1996	8784		343572	476	476	94,58%	91,53%	1145,24	0,13037796	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	1997	8760		375567	308	308	96,48%	99,13%	1251,89	0,142909817	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	1998	8760		343628	231	231	97,36%	89,27%	1145,426667	0,130756469	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	1999	8760		349676	147	127	98,55%	86,73%	1165,586667	0,133057839	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2000	8784		377528	219	219	97,51%	96,63%	1258,426667	0,143263509	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2001	8760		311841	17	17	99,81%	85,16%	1039,47	0,118660959	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2002	8760		223813	24	24	99,73%	73,41%	746,0433333	0,085164764	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2003	8760		280537	29	29	99,67%	101,61%	935,1233333	0,106749239	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2004	8784		293166	86	86	99,02%	89,17%	977,22	0,11125	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2005	8760		398950	36	36	99,59%	115,33%	1329,8333333	0,151807458	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2006	8760		240117	14	14	99,84%	84,51%	800,39	0,091368721	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2007	8760		295359	212	212	97,58%	97,71%	984,53	0,112389269	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2008	8784		276357	105	105	98,80%	90,65%	921,19	0,104871357	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2009	8760		241889	714	707	91,93%	88,02%	806,296667	0,092042998	
Kemi 3	65,66667	24,5	300	35	31	2010	5088		82443	696	696	86,32%	72,89%	274,81	0,054011399	

## Liite 11. Sottunga; Kuukausituotannot Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta ja tilastoidut suureet.

Kuukausituotannot ilmaistu Tuuliatlaksen käyttämien kuukausien perusteella ja puutteet kuukausituotannoista sekä selitys korvaavasta arvosta. Tuotannot on myös kuvattu käytettävyysskorjattuina. Tilastoidut suureet ja niistä lasketut tunnusluvut (kapasiteettikerroin CF (%), tekninen käytettävyys (%) ja huipunkäyttöaika (h)).



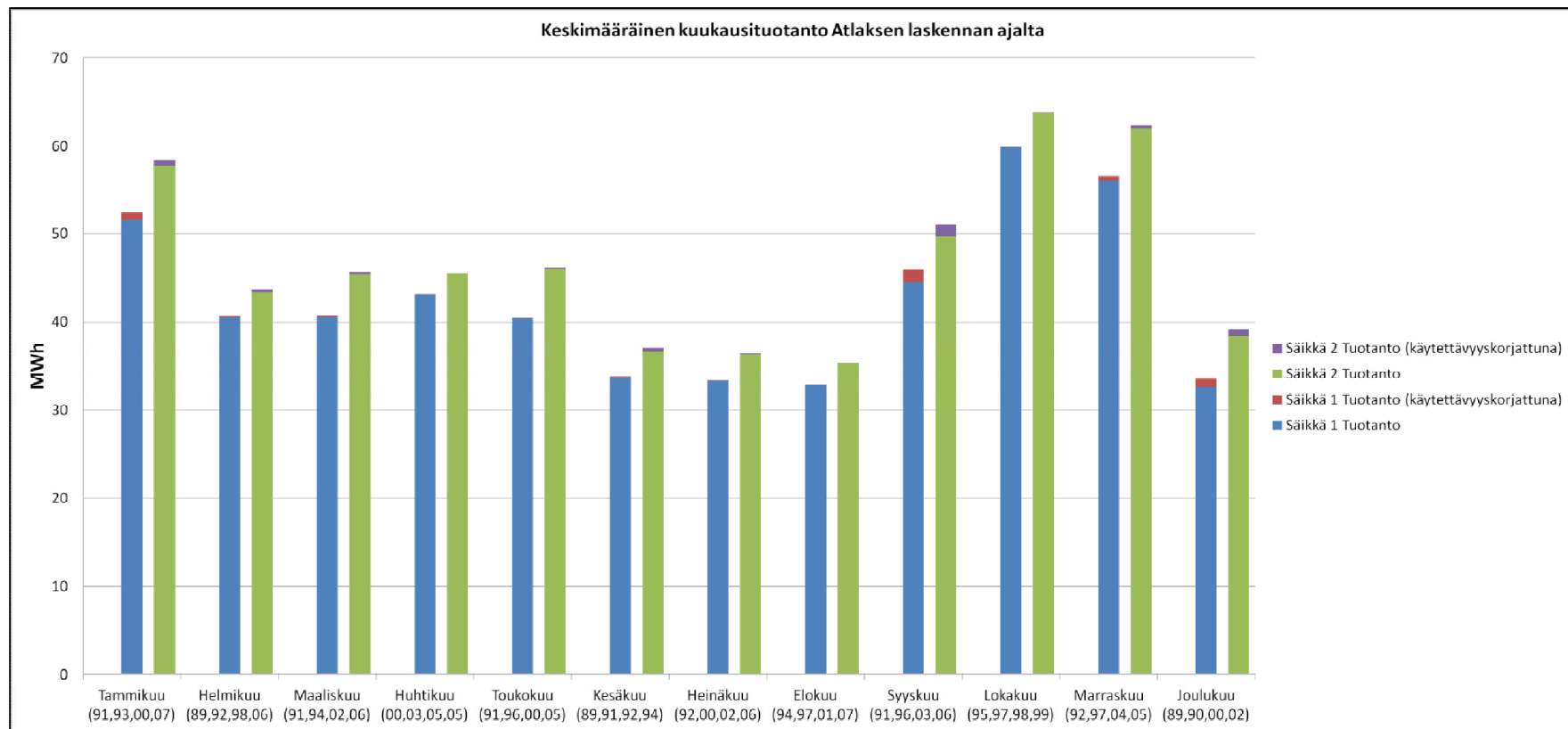




Ormhalla (Vestas V27)	Sottunga	Sottunga	01.1992	10.8.2010											
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHairioaika	SumOfKaytettavysaika	Tekninen kaytettavuus	Tuotantoindeksi	Huipun kayttoaika	Kapasiteettikerroin CF	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	1992	8784	481008	0	0	100,00%	109,66%	2137,813333	0,243375835	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	1993	8760	529553	0	0	100,00%	115,90%	2353,568889	0,268672248	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	1994	8760	449281	0	0	100,00%	107,09%	1996,804444	0,227945713	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	1995	8760	497735	53	45	99,49%	118,64%	2212,155556	0,252529173	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	1996	8784	395401	137	137	98,44%	84,94%	1757,337778	0,200061222	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	1997	8760	466235	64	47	99,46%	95,86%	2072,155556	0,236547438	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	1998	8760	429874	18	17	99,81%	96,72%	1910,551111	0,218099442	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	1999	8760	430428	18	13	99,85%	91,20%	1913,013333	0,218380518	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2000	8784	448872	65	65	99,26%	91,00%	1994,986667	0,227115968	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2001	8760	429106	48	42	99,52%	88,72%	1907,137778	0,217709792	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2002	8760	376824	14	11	99,87%	76,53%	1674,773333	0,19118417	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2003	8760	415321	199	193	97,80%	86,20%	1845,871111	0,21071588	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2004	8784	373861	103	80	99,09%	82,89%	1661,604444	0,189162619	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2005	8760	421981	15	13	99,85%	91,26%	1875,471111	0,214094876	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2006	8760	388667	0	0	100,00%	84,52%	1727,408889	0,197192796	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2007	8760	420542	167	167	98,09%	94,04%	1869,075556	0,213364789	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2008	8784	428931	46	46	99,48%	103,99%	1906,36	0,217026412	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2009	8760	327969	392	392	95,53%	88,24%	1457,64	0,16639726	
Ormhalla	60,11495	20,67807222	225	31,5	27	2010	5832	167696	5	5	99,91%	89,22%	745,3155556	0,127797592	

## Liite 12. Siikajoki; Kuukausituotannot Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta ja tilastoidut suureet.

Kuukausituotannot ilmaistu Tuuliatlaksen käyttämien kuukausien perusteella ja puutteet kuukausituotannoista sekä selitys korvaavasta arvosta. Tuotannot on myös kuvattu käytettävyysskorjattuina. Tilastoidut suureet ja niistä lasketut tunnusluvut (kapasiteettikerroin CF (%), tekninen käytettävyys (%) ja huipunkäyttöaika (h)).

