



TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka

Tutkintotyö

Elmer Veijalainen

## **PIENTUULIVOIMALAT**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2008

Yliopettaja Väinö Bergman  
Tampereen ammattikorkeakoulu

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkövoimatekniikka

Veijalainen, Elmer

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Marraskuu 2008

Hakusanat

Pientuulivoimalat

35 sivua

Yliopettaja Väinö Bergman

Tampereen ammattikorkeakoulu

tuulienergia, tuulivoima, tuulivoimala, pientuulivoimala

## TIIVISTELMÄ

Tarkoituksena oli selvittää pientuulivoimaloiden käyttöä Suomessa, niiden eri sovelluksia ja vertailla eri valmistajien samansuuruisia voimaloita keskenään. Tarkoituksena oli myös antaa lukijalle yleiskuva pientuulivoimaloista sekä tietoa, jota hän voi hyödyntää etsiessään ja vertaillessaan voimaloita omiin energiatarpeisiinsa.

Työssä käsiteltiin pientuulivoimaloiden käyttöä sähkön ja lämmön tuotantoon, ei vesipumppu- tai muuhun käyttöön. Pientuulivoimalan rakentamisen teoriaan ja voimalan rakenteeseen perehdyttiin tarkemmin. Työssä otettiin huomioon myös erilaiset energiatarpeet, esimerkiksi pientuulivoimalan käyttö mökillä tai omakotitalossa.

Tuloksena oli tietoa antava tutkintotyö, joka täytti asetetut tavoitteet. Eri voimaloiden vertaaminen osoittautui hankalaksi, sillä tietoa ja samoja suureita, vieläpä samansuuruisista voimaloista, oli vaikea löytää. Lisäksi paikalliset tuuliolosuhteet vaikuttavat ratkaisevasti tuulivoimalan energiantuotantoon.

# TAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electric Engineering

Veijalainen, Elmer

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Comissioning company

December 2008

Keywords

Small wind turbines

35 pages

Väinö Bergman

TAMK University of Applied Sciences

small wind turbines, wind energy, wind power, wind turbines

## ABSTRACT

The purpose was to explain the use of small wind turbines in Finland, different applications of them, and to compare small wind turbines of equal size from different manufacturers. Also, the purpose was to give a reader a general view of small wind turbines and information, which he could use in searching and comparing turbines to his own energy needs.

The work concerned the use of small wind turbines in electricity and heat production, not in water pump or any other production. The theory of small wind turbine's building and structure was examined more closely. The different energy needs were also taken into consideration, such as using turbine at summer cottage or house.

The result was an informative work, which complied the purpose. Comparing the different wind turbines was difficult, because information and quantities of equal size of turbines was hard to find. Additionally, the local wind conditions affect crucially to the energy production of a wind turbine.

## ALKUSANAT

Tuulivoiman ajankohtaisuus ja ”vihreys” saivat minut kiinnostumaan tästä ”ilmaisesta” energiamuodosta. Koska tuulivoimasta löytyi niin paljon materiaalia, enkä oikein osannut rajata aihealuetani, päätin tutkia pientuulivoimaloita. Tästä syntyikin selkeästi rajattu työ, johon oli helpompi paneutua.

Kiitän vaimoani, muita läheisiäni sekä valvovaa opettajaa saamastani tuesta ja kannustuksesta. Kiitokset myös Jumalalle, että sain voimia työn tekemiseen.

Tampereella 13.11.2008

Elmer Veijalainen

**SISÄLLYSLUETTELO**

ALKUSANAT.....	4
SISÄLLYSLUETTELO .....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TUULIVOIMA.....	7
3 PIENTUULIVOIMALA .....	10
3.1 Pientuulivoimalan tarve.....	11
3.2 Pientuulivoimalan käyttökohteet .....	12
3.2.1 Sähkön tuotanto mökeille .....	12
3.2.2 Verkkosähkön tuotanto kiinteistöihin.....	14
3.2.3 Kiinteistöjen lämmitys.....	14
4 PIENTUULIVOIMALAN RAKENNE JA RAKENNUSOHJEITA.....	16
4.1 Pientuulivoimalan osat .....	17
4.2 Myrskysuojaus.....	19
4.3 Potkuri ja napa .....	20
4.4 Pääakseli ja laakerointi .....	20
4.5 Vaihteisto.....	21
4.6 Generaattori .....	21
4.7 Runko ja tuulivoimalan masto.....	21
4.8 Säätöjärjestelmä.....	22
4.9 Kantaverkkokytkin ja lataussäädin.....	22
5 TEORIATAUSTAA TUULIVOIMALAN RAKENTAMISEEN.....	23
6 PIENTUULIVOIMALOIDEN VERTAILU .....	26
6.1 Pientuulivoimaloiden vertailuperusteita .....	26
6.2 Taulukkoarvot vertailussa.....	27
6.3 Tehokäyrät vertailussa – WP3KW ja Skystream 3.7 .....	28
7 KOKOLUOKAN VALINTA .....	30
8 SKYSTREAM 3.7 PIENTUULIVOIMALA .....	30
9 ARTIKKELEITA PIENTUULIVOIMALOISTA .....	32
9.1 Mökkikokoisen tuulivoimalan paikan voi löytää näppituntumalla .....	32
9.2 Energiayhtiö St1 .....	34
9.3 Tuulivoimalla energiaomavaraiseksi.....	35
9.4 Tuulivoimaa luomutiloille .....	37
YHTEENVETO .....	38
LÄHTEET .....	39

## **1 JOHDANTO**

Tehtävänäni oli tutkia pientuulivoimaloita. Työn tavoitteena oli antaa yleiskuva tämän hetken yleisimmistä pientuulivoimaloista, niiden käyttötarkoituksista ja eri sovelluksista. Aiheen valitsin oma-aloitteisesti henkilökohtaisen kiinnostukseni pohjalta.

## 2 TUULIVOIMA

Tuulivoimala muuttaa tuulessa olevan liike-energian mekaaniseksi pyörimisliikkeeksi ja siitä edelleen sähköksi. Yleisimmin tuulta kerätään roottorin avulla, jossa on kaksi tai kolme aerodynaamisesti muotoiltua lapaa. Ilman virtaus lavan ympäristössä saa aikaan nostevoiman, joka pyörittää roottoria. Kun tuulen nopeus laskee kolmasosaan tuulen kulkiessa siipiprofiilin ohi, saadaan maksimaalinen teho. Roottori pystyy teoriassa hyödyntämään tuulen liike-energiasta tällöin noin 60 %, mutta todellisuudessa roottorin hyötysuhde jää 50 %:iin. Tuulivoiman taloudellinen hyödyntäminen perustuu laajan pyyhkäisyypinta-alan peittämiseen ja pieniin materiaalikustannuksiin. Vallitsevaksi ratkaisuksi on muodostunut vaaka-akselinen rakenne, jossa roottori pyörii potkurina pystytasossa. /7/

Tuulivoima on uusiutuva energianlähde, joka soveltuu hyvin paikalliseen energiantuotantoon. Tuulivoiman käyttö hidastaa ilmastonmuutosta, mikäli sillä korvataan esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Tuulivoima on asennuksen jälkeen lähes ilmaista käyttää pieniä huoltotoimenpiteitä lukuun ottamatta. /17/

Tuulivoimalan tuottama teho on riippuvainen tuulen nopeudesta /17/. Tuulen sisältämä teho saadaan yhtälöstä:

$$P [\text{W}] = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi A$$

jossa

$\rho$  = ilman tiheys / [kg/ m<sup>3</sup>] standardiololoissa, siis meren pinnan tasolla, +15°C:ssa (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = tuulen nopeus / [m/s]

$A$  = tarkkailupinta-ala / [m<sup>2</sup>] (pyörähdyspinta-ala). /6/

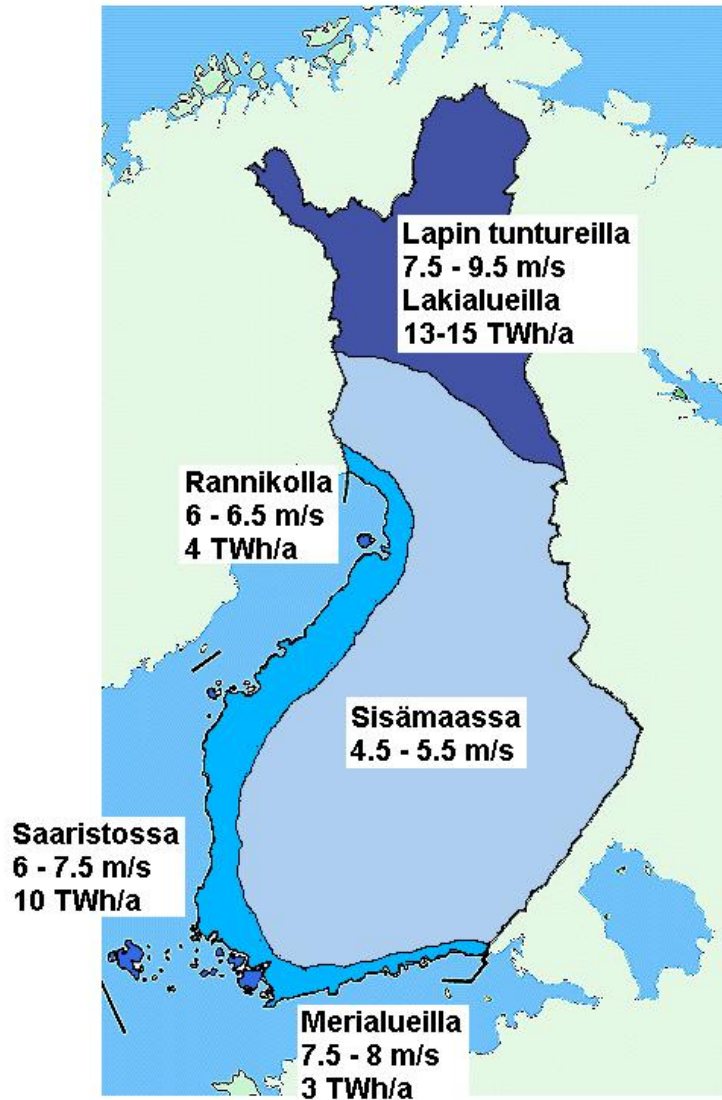
Voimalan tuottaman tehon riippuvuus tuulen nopeudesta ei ole suoraviivainen, vaan tehon tuoton näkee voimalan tehokäyrästä (kuva 5 s. 13). Voimalaa valittaessa tulee arvioida tehontarvetta ja paikallisia tuuliolosuhteita. /17/