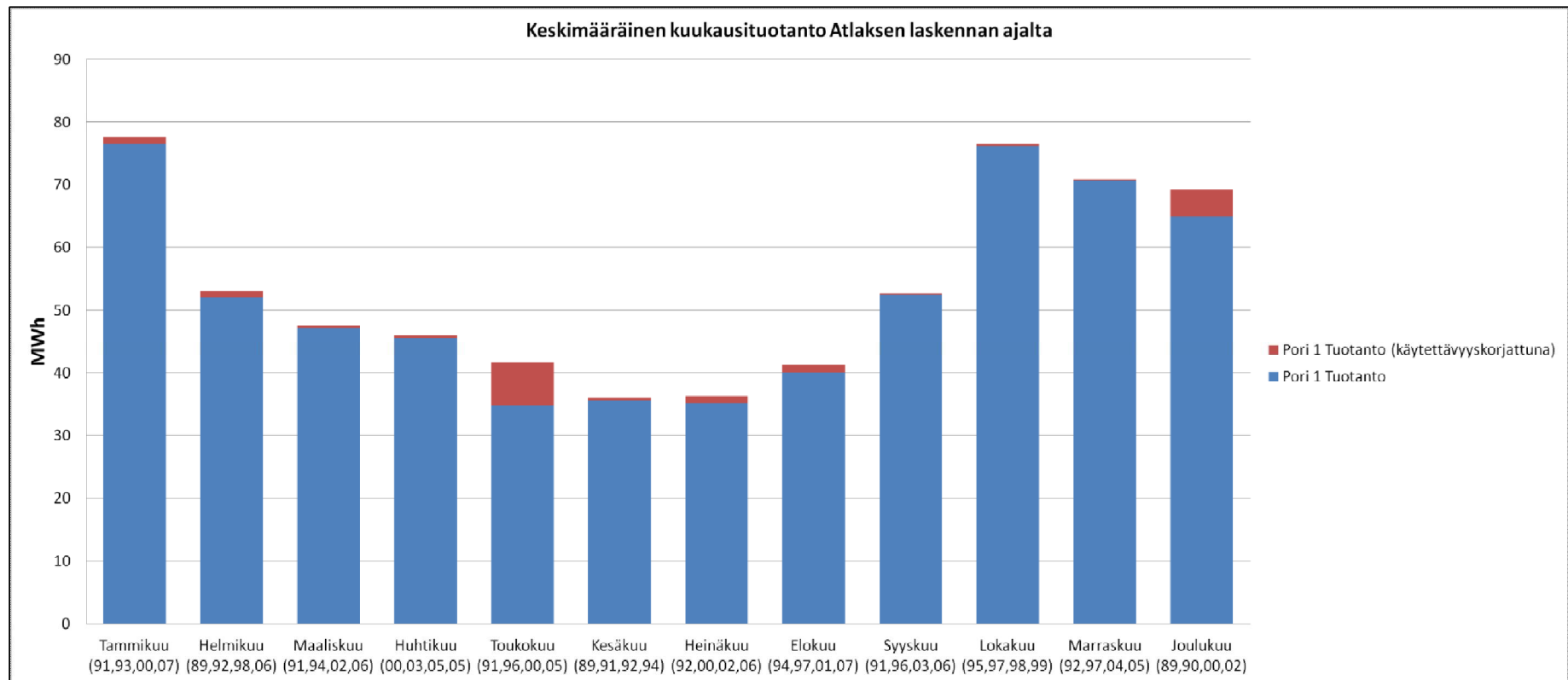




Saikka 1		Siikajoki	Vaessaikka	04.1993																
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHairoika	SumOfKayttavyyksaika	Tekninen kayttavyyks	Tuotantoindeksi	Huipun kaytto aika	Kapasiteettikerroin CF						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1993	6600	305195	0	0	100,00%	101,03%	1017,316667	0,154138889						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1994	8760	498004	0	0	100,00%	98,08%	1660,013333	0,189499239						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1995	8760	614710	0	0	100,00%	110,90%	2049,033333	0,233907915						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1996	8784	433216	14	14	99,84%	91,53%	1444,053333	0,164395871						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1997	8760	593872	12	12	99,86%	99,13%	1979,573333	0,225978691						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1998	8760	466429	1402	1402	84,00%	89,27%	1554,763333	0,177484399						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1999	8760	494559	8	8	99,91%	86,73%	1648,53	0,188188356						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2000	8784	475306	305	305	96,53%	96,63%	1584,353333	0,180368094						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2001	8760	485473	289	289	96,70%	85,16%	1618,243333	0,184730974						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2002	8760	434327	0	0	100,00%	73,41%	1447,756667	0,165269026						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2003	8760	600701	0	0	100,00%	101,61%	2002,336667	0,228577245						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2004	8784	462995	29	29	99,67%	89,17%	1543,316667	0,17566342						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2005	8760	598327	0	0	100,00%	115,33%	1994,423333	0,227673896						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2006	8760	467903	330	330	96,23%	84,51%	1559,676667	0,178045282						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2007	8760	468736	9	0	100,00%	97,71%	1562,453333	0,178322253						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2008	8784	505444	4	4	99,95%	90,65%	1684,813333	0,191804797						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2009	8760	462737	89	85	99,03%	88,02%	1542,456667	0,176079528						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2010	8760	401824	142	139	98,38%	72,89%	1339,413333	0,152901065						
Saikka 1	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2011	8760	465744	430	411	95,31%	98,96%	1552,48	0,177223744						
Saikka 2		Siikajoki	Vaessaikka	04.1993																
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHairoika	SumOfKayttavyyksaika	Tekninen kayttavyyks	Tuotantoindeksi	Huipun kaytto aika	Kapasiteettikerroin CF						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1993	6600	344405	0	0	100,00%	101,03%	1148,016667	0,173941919						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1994	8760	573590	0	0	100,00%	98,08%	1911,966667	0,218261035						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1995	8760	669386	0	0	100,00%	110,90%	2231,286667	0,25471309						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1996	8784	513759	14	14	99,84%	91,53%	1712,53	0,194960155						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1997	8760	611143	109	109	98,76%	99,13%	2037,143333	0,232550609						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1998	8760	490964	1515	1515	82,71%	89,27%	1636,546667	0,186820396						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	1999	8760	527952	8	8	99,91%	86,73%	1759,84	0,200894977						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2000	8784	539494	8	8	99,91%	96,63%	1798,313333	0,204726017						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2001	8760	536769	274	274	96,87%	85,16%	1789,23	0,20425						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2002	8760	385533	700	700	92,01%	73,41%	1285,11	0,146702055						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2003	8760	611253	0	0	100,00%	101,61%	2037,51	0,232592466						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2004	8784	502999	260	260	97,04%	89,17%	1676,663333	0,190876973						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2005	8760	621091	431	431	95,08%	115,33%	2070,303333	0,236335997						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2006	8760	526058	56	56	99,36%	84,51%	1753,526667	0,200174277						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2007	8760	548695	330	321	96,34%	97,71%	1828,983333	0,208788052						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2008	8784	525093	110	110	98,75%	90,65%	1750,31	0,199261157						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2009	8760	500535	329	329	96,24%	88,02%	1668,45	0,190462329						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2010	8760	442937	289	289	96,70%	72,89%	1476,456667	0,168545282						
Saikka 2	64.889052	24.808815	300	30,5	31	2011	8760	499230	518	499	94,30%	98,96%	1664,1	0,189965753						

## Liite 13. Pori; Kuukausituotannot Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta ja tilastoidut suu-reet.

Kuukausituotannot ilmaista Tuuliatlaksen käyttämien kuukausien perusteella ja puutteet kuukausituotannoista sekä selitys korvaavasta arvosta. Tuotannot on myös kuvattu käytettävyysskorjattuina. Tilastoidut suureet ja niistä lasketut tunnusluvut (kapasiteettikerroin CF (%), tekninen käytettävyys (%) ja huipunkäyttöaika (h)).

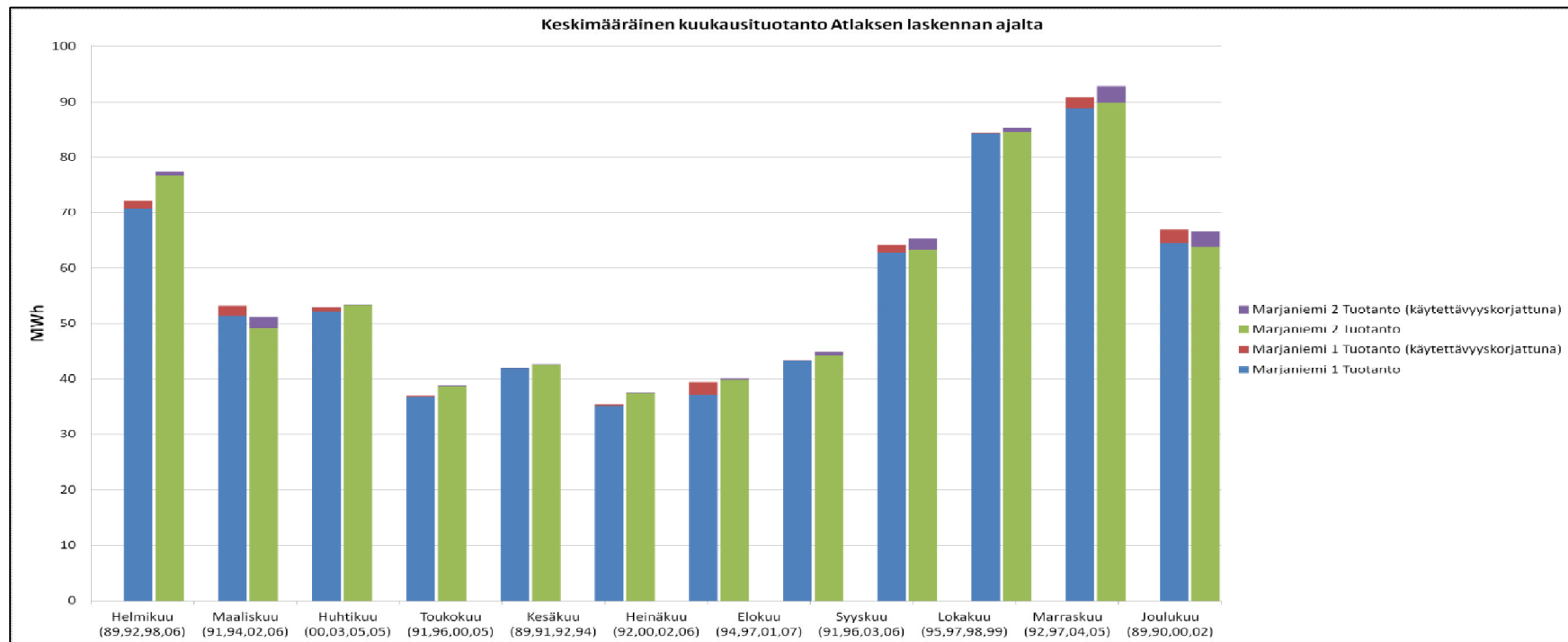




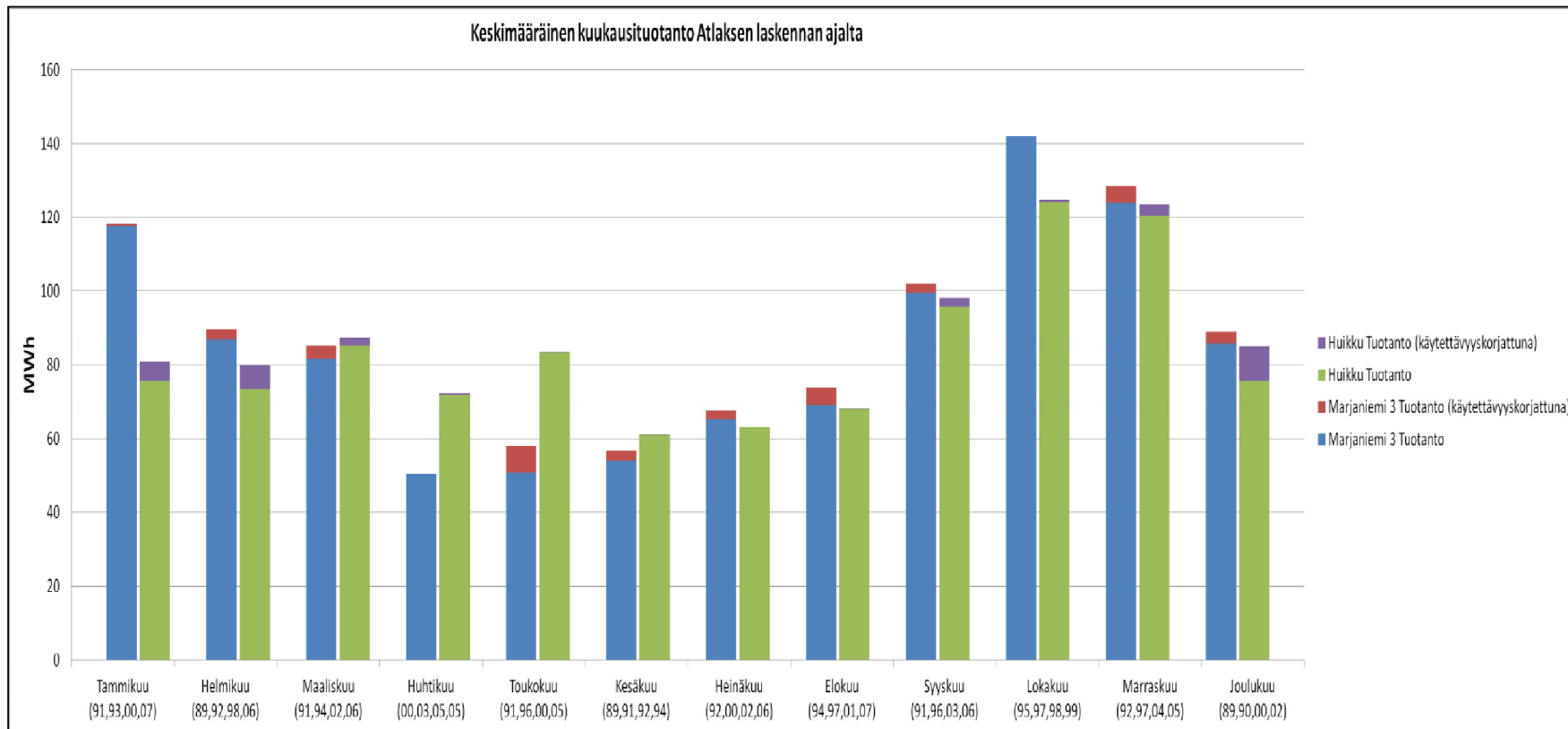
Pori 1	Pori	Reposaari	09.1993												
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHäiriöaika	SumOfKäytettävysaika	Tekninen käytettävyys	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	1993	2928	196233	0	0	100,00%	100,95%	654,11	0,223398224	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	1994	8760	624620	0	0	100,00%	96,67%	2082,066667	0,237678843	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	1995	8760	757849	24	24	99,73%	113,64%	2526,163333	0,28837481	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	1996	8784	565277	212	212	97,59%	81,99%	1884,256667	0,214510094	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	1997	8760	584076	374	374	95,73%	100,88%	1946,92	0,222251142	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	1998	8760	717332	8	8	99,91%	95,77%	2391,106667	0,272957382	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	1999	8760	656665	20	20	99,77%	87,32%	2188,883333	0,249872527	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2000	8784	525565	2284	2284	74,00%	95,24%	1751,883333	0,19944027	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2001	8760	584072	300	300	96,58%	85,56%	1946,906667	0,222249619	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2002	8760	474004	203	203	97,68%	67,41%	1580,013333	0,180366819	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2003	8760	564395	136	136	98,45%	89,47%	1881,316667	0,214762177	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2004	8784	659331	93	93	98,94%	86,18%	2197,77	0,250201503	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2005	8760	720941	53	53	99,39%	101,93%	2403,136667	0,27433067	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2006	8760	587296	416	416	95,25%	81,98%	1957,653333	0,223476408	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2007	8760	709971	124	124	98,58%	100,48%	2366,57	0,270156393	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2008	8784	445678	1032	1032	88,25%	93,09%	1485,593333	0,169124924	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2009	8760	453108			100,00%	69,89%	1510,36	0,172415525	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2010	8760	416695	0	0	100,00%	64,88%	1388,983333	0,158559741	
Pori 1	61,601389	21,458056	300	30,5	31	2011	8760	227856	0	0	100,00%	97,75%	759,52	0,086703196	

## Liite 14. Hailuoto; Kuukausituotannot Tuuliatlaksen laskennalliselta ajalta ja tilastoidut suureet.

Kuukausituotannot ilmaistu Tuuliatlaksen käyttämien kuukausien perusteella ja puutteet kuukausituotannoista sekä selitys korvaavasta arvosta. Tuotannot on myös kuvattu käytettävyysskorjattuina. Tilastoidut suureet ja niistä lasketut tunnusluvut (kapasiteettikerroin CF (%), tekninen käytettävyys (%) ja huipunkäyttöaika (h)).











Marjaniemi 1		Hailuoto	Marjaniemi		10.1993												
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHäiriöaika	SumOfKäytettyaika	Tekninen käytettävyy	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1993	2208	192569	0	0	100,00%	101,03%	641,896667	0,29071407			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1994	8760	675529	0	0	100,00%	98,08%	2251,763333	0,25706009			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1995	8760	792042	0	0	100,00%	110,90%	2640,14	0,301385845			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1996	8784	632128	81	81	99,08%	91,53%	2107,093333	0,239878567			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1997	8760	715997	12	12	99,86%	99,13%	2386,656667	0,272449391			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1998	8760	502472	1768	1768	79,82%	89,27%	1674,906667	0,191199391			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1999	8760	662058	6	6	99,93%	86,73%	2206,86	0,251924658			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2000	8784	470955	2513	2513	71,39%	96,63%	1569,85	0,178716985			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2001	8760	392152	3235	3235	63,07%	85,16%	1307,173333	0,1492207			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2002	8760	569774	0	0	100,00%	73,41%	1899,246667	0,214870098			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2003	8760	694234	0	0	100,00%	101,61%	2314,113333	0,264168189			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2004	8784	507162	1014	1014	88,46%	89,17%	1690,54	0,192456574			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2005	8760	772195	492	492	94,38%	115,33%	2573,983333	0,293983714			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2006	8760	564694	730	730	91,67%	84,51%	1882,313333	0,234831951			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2007	8760	665836	661	628	92,83%	97,71%	2219,453333	0,253362253			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2008	8784	618835	457	358	95,92%	90,65%	2062,783333	0,234834168			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2009	8760	478809	2230	2109	75,92%	88,02%	1596,03	0,182195205			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2010	8760	481689	1210	1183	86,50%	72,89%	1605,63	0,183291096			
Marjaniemi 1	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2011	8760	621275	1055	1028	88,26%	98,96%	2070,916667	0,236406012			
Marjaniemi 2	Hailuoto	Marjaniemi															
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHäiriöaika	SumOfKäytettyaika	Tekninen käytettävyy	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1993	2208	210496	0	0	100,00%	101,03%	701,653333	0,317777778			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1994	8760	694051	0	0	100,00%	98,08%	2313,503333	0,264098554			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1995	8760	811847	0	0	100,00%	110,90%	2706,156667	0,308921994			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1996	8784	641849	15	15	99,83%	91,53%	2139,496667	0,243567471			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1997	8760	736764	34	34	99,61%	99,13%	2455,88	0,280351598			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1998	8760	486122	1923	1923	78,05%	89,27%	1620,406667	0,18497793			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	1999	8760	643455	305	305	96,52%	86,73%	2144,85	0,24484589			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2000	8784	495315	2465	2465	71,94%	96,63%	1651,05	0,187961066			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2001	8760	404721	3457	3457	60,54%	85,16%	1349,07	0,154003425			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2002	8760	492528	0	0	100,00%	73,41%	1641,76	0,187415525			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2003	8760	708426	0	0	100,00%	101,61%	2361,42	0,269568493			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2004	8784	597692	522	522	94,06%	89,17%	1992,306667	0,226810868			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2005	8760	751336	563	539	93,85%	115,33%	2504,453333	0,285896499			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2006	8760	619828	87	87	99,01%	84,51%	2066,093333	0,235855403			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2007	8760	714035	727	661	92,45%	97,71%	2380,116667	0,271702816			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2008	8784	608396	564	450	94,88%	90,65%	2027,986667	0,230872799			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2009	8760	539818	1625	1386	84,18%	88,02%	1799,393333	0,205410198			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2010	8760	567534	763	736	91,60%	72,89%	1891,78	0,215956521			
Marjaniemi 2	65.038611	24.558333	300	30,5	31	2011	8760	698661	658	641	92,68%	98,96%	2328,87	0,26585274			

Huikku	Hailuoto	Huikku	06.1995												
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHäiriöaika	SumOfKaytettävyaika	Tekninen käytettävyyys	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	1995	5136	610765	0	0	100,00%	110,90%	1221,53	0,237836838	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	1996	8784	1041003	426	15	99,83%	91,53%	2082,006	0,237022541	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	1997	8760	1107869	124	12	99,86%	99,13%	2215,738	0,252938128	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	1998	8760	1146079	9	9	99,90%	89,27%	2292,158	0,261661872	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	1999	8760	987832	682	682	92,21%	86,73%	1975,664	0,22553242	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2000	8784	852992	1662	1662	81,08%	96,63%	1705,984	0,194214936	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2001	8760	971031	772	772	91,19%	85,16%	1942,062	0,221696575	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2002	8760	828976	0	0	100,00%	73,41%	1657,952	0,189263927	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2003	8760	933220	0	0	100,00%	101,61%	1866,44	0,213063927	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2004	8784	898815	669	669	92,38%	89,17%	1797,63	0,204648224	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2005	8760	1158128	403	403	95,40%	115,33%	2316,256	0,264412785	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2006	8760	989922	100	100	98,86%	84,51%	1979,844	0,226009589	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2007	8760	1036055	896	856	90,23%	97,71%	2072,11	0,236542237	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2008	8784	915775	86	10	99,89%	90,65%	1831,55	0,208509791	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2009	8760	851317	766	576	93,42%	88,02%	1702,634	0,194364612	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2010	8760	845124	1239	1142	86,96%	72,89%	1690,248	0,192950685	
Huikku	65,0369	25,068333	500	41	37,3	2011	8760	869523	1570	1345	84,65%	98,96%	1739,046	0,198521233	
Marjaniemi 3	Hailuoto	Marjaniemi	04.1995												
Nimi	LAT	LON	Nimellisteho	Napakorkeus	Roottorin koko	Vuosi	vuoden tunnit	Tuotanto	SumOfHäiriöaika	SumOfKaytettävyaika	Tekninen käytettävyyys	Tuotantoindeksi	Huipun käyttöaika	Kapasiteettikerroin CF	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	1995	6600	838075	0	0	100,00%	110,90%	1676,15	0,253962121	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	1996	8784	1031483	261	261	97,03%	91,53%	2062,966	0,234854964	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	1997	8760	1229908	16	16	99,82%	99,13%	2459,816	0,280800913	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	1998	8760	1147020	55	52	99,41%	89,27%	2294,04	0,261876712	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	1999	8760	1081379	113	8	99,91%	86,73%	2162,758	0,246890183	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2000	8784	967058	1423	1423	83,80%	96,63%	1934,116	0,220186248	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2001	8760	875118	1223	1223	86,04%	85,16%	1750,236	0,19979863	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2002	8760	715213	0	0	100,00%	73,41%	1430,426	0,163290639	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2003	8760	1187552	0	0	100,00%	101,61%	2375,104	0,271130594	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2004	8784	1008626	127	127	98,55%	89,17%	2017,252	0,229650729	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2005	8760	348151	6800	6800	22,37%	115,33%	696,302	0,079486653	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2006	8760	827649	1207	1207	86,22%	84,51%	1655,298	0,188960959	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2007	8760	912944	2238	2205	74,83%	97,71%	1825,888	0,208434703	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2008	8784	1096588	224	190	97,84%	90,65%	2193,176	0,249678506	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2009	8760	990337	480	426	95,14%	88,02%	1980,674	0,226104338	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2010	8760	858320	1051	1025	88,30%	72,89%	1716,64	0,19596347	
Marjaniemi 3	65,0386	24,558333	500	36	37,3	2011	8760	902065	1939	1875	78,60%	98,96%	1804,13	0,205950913	

## Liite 15. Laskuesimerkki.

Siikajoen Säikän laitokselle tehty vuosituotantoarvio korkeuskorjatulla tuulen nopeus arvolla ja painoitettulla tehokertoimella.