### **Suomen tuuliolot**

Suomessa tuulusuus ja tuulen keskimääräinen energiasisältö ovat suurimpia merialueilla ja tunturien lakialueilla. Jälkimmäisen tuuliolosuhteet ovat jopa Euroopan mittakaavassa huippuluokkaa, ja rannikkoalueetkin ovat keskitasoa. Kuitenkin Suomi on useimpiin tuulivoimaa laajasti hyödyntäviin maihin verrattuna hyvin metsäinen maa. Metsä alkaa lähes poikkeuksetta rantaviivalta, ja suuremmat peltoaukeat ovat yleensä melko kaukana rannikosta. Näistä syistä johtuen on tuulivoiman verkkoon tuotanto keskittynyt pääasiassa meren rantaviivan tuntumaan ja sisämaassa tunturien ja vaarojen hupuille. /4/ Pientuulivoimaloiden sijoittumisesta ei ole tilastoa, mutta oletusarvoisesti tilanne on samansuuntainen, joskaan ei ehkä aivan yhtä selvästi; voidaan olettaa, että sisämaassa pientuulivoimaloita on suhteessa enemmän kuin suuria voimaloita.

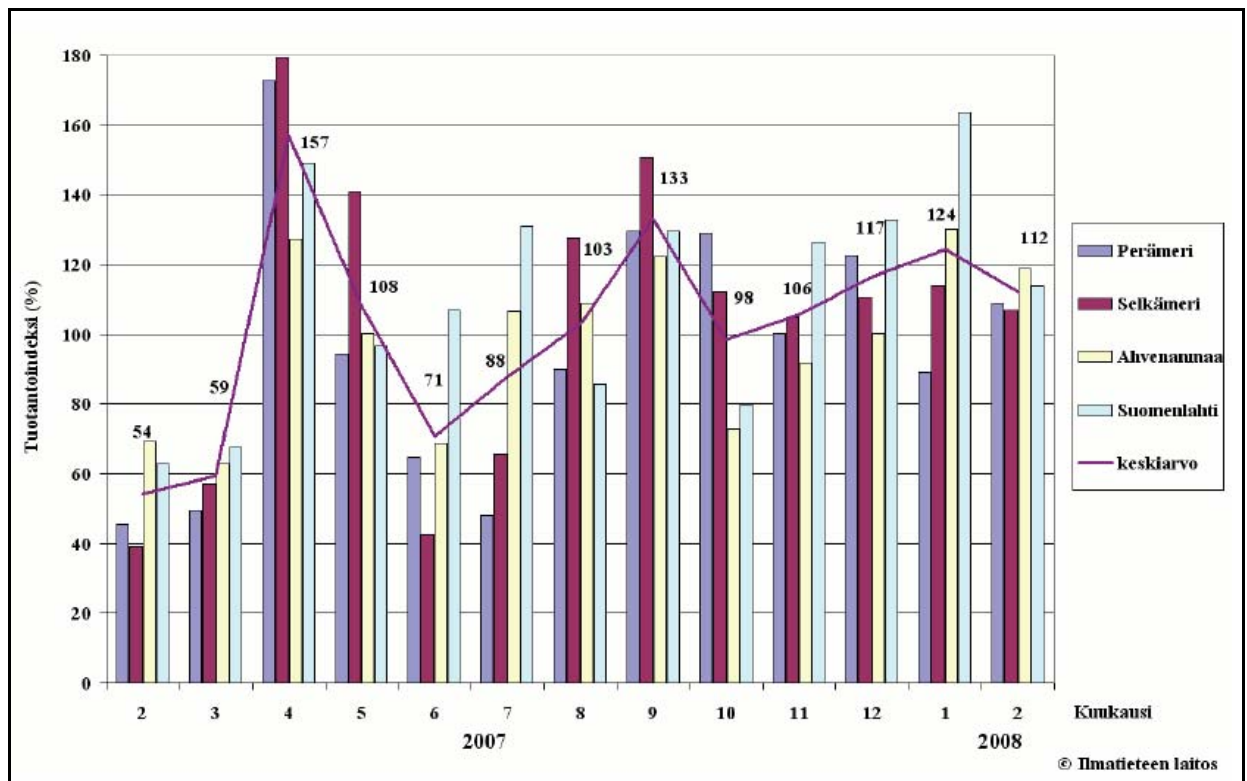
Ilmatieteenlaitoksen mittauksien mukaan Lapin tuntureilla tuulen keskinopeus on 7.5 - 9.5 m/s ja lakialueilla tuulienergiapotentiaali on 13 - 15 TWh/a (kuva 1). Rannikolla ja muutamia kymmeniä kilometrejä rannikosta tuulen keskinopeus on edullisilla alueilla 6 - 6.5 m/s ja siellä on mahdollista koota runsaat 4 TWh/a. Saaristossa tuulen keskinopeus mahdollisilla sijoituspaikoilla on 6 - 7.5 m/s. Ahvenanmaan ja Turun saaristossa tuulienergiapotentiaaliksi on arvioitu 10 TWh/a. Merialueilla tuulen keskinopeus on 7.5 - 8 m/s. Suomenlahden luodoilta saatava kokonaispotentiaali on 3 TWh/a. Sisämaassa tuulen keskinopeus tuulisilla alueilla, kuten mäkien laella on 4.5 - 5.5 m/s. Tuulienergiapotentiaalia ei ole laskettu. /4/