Tuulennopeus	Teho (PV -käyrä)	Tuulen teho	Tehokerroin/hyötysuhde	
m/s	kW	kW	Cp/(n)	
0	0	0.00	#DIV/0!	
0.5	0	0.06		0
1	0	0.46		0
1.5	0	1.56		0
2	0	3.69		0
2.5	0	7.22		0
3	0	12.47		0
3.5	0	19.80		0
4	0	29.56		0
4.5	0	42.08		0
5	0	57.73		0
5.5	16.5	76.84	0.214742714	
6	32.9	99.75	0.329810675	
6.5	50.3	126.83	0.39659796	
7	67.6	158.41	0.426751579	
7.5	86.9	194.83	0.446024328	
8	106.2	236.45	0.449135224	
8.5	128	283.62	0.451310828	
9	149.7	336.67	0.444648502	
9.5	170	395.96	0.429339322	
10	190.3	461.83	0.412060846	
10.5	209.2	534.62	0.391305853	
11	228	614.69	0.370919233	
11.5	245.8	702.38	0.349953965	
12	263.5	798.03	0.330186599	
12.5	279.7	902.00	0.31008802	
13	295.8	1014.63	0.291534982	
13.5	308	1136.26	0.271064081	
14	320.2	1267.25	0.25267355	
14.5	327.6	1407.93	0.232681818	
15	334.9	1558.66	0.214864136	
15.5	337.4	1719.78	0.196188047	Tiheys, ilma 1.225 kg/m <sup>3</sup>
16	339.8	1891.64	0.179632944	Keskinopeus, vuosi 5.95 m/s
16.5	340.2	2074.58	0.163985345	Pyyhkäisy pinta-ala NTK 300/31 754 m <sup>2</sup>
17	340.5	2268.95	0.150069665	
17.5	338.5	2475.09	0.136762518	
18	336.5	2693.36	0.124936724	
18.5	332.8	2924.10	0.113812691	
19	329	3167.66	0.103862233	
19.5	325.6	3424.37	0.095083054	
<b>Painotettu KA</b>			<b>0.366573526</b>	
				Teho P 58.22149 kW
				Tuotanto E 510020.3 kWh

## **Liite 16. Työseloste.**

**Ilmatieteenlaitokselle tehty seloste, josta ilmenee, miten Tuuliatlaksesta on tuulisuustiedot poimittu ja kuinka tuotantoarviot on tehty.**

Henrik Larjava

Turun Ammattikorkeakoulu

Ilmatieteenlaitokselle 15.5.2012

# Atlasarvioinnin kuvaus

---



## Sisältö

Johdanto .....	3
Atlasarviointi.....	4
VAIHE 1.....	5
VAIHE 2.....	9
VAIHE 3.....	11
Arvion vertailu toteutuneisiin tuotantoihin .....	13
Yhteenveto .....	13
Liitteet .....	14
Kuva 1. Tuuliatlakseen simuloitujen vuosien kuukaudet (Suomen Tuuliatlas) .....	3
Kuva 2. Tuuliatlaksen työkalupalkki ja tulosalue.....	5
Kuva 3. Kohteen rajaus .....	6
Kuva 5. Google Maps sijaintitiedot.....	7
Kuva 4. Kohteen rajaus (Mittakaava 1:20000) .....	7
Kuva 6. Tuulennopeuden ja tuotantotappioarvion määrittäminen vuositasolla .....	8
Kuva 7. Tiedonhaku valitulta alueelta .....	8
Kuva 8. WAsP Käyttöliittymä, Lib -työtaso. Vasemmalta oikealle: Tuuliruusu, Weibull –jakauma valitulle korkeudelle (z) ja rosoisuudelle (R-class). .....	10
Kuva 9. Korsnäs 1-4 maastokuva .....	11
Kuva 10. Mitattujen tuulennopeuksien frekvenssit ja sovitus tilastolliseen jakaumaan (Suomen Tuuliatlas) .....	11

## Johdanto

Suomen tuuliatlaksen laskennassa on valittu tietty ajanjakso kuvaamaan parhaiten Suomen tuulisuusolosuhteita. Ajanjakso on valittu tutkimalla tietokantaa Suomen olosuhteista viimeiseltä viideltäkymmeneltä vuodelta. Tämän perusteella Suomelle tyypillisiä oloja kuvaamaan valittiin ajanjaksoksi 1989-2007. (Suomen Tuuliatlas, mallinnus)

Tuuliatlakseen on valittu neljän vuoden eri kuukauden tiedot kuvaamaan mahdollisimman edustavalla tavalla kyseisen kuukauden tuulisuusolosuhteita. Lisäksi on mallinnettu referenssivuosi kyseisen kuukauden heikko- ja kovatuulisin vuosi (kuva 1.).

Suomen Tuuliatlasta varten säämallilla simuloituvat kuukaudet						
	Vuodet joilta valittujen kuukausien kombinaatio edustaa parhaiten jakson 1989–2007 tuuliilmastoa				Kova- tuulinen referenssi- vuosi	Heikko- tuulinen referenssi- vuosi
Tammikuu	1991	1993	2000	2007	1989	2004
Helmikuu	1989	1992	1998	2006	1989	1994
Maaliskuu	1991	1994	2002	2006	1997	2006
Huhtikuu	2000	2003	2005	2005	2007	2004
Toukokuu	1991	1996	2000	2005	2000	1994
Kesäkuu	1989	1991	1992	1994	2000	1997
Heinäkuu	1992	2000	2002	2006	1999	1997
Elokuu	1994	1997	2001	2007	2005	2006
Syyskuu	1991	1996	2003	2006	2005	1993
Lokakuu	1995	1997	1998	1999	2005	1992
Marraskuu	1992	1997	2004	2005	1999	2002
Joulukuu	1989	1990	2000	2002	1992	2000

Kuva 1. Tuuliatlakseen simuloitujen vuosien kuukaudet (Suomen Tuuliatlas)

Atlasarvot on tehty laitoksille karttaliittymästä ladattavissa olevasta Lib –tiedostosta. Tiedosto on avattu WASP –ohjelmalla ja tuulennopeusarvot (0-25 m/s, 0,5 m/s välein) luettu Weibull – jakaumasta, joka on mallinnettu kuvaamaan edustavasti vuoden tuulisuutta.

## Atlasarviointi

Arvion tekemisen voi jakaa vaiheisiin mikä helpottaa Atlaksesta saatavan tietojen arviointia ja sen kuvaamista sekä itse laskutoimituksen suorittamista:

- Vaihe 1. Atlastiedot karttaliittymästä laitostietojen perusteella
- Vaihe 2. Lib –tiedoston arvojen lukeminen ja tulkinta (rosoisuudet,napakorkeus)
- Vaihe 3. Laitoksen keskitehon laskeminen tuulennopeushavaintojen perusteella ja keskimääräisen vuosituotannon arvioiminen ja sitä alentavien tekijöiden huomioiminen

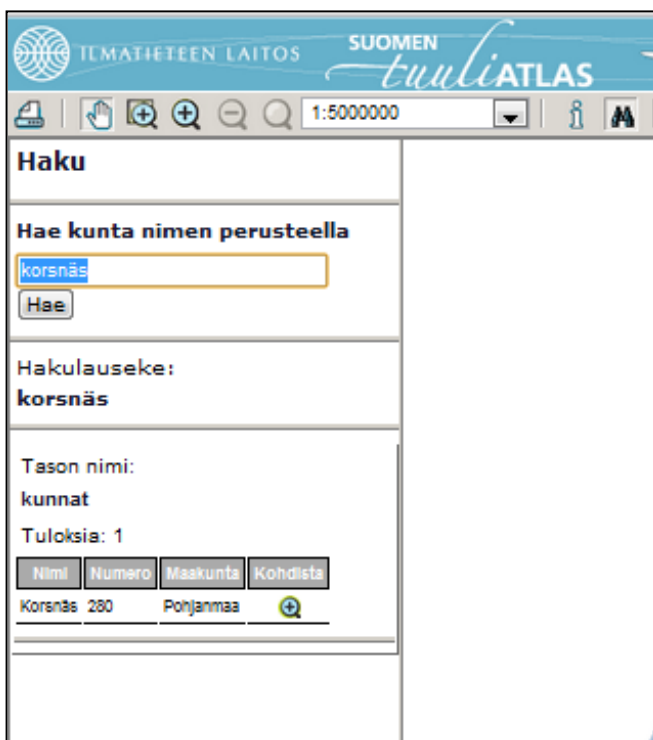
Seuraavassa selvitetään vaiheittain tapahtuman kulku, esimerkiksi on valittu Korsnäsin sijainti ja laitoksen tuotantoarvio.

## VAIHE 1

Tuuliatlaksen internet –pohjaisesta karttaliittymästä ladattava tieto saadaan määritettyä laitostietojen perusteella mikäli on riittävästi tietoa käytettävissä. Korsnäsän voimaloista on käytössä seuraavanlaiset tiedot tuuliatlaksen kohdistamiseen mahdollisimman tarkasti:

- Leveys- ja pituusaste
- Sijointipaikkakunta

Tuuliatlaksesta saatava tiedonhaku aloitetaan siirtymällä karttaliittymän internet –sivuille<sup>1</sup>. Sivuille päästyä siirrytään työkalupalkin kohtaan.



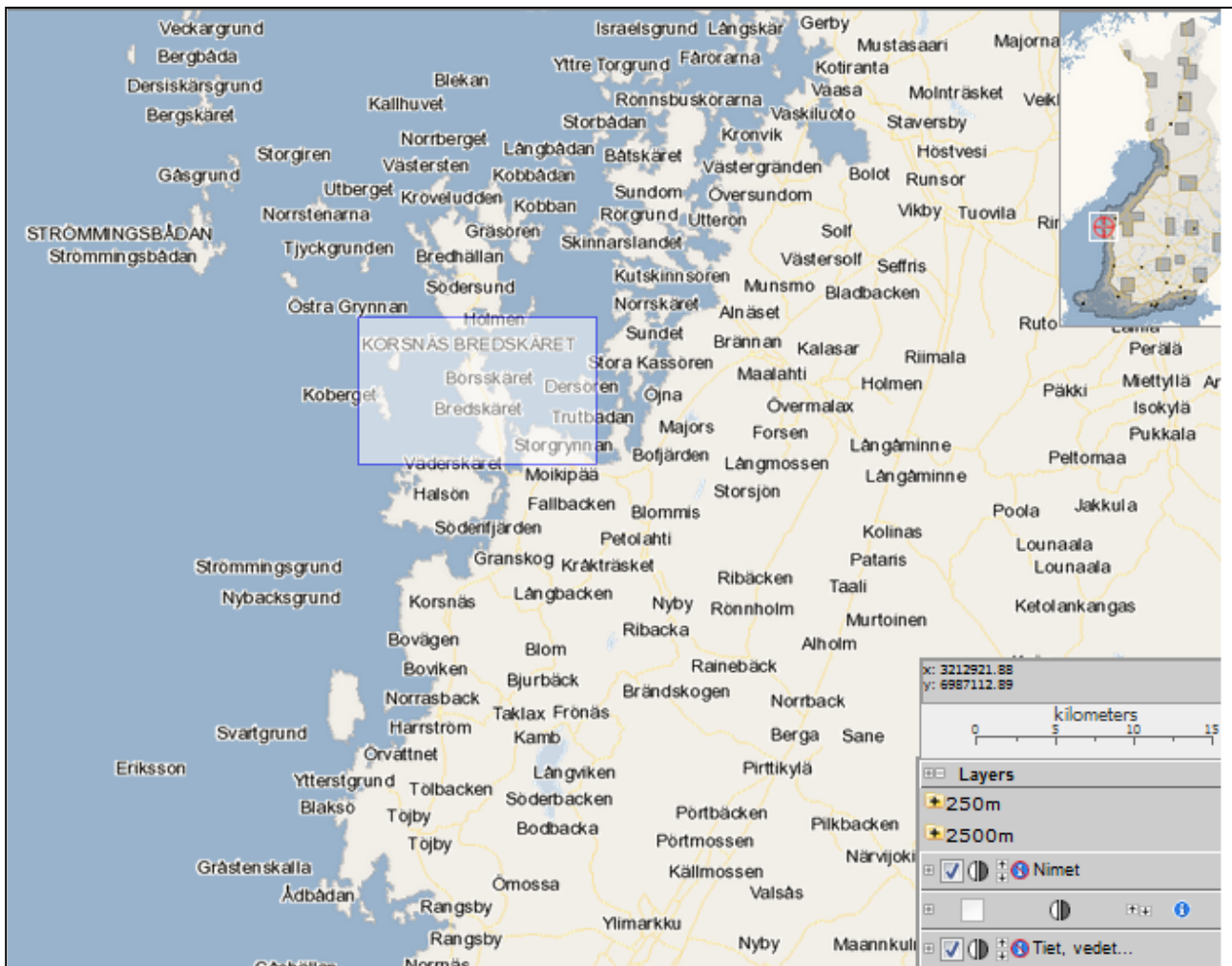
Kuva 2. Tuuliatlaksen työkalupalkki ja tulosalue

Mustia kiikareita esittävästä kuvakkeesta saadaan esille hakukenttä, johon voidaan kirjoittaa sijointipaikkakunnan nimi ja etsiä tasoista haluttu kunta. Tämän jälkeen kohdistetaan (suurennuslasi –kuvake tulosalueella, kuva 2.) hakukriteeriä vastaava taso ja näkymä muuttuu automaattisesti.