**Kuva 1** Tuulen keskinopeudet eri alueilla ja tuulienergiapotentiaali

Kuvassa 2 näkyvät sääasemien tuulimittauksista 1500 kW:n voimalaitokselle lasketut tuulivoiman tuotantoindeksit 13 kuukauden ajanjaksolta vuosilta 2006 – 2007. 100 % on vuoden keskimääräinen tuotanto 15 vuoden ajalta ajanjaksolla 1987-2001. /4/ Tuulivoiman tuotantoindeksit vaihtelevat suuresti jopa saman kuukauden kohdalla eri vuonna. Vuonna 2007 tuotantohiiput ovat olleet huhti- ja syyskuussa. Eniten näyttäisi tuulesta saatavan tuottoa Suomen rannikolla Selkämerellä. /4/



Kuva 2 Suomen tuulikartta 50 m:n korkeudella /4/

### 3 PIENTUULIVOIMALA

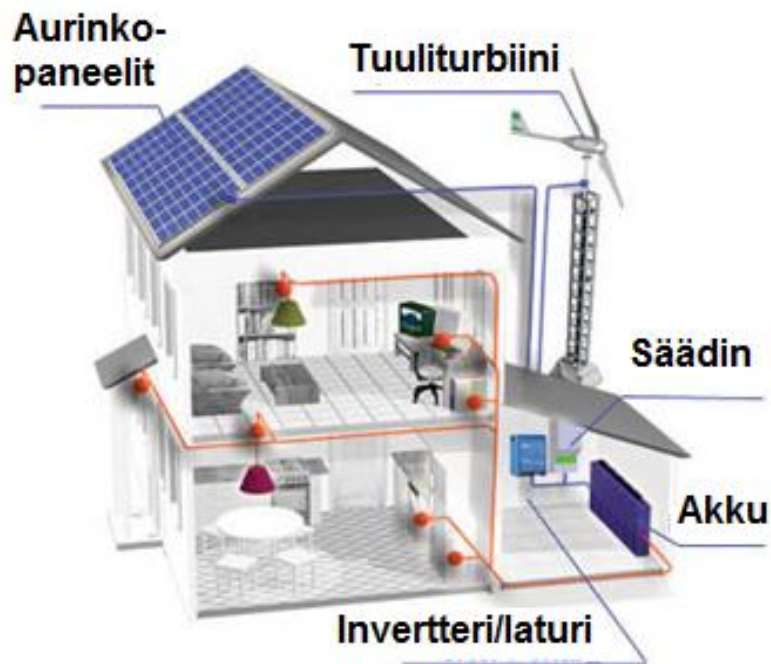
Tuulivoimala.com -sivuston /12/ mukaan pientuulivoimala asennetaan yleensä 10 – 20 metrin korkuiseen mastoon ja itse voimalan pyörivän osan läpimitta on 2 – 12 metriä – mallista riippuen. Teholtaan pientuulivoimalat ovat suunnilleen asteikolla 0,2 – 20 kW /16; 13/. Tosin jos pientuulivoimalaksi mielletään yksityiskäytössä oleva voimala, niin sen koko voi toki olla niin suuri kuin käyttäjä haluaa tai tarvitsee. Tästä esimerkkinä on Äetsässä sijaitsevan broileritilan tuulivoimaratkaisu luvussa 10.3 /15/.

### 3.1 Pientuulivoimalan tarve

Pientuulivoimalalla voidaan tuottaa sähköä tai lämpöä kotiin, mökille, veneeseen, teollisuuden tai maatalouden käyttökohteisiin. Tyypillisesti tuulivoimalla ladataan akkuja, joista sähkö otetaan käyttöön tasajännitteisenä tai muutetaan invertterillä 230 V:n vaihtosähköksi. Pientalon lämmityksessä tuulivoimala voi olla myös kytetty suoraan sähkölämmitykseen tai vesivaraajaan ohjausjärjestelmän kautta. Pientuulivoimaloita on olemassa useita erilaisia malleja 20 kW:n tehoon saakka. Tuulivoima on ylivertainen energianlähde aurinkovoimaan verrattuna, koska tuulivoimalasta energiaa saadaan kaikkina vuodenaikoina runsaasti, talvella eniten. /16/

Tuulivoiman hyödyntäminen on jälleen noussut otsikoihin, kun Euroopan komissio on asettanut päästöille ja uusiutuvan energian käytölle tavoitteita. Suomen on nostettava uusiutuvan energian osuus kaikesta kulutetusta energiasta nykyisestä reilusta 28 %:sta 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Suomen on lisäksi vähennettävä päästökaupan ulkopuolella olevien toimialojen päästöjä, kuten rakentamisen, rakennusten lämmittämisen ja asumisen, 16 %:lla vuoden 2005 päästömääristä. /18/

Tuulivoimalla voidaan vähentää päästöjä. Kun tuulivoimaa käytetään, saadaan yksi uusiutuva energianlähde lisää. Jos ihmiset, joiden sähkön- ja lämmöntuotanto perustuu fossiilisiin energianlähteisiin, kuten hiileen, maakaasuun tai öljyyn, asentavat pientuulivoimalan itselleen, se automaattisesti vähentää päästöjä. Tähän on nyt myös saatavissa tukea, sillä hallitus on lähes kolminkertaistanut kotitalousvähennyksen vuoden 2009 budjettiin, jolloin esimerkiksi omakotitalojen lämmitysremonttia voi helpottaa verovähennyksellä /10/. Tätä muutosta voi hyödyntää pientalojen energianmuutoksiin, esimerkiksi suorasta sähkölämmityksestä vaikkapa yhdistettyyn tuulivoima- ja aurinkopaneelijärjestelmään (kuva 3).



**Kuva 3** Yhdistetty tuuli- ja aurinkoenergia järjestelmä /1/

### 3.2 Pientuulivoimalan käyttökohteet

Pientuulivoimalaa voidaan käyttää monenlaisessakin paikassa. Seuraavissa luvuissa on kuitenkin esitettyä yleisimmät käyttökohteet, jotka koskettavat parhaiten niin sanottua ”tavallista” kuluttajaa.

#### 3.2.1 Sähkön tuotanto mökeille

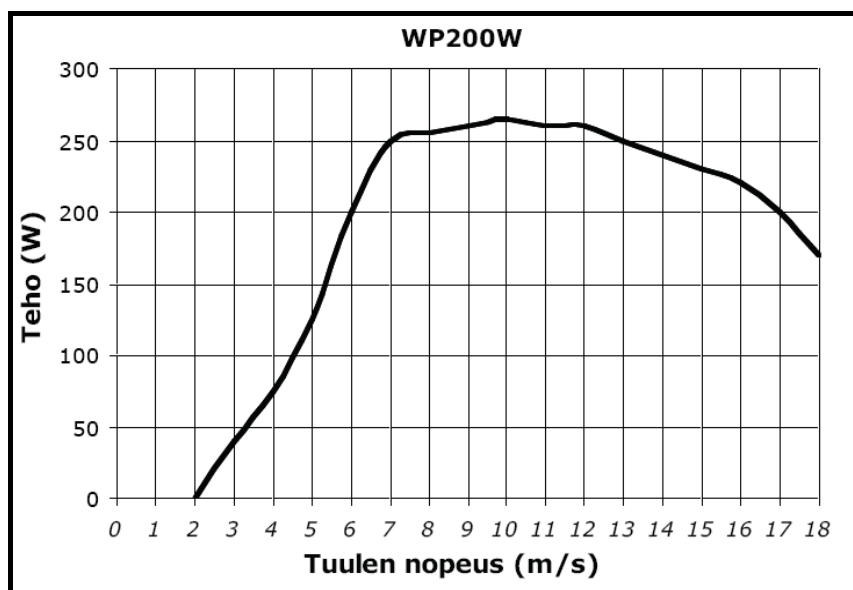
Pientuulivoimala soveltuu sähkön tuotantoon sekä mökeille että paikkoihin, joissa sähköä muuten ei ole saatavilla, kuten saaristoon, tukiasemille tai muuten jakeluverkon ulottumattomiin. Tuulivoimalla on erityisen helppo toteuttaa sähköistyskohteissa, joissa jo entuudestaan on käytössä aurinkopaneelit. Tuulivoimalan oma lataussäädin voidaan kytkeä suoraan rinnalle useimpiin aurinkopaneelijärjestelmiin.

Tuulivoimala.com Finland Oy:n malliston pienin voimala WP200W (kuva 4) sopii ”mökkisähkön” tuotantoon, sillä se tuottaa sähköä jo hyvin pienillä tuulilla – esimerkiksi 3 m/s tuulella 50 W (kuva 5) - ja soveltuu siksi asennettavaksi myös sisämaan kohteisiin. Voimalapaketti maksaa 980 euroa varustettuna WPC200 lataussäätimellä. Akkujärjestelmän koon mukaan käyttötehoa voi olla useita kilowatteja.

/16/



**Kuva 4** Tuulivoimala WP200W asennettuna jäälle /17/



**Kuva 5** Tuulivoimalan WP200W tehokäyrä /17/

### 3.2.2 Verkkosähkön tuotanto kiinteistöihin

Yli 2 kW:n tuulivoimaloita voi käyttää suoraan kiinteistösähkön tuottamiseen, jolloin tuulivoimala tuottaa osan tarvittavasta sähköstä. Sähkölaskussa säästetään käyttämällä omaa energiantuotantoa. Verkkosähkön tuotanto tapahtuu kantaverkkokytkin-laitteella. Kantaverkkokytkin muuntaa tuulivoimalan sähkön kaksi- tai kolmivaihevirraksi, jollaista myös sähköyhtiö syöttää. Sähkö otetaan ensisijaisesti tuulivoimalasta, ja jos tämä ei riitä, niin sitten otetaan sähkö jakeluverkosta. Sähkön ylituotantotilanteessa omaa sähköä voidaan myydä kantaverkkoon ja näin saada siitä sähköyhtiöltä korvaus. /16/

### 3.2.3 Kiinteistöjen lämmitys

Tuulivoima soveltuu hyvin lämmityskäyttöön kodeissa, maataloudessa ja teollisuudessa. Tavallisestihan vesipannua ja käyttövetä lämmitetään öljyllä tai sähköllä. Pientuulivoimala voidaan kytkeä vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän vesivaraajan vastuksiin tai massavaraajaan Tuulilämmitin<sup>TM</sup>-laitteella, jonka avulla tuulivoimala sieppaa energiaa myös pienillä tuulenvireillä - aina kun tuuli pyörittää voimalaa. Näin voidaan säästää energialaskuissa. Pitää muistaa, että lämmitys voi ”haukata” jopa 80 % kiinteistön energialaskusta. Lisäksi tuulivoimalan hankintakustannukset voidaan saada tuulisella paikalla nopeastikin katettua, ja sen jälkeen energiantuotto tuulesta on niin sanotusti ilmaista. /16/

Lämmityskäyttöön tarkoitettuja pientuulivoimaloita on saatavilla Tuulivoimala.comista 2 kW:n voimalasta alkaen jopa 20 kW:n tehoon saakka. Tuulilämmitintä on Tuulivoimala.comista saatavana eri kokoluokan voimaloihin seuraavan taulukon mukaisesti (taulukko 1). /16/