Seuraavaksi tarkennetaan aluetta vieläkin lähemmäksi, jotta päästään mahdollisimman lähelle kohdealuetta. Karttaliittymän oikeassa alanurkassa näkyvistä tasoista valitaan aktiiviseksi 'Nimet' välilehti jolloin saadaan paikannimet esille ja alue voidaan tarkentaa nimetylle paikalle. Korsnäsän tapauksessa

tarkennetaan alueelle nimeltä 'KORSNÄS BREDSKÄRET' käyttämällä työkalupalkissa (ks. kuva edellä) olevaa pienempää suurennuslasikuvaketta, jonka sisällä plusmerkki ja taustalla neliö, jolla voidaan rajata alue halutulle kohdalle (ks. kuva 3.). Tarkennus tapahtuu automaattisesti ja alue voidaan vielä rajata lähemmäksi jolloin mittakaava on pienimmillään 1:20000 (Kuva 5).

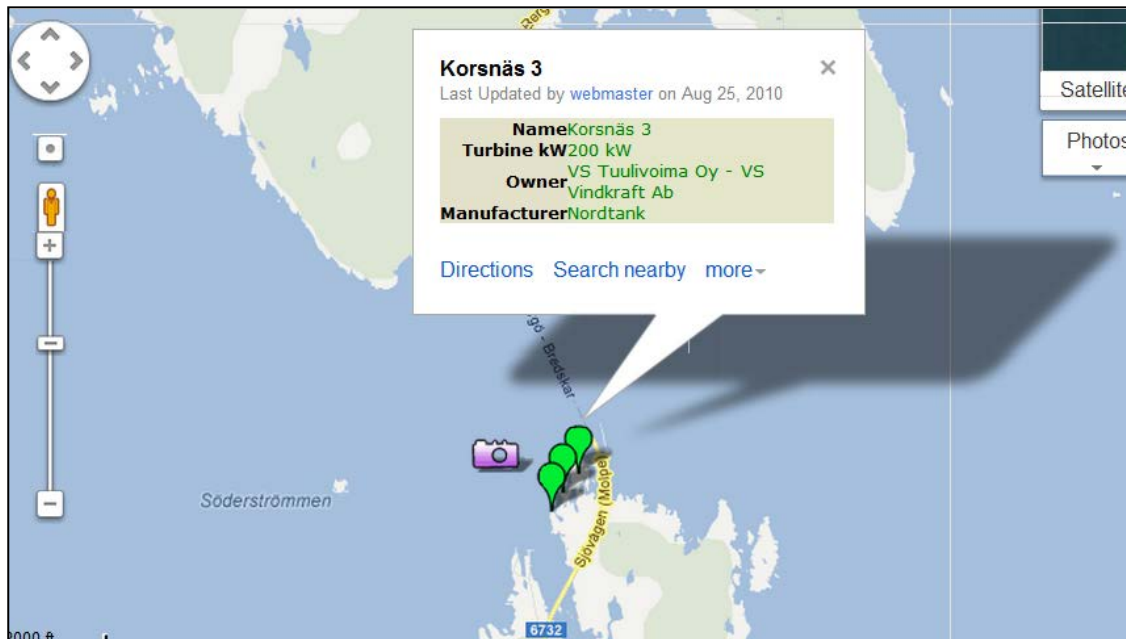
<sup>1</sup> Suomen Tuuliatlas karttaliittymä: <http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/>



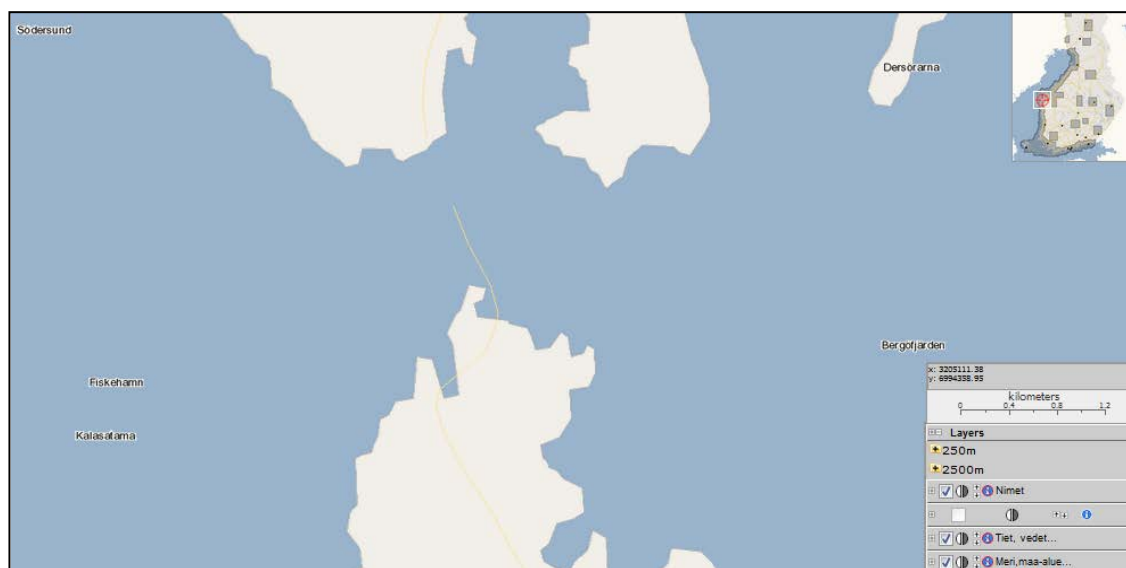
Kuva 3. Kohteen rajaus

Seuraavaksi varmistetaan laitosten tarkempi sijainti esimerkiksi Google Maps –sivustolle kerättyjen sijaintitietojen perusteella<sup>2</sup>. Sivustolla on listattu useimmat Suomen tuulivoimalaitokset, mutta uusimmat (2011 loppuvuosi ->) ja ennen vuotta 2010 poistuneet laitokset eivät ole mukana. Kuvassa 4 näkyvää kamera -kuvaketta käytetään hyväksi Vaiheessa 2, kun arvioidaan maaston rosoisuuksia.

<sup>2</sup> Suomen tuulivoimalaitokset, Google Maps –sivustolla saatavissa osoitteesta:  
<http://maps.google.com/maps/ms?hl=en&ie=UTF8&msa=0&msid=110320599692552191340.00046d1215f04d21e1fd&z=5>



Kuva 4. Google Maps sijaintitiedot

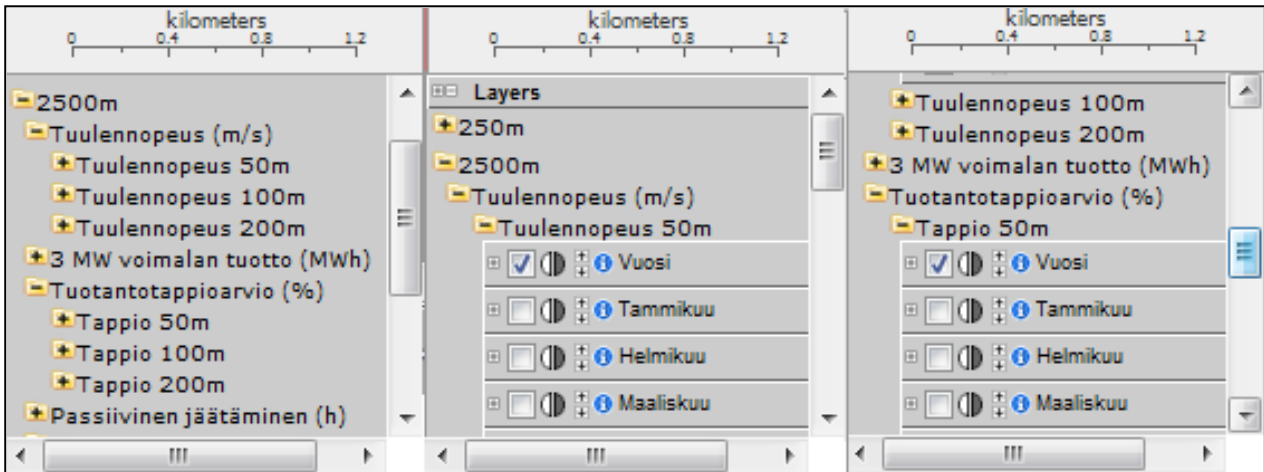


Kuva 5. Kohteen rajaus (Mittakaava 1:20000)

Kun haluttu alue ollaan saatu rajattua mahdollisimman lähelle ja tarkasti, on mahdollista aloittaa tarvittavan tiedon kerääminen. Se tapahtuu valitsemalla tasovalikosta haluttu hilakoko (250 m tai 2500 m) ja muut tarpeelliset tiedot. Tässä tapauksessa tarkastellaan tuulisuusoloja vuositasolla ja valitaan seuraavat:

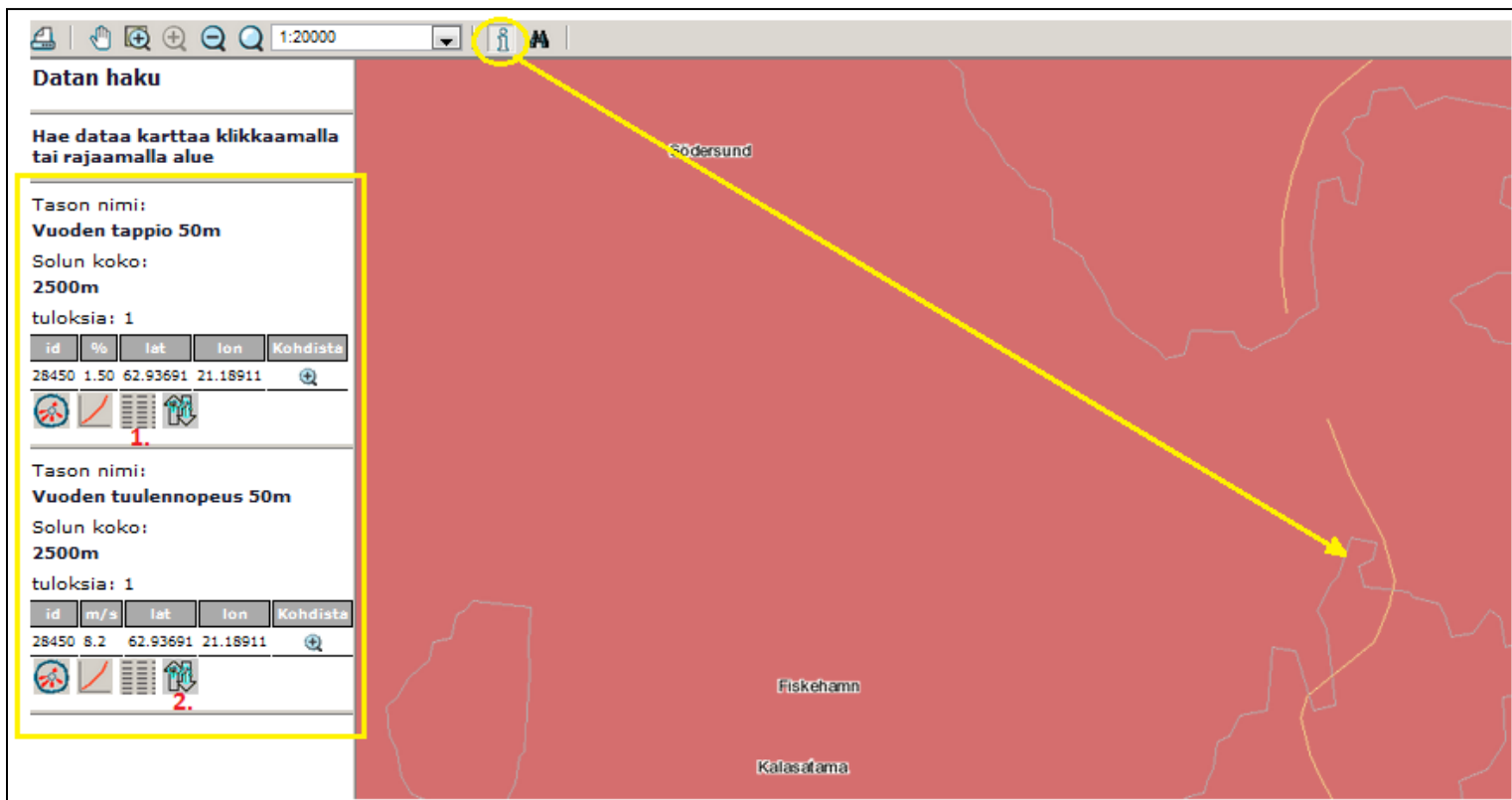
- Hilakoko 2500m
- Tuulenoisuus (m/s)->Tuulenoisuus 50m-> vuosi aktiiviseksi
- Tuotantotappioarvio (%)->Tappio 50m-> vuosi aktiiviseksi

Edellämainittu on havainnollistettu myös kuvassa 6.



Kuva 6. Tuulennopeuden ja tuotantotappioarvion määrittäminen vuositasonalla

Valintojen jälkeen karttaliittymä muuttuu väriltään punaiseksi ja tiedot voidaan lukea joko tulosalueelta tai lataamalla eri muodoissa olevia tiedostoja omalle koneelle. Tiedot saadaan esille käyttämällä työkalupalkissa olevaa i-kuvaketta ja osoittamalla hiirellä halutulle alueelle. Toimintamalli on esitetty kuvassa 7, missä tulosalueelta merkityistä numeroista voi ladata tiedot



Kuva 7. Tiedonhaku valitulta alueelta

taulukkomuodossa (1.) ja WAsP –tiedostona (2.). Taulukon latauskuvakkeesta vasemmalle siirryttäessä voi halutessaan nähdä ensin tuulennopeusprofiilin ja sitten tuuliruusun.

Tuloksista voidaan lukea myös pituus- ja leveysaste, jotka täsmäävät melko tarkasti laitoksista tilastoituihin paikkatietoihin (Korsnäs, LAT: 62.931944 LON: 21.188889).

## VAIHE 2.

Tuuliatlaksesta ladattavan Lib –tiedoston avaamiseen on tarkoitettu Risø DTU:n kehittämä työkalu WAsP. Ohjelmaa voidaan soveltaa moniin eri käyttötarkoituksiin, sitä voidaan käyttää mm. tuulivoimaloiden sijoituspaikkojen optimointiin, tuulipuistojen tehokkuus- ja tuotantoarviointiin sekä tuuliresurssien mallintamiseen ja analysointiin. Tässä työssä hyödynnetään jälkimmäistä. Ohjelman saa ladattua veloitusetta ilman lisenssiä ohjelman kotisivuilta<sup>3</sup>. (WAsP kotisivut)

Edellämainutun tiedoston saa ladattua Tuuliatlaksesta vain valitulla hilakoolla (2500m), koska tarkempi (250m) rajaa vaihtoehdot vain taulukkotietoon ja tuulennopeusprofiiliin. Lib –tiedostossa esitetään tuulisuusolosuhteet vuotuisella tasolla. Ohjelmalla voidaan määrittää tuulennopeuksien tilastollinen Weibull –jakauma eri korkeuksille (10 m, 25 m, 50 m, 100 m ja 200 m) ja maaston rosoisuuksille (0.000 m, 0.030 m, 0.100 m, 0.400 m, 1.500 m). Tiedostosta näkee myös tuuliruusun vallitsevalla korkeudella ja rosoisuudella sekä tuulen keskinopeuden (U) ja energiasisällön (P). A on Weibull –jakauman skaalausparametri ja k on muotoparametri. Käyttöliittymä on havainnollistettu kuvassa 8.

Kuvasta 8 luetaan Korsnäsille tiedot seuraavilla kriteereillä:

- Nordtank NTK 200F napakorkeus 32,5 m -> valitaan korkeudeksi (z) 50 m
- Maaston rosoisuus R –class 1 (0,030 m) -> määritetty Google Maps –karttaliittymään liitetyn kuvan (kuva 9.) perusteella ja taulukoiduista rosoisuusarvioista (ks. taulukko 1.)

Maaston rosoisuus on arvioitu Korsnäsän sijainnin ja kuvan perusteella, laitokset sijaitsevat melko aukealla alueella jossa on vähäisiä maastoesteitä. Rosoisuuden arviointi on tehty karkeasti.

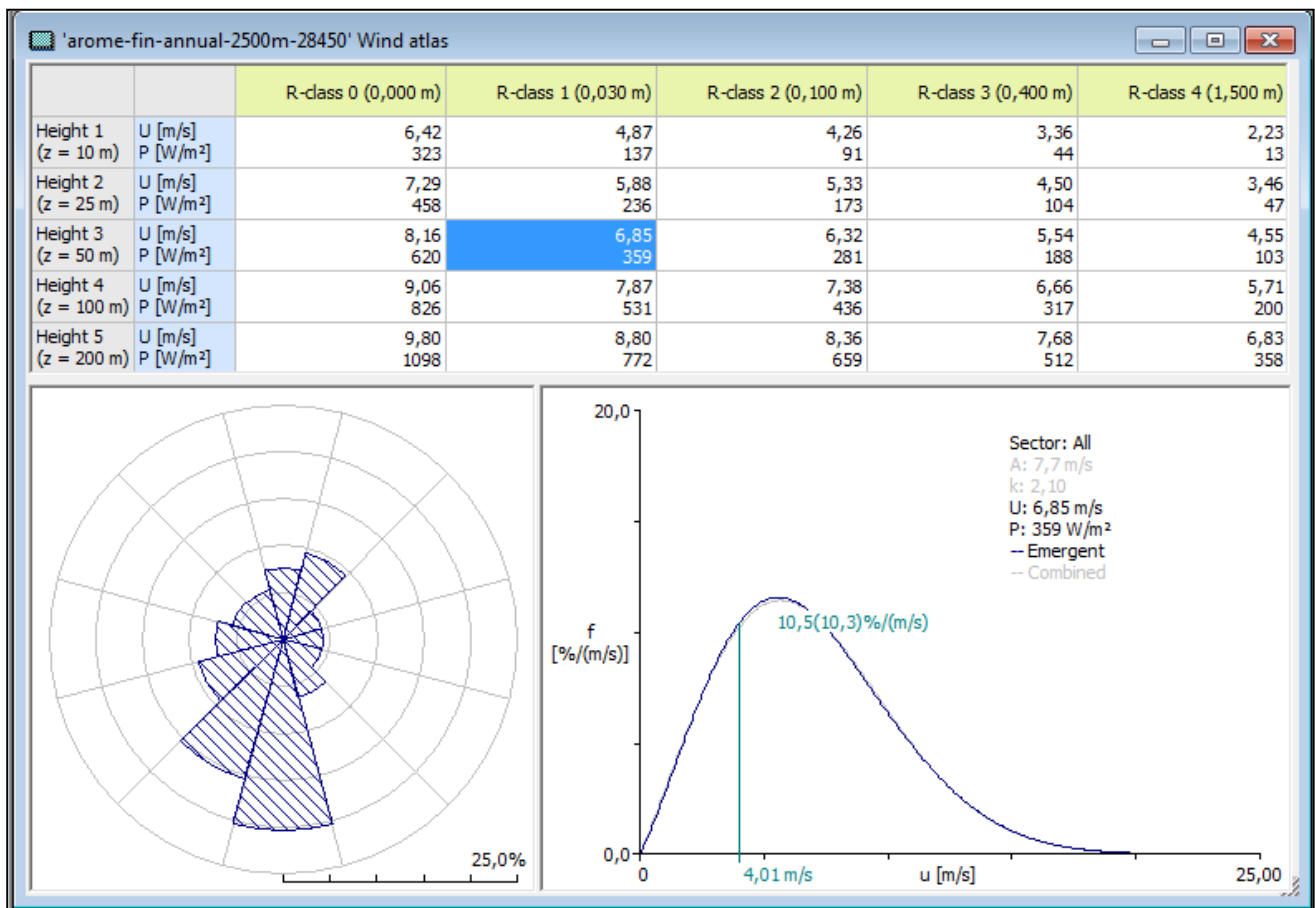
---

<sup>3</sup> WAsP ohjelma: <http://www.wasp.dk/Products/WAsP.aspx>



Taulukko 1. Maaston rosoisuudet (Tuulivoimatieto)

maastotyyppi	$z_0$ (m)
Tyyne sisäjärvi	0,000023
Tasainen meren jää	0,0004
Rikkonainen meren jää	0,0015-0,004
Laaja peltoaukea	0,03
Luminen laaja peltoaukea	0,03
Viljapello (vilja 60 cm)	0,2-0,9
Metsä/rannikko	0,3-3
Täysikasvuinen havumetsä	1,5
Suurten kaupunkien keskusta	1-3



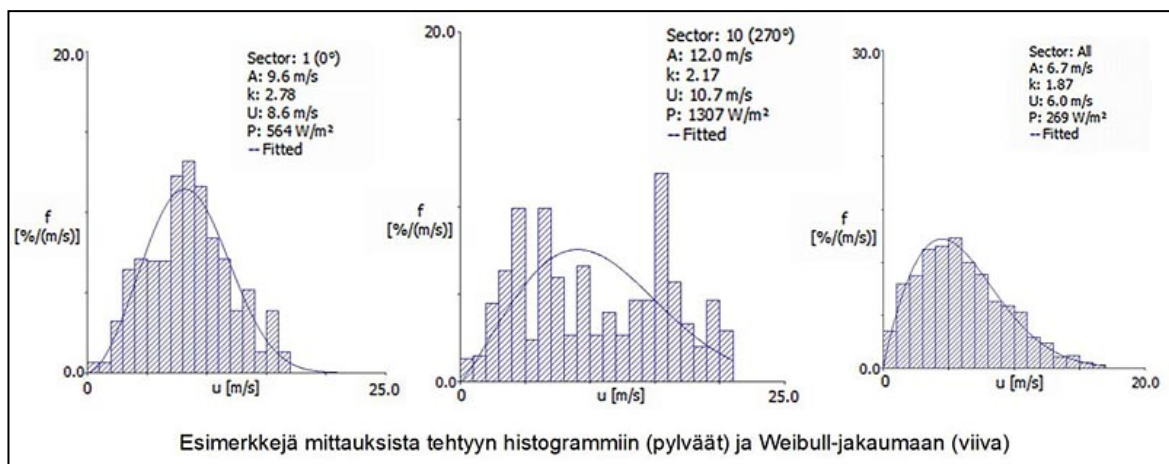
Kuva 8. WAsP Käyttöliittymä, Lib -työtaso. Vasemmalta oikealle: Tuuliruusu, Weibull -jakauma valitulle korkeudelle (z) ja rosoisuudelle (R-class).



Kuva 9. Korsnäs 1-4 maastokuva

**VAIHE 3.**

Tuuliatlaksesta on saatavana frekvenssitiedot tuulennopeuksille myös taulukkomuodossa eri korkeuksille, mutta Weibull –jakaumasta voi lukea tarkemmin arvoja kaikilta sektoreilta ja tuulennopeuksilta sekä määrittää paremmin esim. Korsnäsin laitoksen ( NTK 200F, käynnistymistuulennopeus 4 m/s) tehokäyrän perusteella keskiteho. Taulukoissa esitetyt frekvenssitiedot 50 m korkeudella alkavat vasta 5,7 m/s. WAsP ohjelmalla pystytään siis lukemaan arvoja 1 m/s välein ja mikäli halutaan tarkempia, 0,5 m/s välein, on syytä jakaa luetut frekvenssitulokset puoleen. Histogrammit, joihin on sovitettu tilastollinen jakauma, on määritetty 1 m/s välein (ks. kuva 10.).



Kuva 10. Mitattujen tuulennopeuksien frekvenssit ja sovitus tilastolliseen jakaumaan (Suomen Tuuliatlas)

Esimerkkitapauksessa on siis luettu valmistajan antamien tietojen perusteella tehokäyrästä (NTK 200F) tuotettu teho tietyille tuulennopeuksille. Jotta saataisiin mahdollisimman tarkasti keskiteho edustamaan vallitsevia tuulisuusoloja, on tuulennopeuksien frekvenssit luettu 0,5 m/s välein. Liikuttamalla hiiren osoitinta WASP –ohjelmassa olevalla jakaumalla (kuva 8.) voidaan lukea halutut frekvenssitiedot. Luetut frekvenssitiedot tuulennopeuksille ja valmistajan tehotietojen perusteella laskettu keskiteho on määritetty tarkemmin liitteessä 1.

Keskiteho on laskettu vuotuisten tuuliolojen perusteella ja tulokseksi saatiin n. 57,08.. kW. Keskimääräinen vuosituotantoarvio saadaan kertomalla keskiteho vuoden tunneilla:

$$E_{vuotuinen} = P_{keski} \cdot h_{vuosi}$$

Vuoden tunneille annetaan arvoksi 8760 h (24 h x 365 d), vuotuiseksi tuotantoarvioksi saadaan siis:

$$E_{vuotuinen} = 57,08375 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} = 500053,65 \text{ kWh} \approx 500 \text{ MWh}$$

Vuotuinen tuotantoarvio perustuu näin luettuihin tuulennopeusarvoista määritettyyn keskitehoon. Arviota tehdessä täytyy myös ottaa huomioon sitä vähentävät tekijät kuten jäätymisestä aiheutuvat tuotantotappiot, mekaaniset häiriöt ja tuulipuiston varjovaikutus.

Suomen Tuuliatlas –karttaliittymästä on saatavilla % - arvio jään vaikutuksesta aiheutuviin tappioihin ( ks. kuva 7.). Lisäksi tuotantoarviota vähentäville häiriöille voidaan määrittää keskimääräinen % -luku. Atlasarvioita vähentävinä tekijöinä katsotaan siis seuraavat:

- Jäätämistappiot 1,5% (Korsnäs, vaihtelee alueittain)
- Käytettävyyshäily 5% (Keskimääräinen, todellinen vaihtelee laitoksittain 1-12%)
- Varjovaikutus 5% (Tuulipuistoissa, voimalasta toiselle aiheutuva varjostusefekti)

Edellämainituista käytettävyyshäily ja varjovaikutus pidetään opinnäytetyössä kaikille tuotantoarvioille samana. Varjovaikutus taas otetaan huomioon ainoastaan tuulipuistoille, yksittäisten voimaloiden tuotantoarviossa ei vähennystä siis tehdä. Jäätämistappioarvio vaihtelee alueittain ja se luetaan Tuuliatlaksen jäätämistappioarvioista.

Vähentämällä tappioarviot arvioidusta vuosituotannosta saadaan häiriökorjatuksi tuotannoksi:

$$E_{häiriökorjattu} = E_{vuotuinen} - (E_{vuotuinen} \cdot \text{häiriö \%})$$

Ja sijoittamalla arvot em. kaavaan saadaan häiriökorjatuksi tuotantoarvioksi n. 442,5 MWh.

## Arvion vertailu toteutuneisiin tuotantoihin

Laskettua tuotantoarviota alueittain ja laitoksittain vertaillaan toteutuneisiin tuotantoihin eri tavoin. Korsnäs in tapauksessa laitoksista on tilastoitu vuosi- ja kuukausituotantoja vuodesta 1992 lähtien. Näistä tiedoista koottuja keskimääräisiä tuotantoja verrataan keskenään ja arvioon.

Liitteessä 2 esitetään keskimääräiset vuosituotannot eri tavoin tehtynä ja vertailuarvio. Laitoksille Korsnäs 1-3 on otettu vertailuarvoksi keskimääräinen vuosituotanto ajalta 1992-2010, mukaan on siis otettu vain täydet vuodet (8760 h, muutama karkausvuosi mukana jolloin tunnit 8784 h). Korsnäs 4 poikkeaa siltä osin, että laitos on poistunut käytöstä vuonna 2009, jolloin keskimääräinen tuotanto on otettu ajalta 1992-2008. Tilastoituja tuotantoja on korjattu ylöspäin vastaamaan 100% tuotantoa ilman häiriöitä ja lisäksi vielä vuotuisilla tuotantoindeksillä. Liitteessä 2. on myös esitetty huipun käyttöaika (%/h) keskimääräisenä em. ajalle laitoksittain.

Atlaksen laskennalliselta ajalta tehty vuosituotanto on summattu atlaskuukausiin simuloitujen vuosien kuukausituotantotilastojen keskimääräisillä arvoilla. Esim. Tammikuulle on otettu vuosilta 1991, 1993, 2000 ja 2007 vuosien tammikuun kuukausituotannot ja niistä keskiarvo vastaamaan ko. kuukauden tuotantoa. Mikäli tilastoinnista puuttuu atlaksen käyttämä vuosi tai useampi, on se korvattu keskimääräisellä arvolla atlaksen ajalta esim. Korsnäsistä tammikuun 1991 tilastot puuttuvat -> korvattu tammikuun tilastoidulla keskiarvolla ajanjaksolta 1992-2007, jolloin se vastaa melko tarkasti tammikuun tuotantoja. Jos laitoksella on ollut huono käytettävyys ko. kuukaudelta, on tuotantoarvot korvattu viereisen laitoksen arvoilla. Puuttuvat kuukaudet ja huomiot käytettävyyksistä on ilmaistu liitteessä 5. Korsnäs in laitoksista kausituotantovaihtelut ja käytettävyyskorjatut tuotannot on kuvattu liitteessä 3.

## Yhteenveto

Esitetty työnkuvaus on toistettu opinnäytetyössä laitoksittain ja paikkakunnittain. Laitokset on valittu edustamaan Tuuliatlaksen laskennallista aikaa 1989-2007, jolloin saadaan todellisia tilastoituja tuotantoarvioita mukaan mahdollisimman paljon. Todellisten tuotantojen ja arvioiden vastaavuus vaihtelee alueittain ja laitoksittain. Vaihtelevuudet on kuvattu liitteessä 4.

Tuuliatlas arviot ja keskimääräiset vuosituotannot tilastoiduista laitoksista tullaan kuvaamaan yksityiskohtaisemmin myöhemmin julkaistavassa opinnäytetyössä.

## Liitteet

Liite 1. Tuulennopeusfrekvenssit ja tehokäyrästä laskettu keskiteho sekä vuosituotanto

Liite 2. Keskimääräiset vuosituotannot (Korsnäs 1-4)

Liite 3. Keskimääräinen kuukausituotanto Atlaksen laskennan ajalta

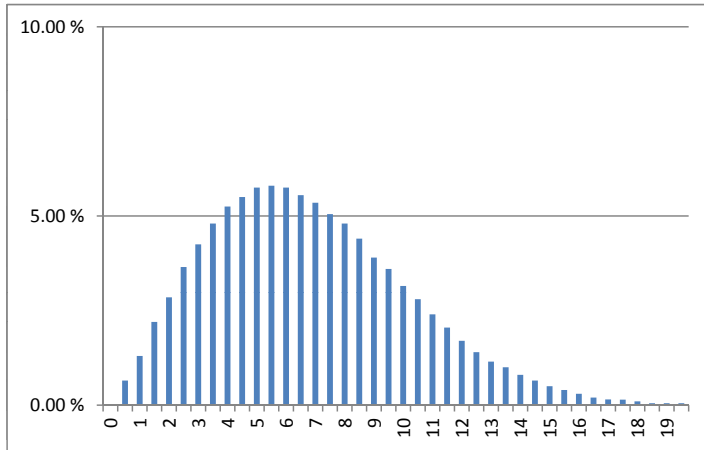
Liite 4. Vuosituotannot –Yhteenveto, valitut laitokset