**Taulukko 1** Tuulilämmittimet

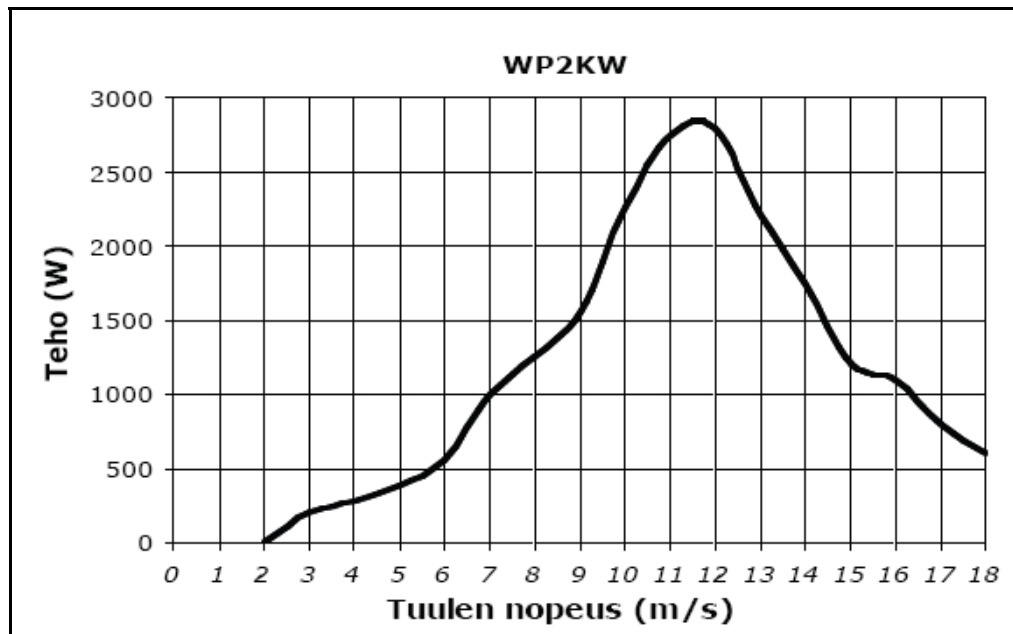
<b>Tuulilämmitin</b>	<b>Tuulivoiman nimellisteho</b>
<b>Tuuli 3 KW</b>	<b>&lt; 2 kW</b>
<b>Tuuli 10 KW</b>	<b>&lt; 5 kW</b>
<b>Tuuli 15 KW</b>	<b>&lt; 10 kW</b>
<b>Tuuli 30 KW</b>	<b>&lt; 20 kW</b>

Esimerkiksi tuulivoimala WP2000W (kuva 6), joka sisältää Tuuli 3KW -lämmittimen, 9 metrin maston ja kaapelointitarvikkeet, on kokonaishinnaltaan 4.750 euroa . /16/



**Kuva 6** Tuulivoimala WP2000W /16/

Tuulivoimalan WP2000W tuotantoteho riippuu vallitsevasta tuulesta (kuva 7).



**Kuva 7** Tuulivoimalan WP2000W tehokäyrä /16/

#### 4 PIENTUULIVOIMALAN RAKENNE JA RAKENNUSOHJEITA

Pientuulivoimalan rakenne on tärkeä seikka voimalan toiminnassa ja suunnittelussa. Tässä kappaleessa selitetään seikkaperäisesti pientuulivoimalan eri osia, kytkentöjä, suojausta, mekaanisia ja sähköisiä rakenteita sekä lisälaitteita. Samalla lukija saa tietoa, jonka avulla hän voi itse suunnitella pientuulivoimalaa ja sen rakentamista.

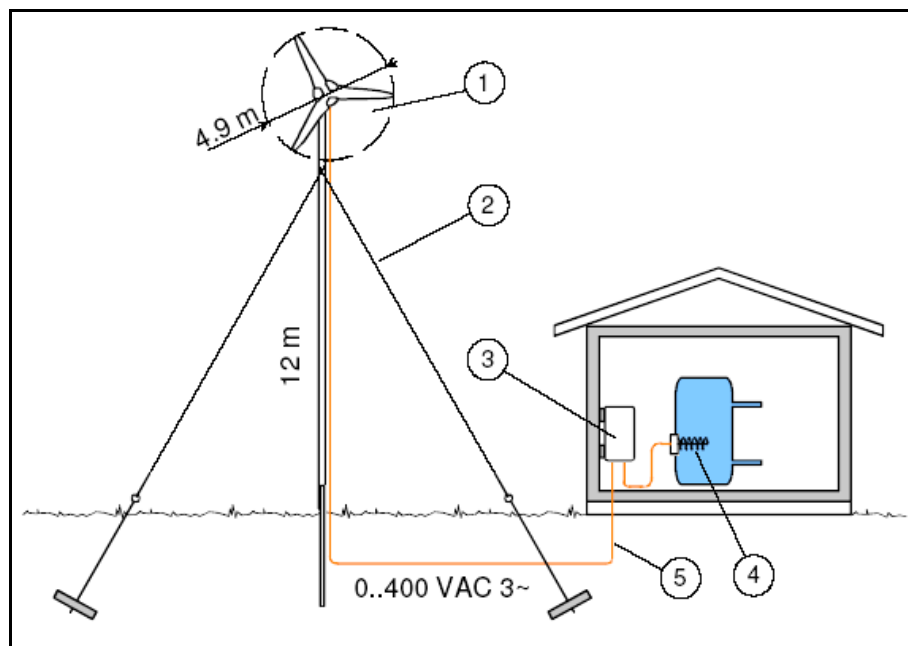


#### 4.1 Pientuulivoimalan osat

##### Perinteisen pientuulivoimalan pääkomponentit: /3/

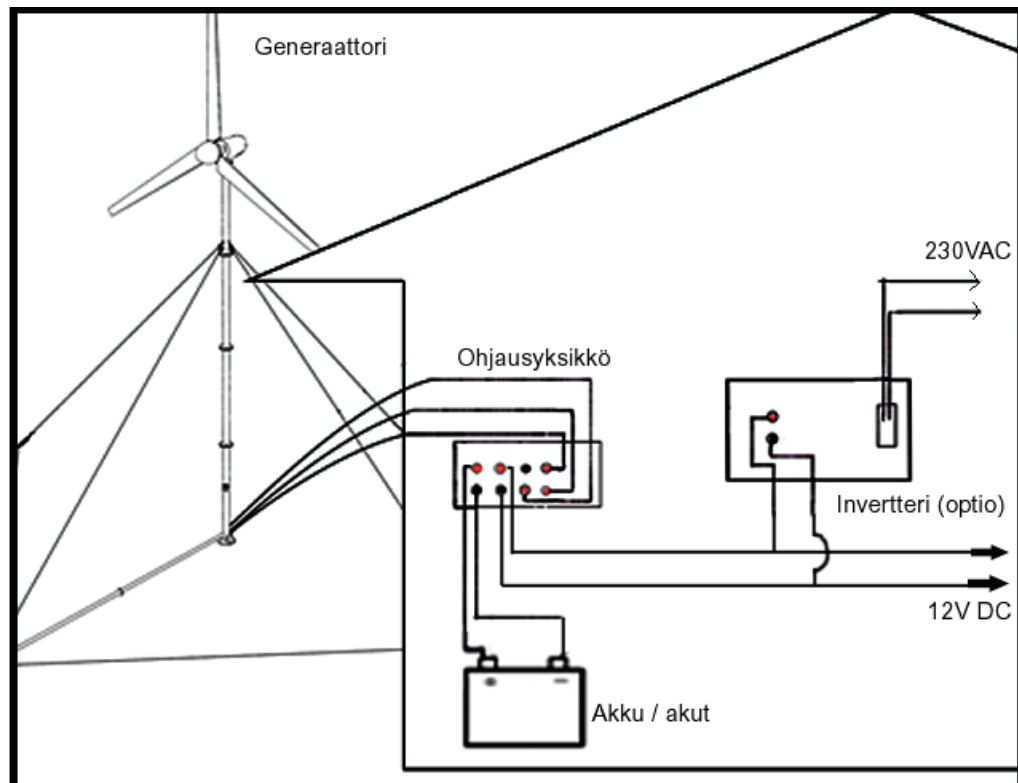
1. Tuulipotkuri (tuuliturbiini, tuuliroottori, tuulipropelli)
2. Potkurin napa
3. Pääakseli ja laakerointi (pääakseli voi olla myös integroitu generaattoriin)
4. Vaihteisto (ei aina tarvita)
5. Generaattori
6. Peräsin (tai tuuliruuvi/ muu tuuleenkääntömekanismi)
7. Masto (+harukset)
8. Säätojärjestelmä (ja esimerkiksi latausjärjestelmä)

Finnwind Oy:n Tuule T188 -pientuulivoimalan toimitukseen kuuluu tuulivoimalan potkuri ja koneisto (kuva 8) (1), masto, harukset ja perustukset (2), sähkökaappi ja säätolaitteisto (3), vesivaraajan lämmitysvastus (4) sekä 50 metriä maakaapelia (5).  
/3/



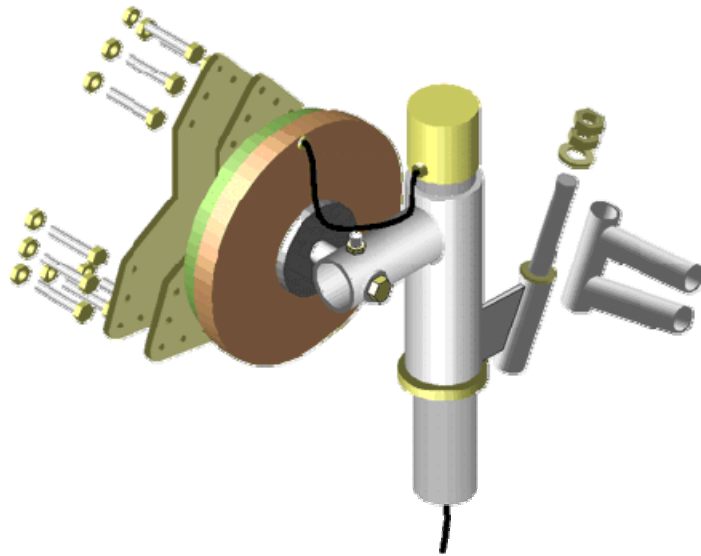
**Kuva 8** Tuule T188 -toimituksen sisältö /3/

Tuuligeneraattori tuottaa sähkön, joka ohjausyksikön eli lataussäätimen kautta ladataan akkuihin, invertterin avulla muutetaan kotitaloussähköksi tai käytetään tasasähköä 12 V:n järjestelmässä (kuva 9). Kuva on Tuulivoimala.comin Tuulivoimakäsikirjasta.