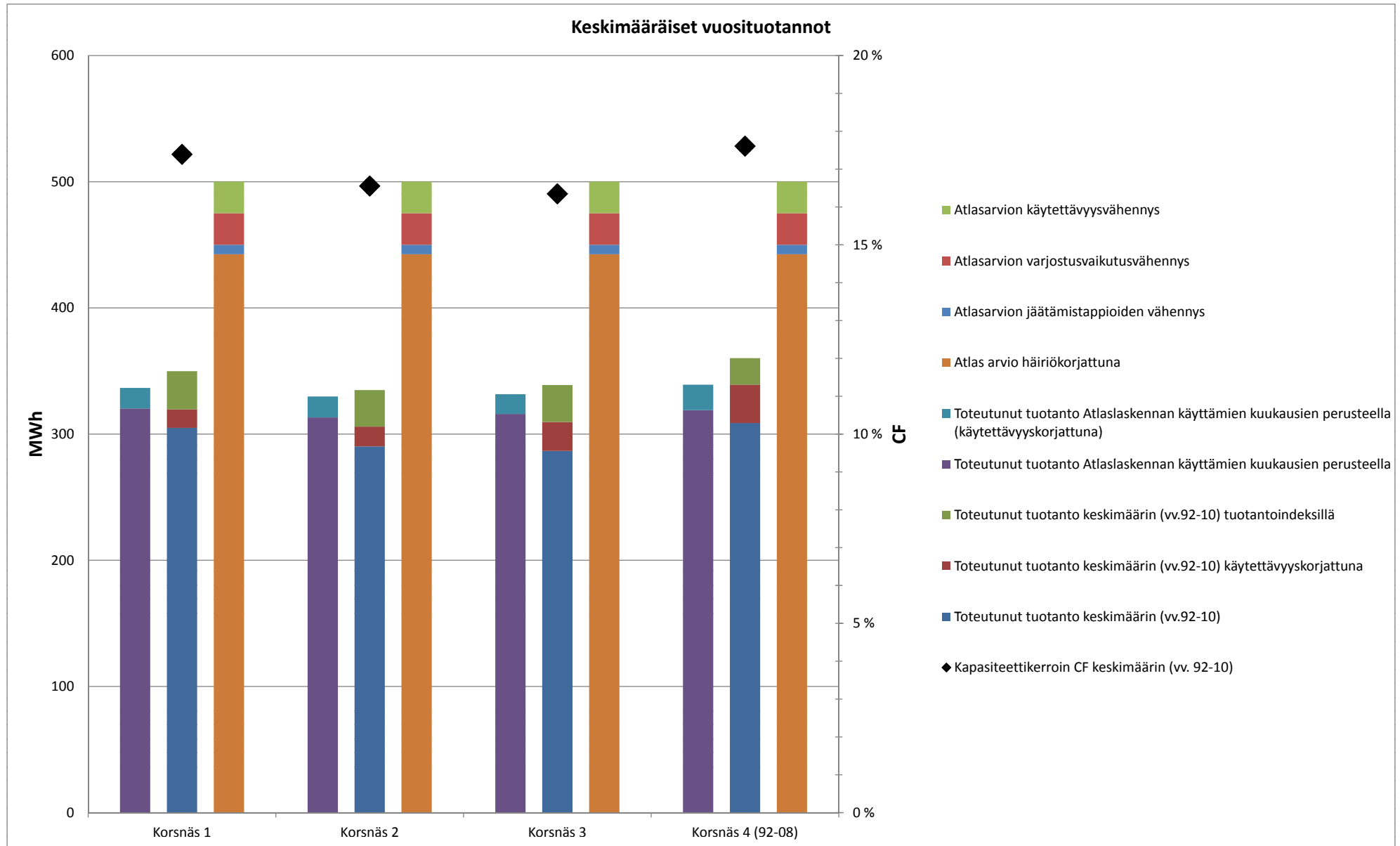
Liite 5. Atlaskuukausien tilastopuutteet ja huomiot

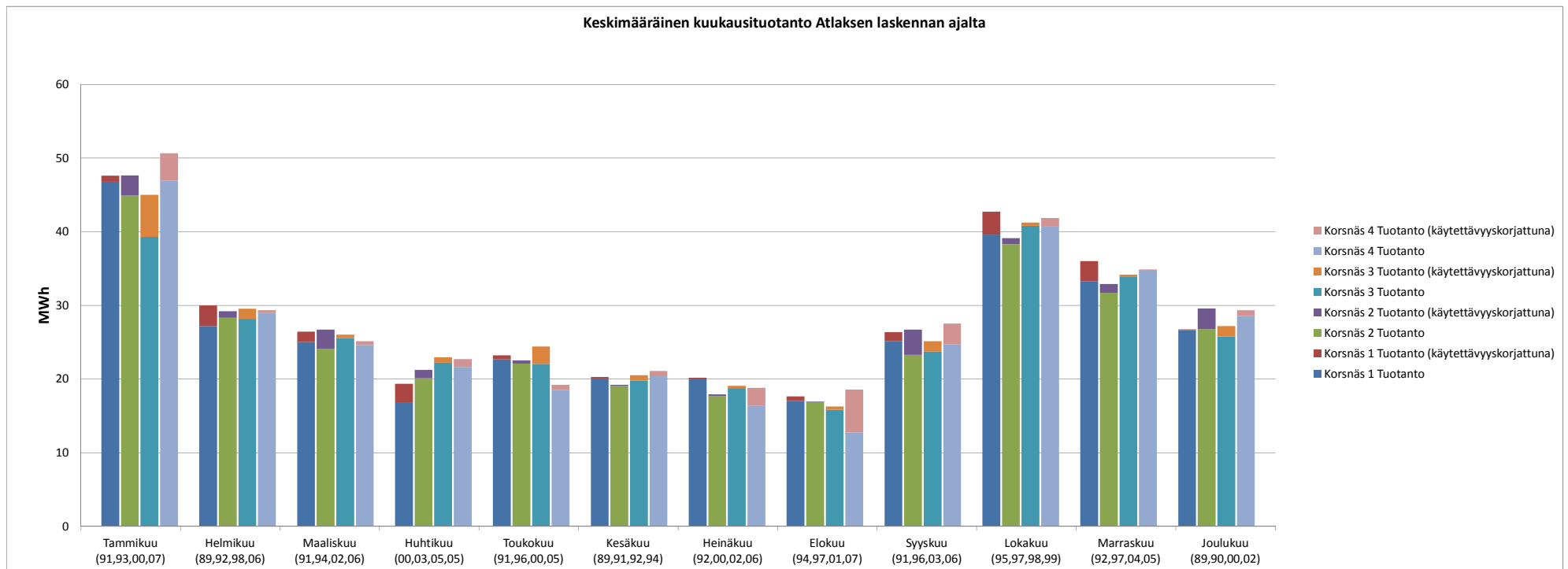
Weibull %	Wind speed m/s	Nordtank NTK200F Power output kW
0.00 %	0	0.0
0.65 %	0.5	0.0
1.30 %	1	0.0
2.20 %	1.5	0.0
2.85 %	2	0.0
3.65 %	2.5	0.0
4.25 %	3	0.0
4.80 %	3.5	0.0
5.25 %	4	0.0
5.50 %	4.5	5.0
5.75 %	5	7.5
5.80 %	5.5	20.0
5.75 %	6	27.5
5.55 %	6.5	30.0
5.35 %	7	50.0
5.05 %	7.5	62.5
4.80 %	8	72.5
4.40 %	8.5	87.5
3.90 %	9	100.0
3.60 %	9.5	112.5
3.15 %	10	125.0
2.80 %	10.5	137.5
2.40 %	11	150.0
2.05 %	11.5	162.5
1.70 %	12	175.0
1.40 %	12.5	180.0
1.15 %	13	187.5
1.00 %	13.5	200.0
0.80 %	14	200.0
0.65 %	14.5	200.0
0.50 %	15	200.0
0.40 %	15.5	200.0
0.30 %	16	200.0
0.20 %	16.5	200.0
0.15 %	17	200.0
0.15 %	17.5	200.0
0.10 %	18	200.0
0.05 %	18.5	200.0
0.05 %	19	200.0
0.05 %	19.5	200.0
99.45 %	20	200.0

Keskiteho (kW)  
57.08375

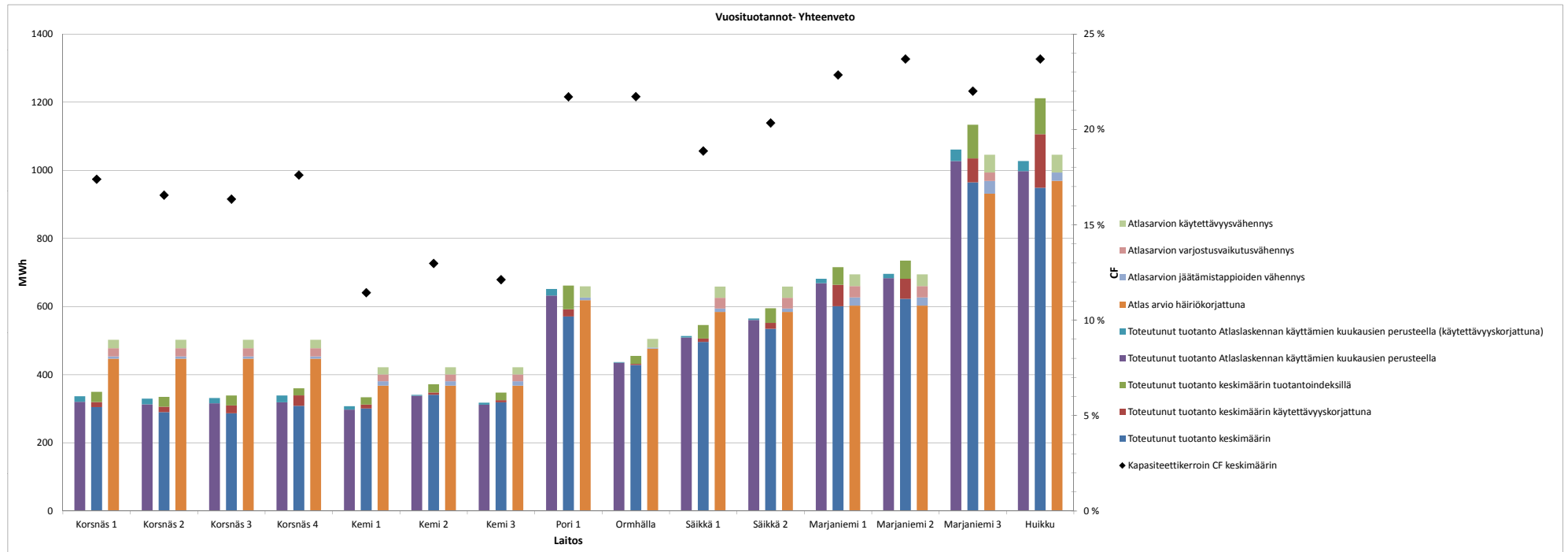
Keskimääräinen vuosituotanto (kWh)  
500053.65











Atlas kuukaudet	Puuttuu tilastoista		Korvaus
	Vuosi		Keskimääräinen tuotantoarvo (92-07)
Tammikuu (91,93,00,07)		91	x
Helmikuu (89,92,98,06)		89	x
Maaliskuu (91,94,02,06)		91	x
Huhtikuu (00,03,05,05)			
Toukokuu (91,96,00,05)		91	x
Kesäkuu (89,91,92,94)		89,91	x,x
Heinäkuu (92,00,02,06)			
Elokuu (94,97,01,07)			
Syyskuu (91,96,03,06)		91	x
Lokakuu (95,97,98,99)			
Marraskuu (92,97,04,05)			
Joulukuu (89,90,00,02)		89,90	x,x
Huomioita			
Korsnäs 1	Korsnäs 2		
	<p>Vuoden 06 helmikuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 1 (98.51%), koska käytettävyyks ollut 0%</p> <p>Vuoden 06 heinäkuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 1 (99.87%), koska käytettävyyks ollut alle 10%</p>		
Korsnäs 3	Korsnäs 4		
<p>Vuoden 07 elokuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 2 (98.66%), koska käytettävyyks ollut alle 10%</p>	<p>Vuoden 03 huhtikuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 3 (95.97%), koska käytettävyyks ollut 0%</p> <p>Vuoden 98 lokakuun tuotantoarvot korvattu viereisen voimalan arvoilla, Korsnäs 3 (95.97%), koska käytettävyyks ollut alle 0.5%</p>		