**Kuva 9** Tuulivoimalan kytkentä talon sähköjärjestelmään /17/

Periaatteellisessa kuvassa (kuva 10) on esimerkki pienen tuulivoimalan hitsatusta runkorakenteesta. Potkurissa on kiinteä napa, joka on toteutettu kahdella napalevyllä. Voimansiirto tapahtuu suoraan levytyyppiselle kestomagneettigeneraattorille. Myrskysuojaus tuulenpaineella tapahtuu sivuun kääntämällä. Peräsimen kiinnitys on joustava. Energia tuodaan alas liukurengasyksikön avulla. /3/



**Kuva 10** Pientuulivoimalan komponentit /3/

## 4.2 Myrskysuojaus

Tuulivoimalan suunnittelu alkaa yleisimmin myrskysuojaustavan valinnasta. Myrskysuojaustapoja ovat seuraavat:

- Potkurin käänö sivuun (potkuri käännetään pois tuulesta sivuun tai ylös, jolloin pinta-ala pienenee, ja siten teho rajoittuu). Sivuu käänö perustuu useimmiten potkuriin kohdistuvaan tuulenpaineeseen.
- Potkurin pysäytys: voimalassa on jarru, jolla potkuri pysäytetään myrskyn ajaksi.
- Potkurin sakkaus: potkuria kuormitetaan niin paljon, että se ei enää pysty tuottamaan tarvittavaa energiaa, jolloin ilmavirtaus irtoaa lavoista ja lavat sakkaavat (Vaikea hallita, joten käytetään yleensä vain suurissa voimaloissa).
- Lapakulman säätö: potkurin lapojen kulmaa muutetaan niin, että teho pienenee. /3/

### 4.3 Potkuri ja napa

Tehokkaassa tuulipotkurissa on yleensä kaksi tai kolme lapaa. Potkuri on vaivaton-  
ta saada pyörimään vähäiselläkin kokemuksella, mutta energian saanti onkin huo-  
mattavasti vaikeampaa. Tehokkaan potkurin suunnittelu vaatii suunnittelijalta sy-  
vällistä aerodynaamista laskentaa. Huonosti suunnitellun potkurin teho katoaa jo it-  
se potkurissa. Potkurin tehokkain alue määrää pyörimisnopeuden, ja muut osat "tu-  
levat mukana" tai jarruttavat. Potkuri on tasapainotettava hyvin huolellisesti ennen  
käyttöönottoa. Potkurin hyrrävaikutus on huomioitava suunniteltaessa voimalan ra-  
kennetta. Nopeasti pyörivä potkuri pyrkii vastustamaan voimalan kääntymistä tuu-  
leen päin. /3/

Lavat kiinnitetään napaan. Jos voimalassa ei käytetä lapakulman säätöä, on napa  
yksinkertainen ja sen vuoksi toimintavarma. Jos lavassa on valmis kiinnityskanna-  
ke, voi lavat tällöin kiinnittää suorien napalevyjen väliin. Näin lapakulmat asettuvat  
oikein ja vaikeilta mittauksilta vältytään. Lapakulman säädöllä saadaan kuitenkin  
useita etuja, kuten parempi käyntiinlähtö sekä mahdollisuus säätää pyörimisnopeut-  
ta ja toteuttaa tehokas myrskysuojaus. Lapojen ja navan kiinnityksen lujustarkas-  
telussa täytyy huomioida erityisesti pyörimisliikkeen keskipakovoima. /3/

### 4.4 Pääakseli ja laakerointi

Pääakseli siirtää energian potkurista vaihteistolle tai suoraan generaattorille. Pääak-  
seliin vaikuttavat potkurin hyrrävoimien ja peräsimen väsyttävä taivutuskuormitus.  
Akseleissa kannattaa käyttää vain parhaita akseliteräksiä. Pääakselin mitoituksen  
nyrkkisääntönä voidaan pitää, että akselin halkaisijan on oltava vähintään 1 % tur-  
biinin halkaisijasta (eli 2 metrin halkaisijalla vähintään 20 mm). Pääakselia ei saisi  
hitsata, sillä väsyttävä kuormitus voi aiheuttaa akselin murtumisen monien käyttö-  
vuosien jälkeen. Laakereiden kitkahäviöt pitää minimoida, jotta voimala käynnis-  
tyisi helposti myös pienellä tuulennopeudella. /3/

#### 4.5 Vaihteisto

Jos käytetään vaihteistoa, sopiva välityssuhde on tyypillisesti 1:5 - 1:12. Suositeltavia vaihteistoratkaisuja ovat öljyvoidellut hammaspyörävaihteet. Toki muitakin vaihtoehtoja voi käyttää, esim. hammashihnavälitystä. Hammaspyörävaihteisto on eristettävä tuulivoimalan rungosta kumieristimillä, jotta vaihteistomelu ei johdu runkorakenteeseen. /3/

#### 4.6 Generaattori

Pientuulivoimalassa pyritään käyttämään generaattoria, jonka nimellispyörimisnopeus on pieni. Tällöin vaihteiston ei tarvitse olla suuri ja häviöt ovat siten tavallista pienempiä. Kun käytetään hitaasti pyörivää generaattoria, ei vaihteistoa tarvita välttämättä lainkaan. Sopiva generaattoriteho on 170 - 250 W jokaista turbiinin neeliometriä kohden. Aivan rannikkoalueella generaattoriteho voidaan kertoa 1,5:llä ja sisämaassa 0,75:llä. On hyvä muistaa, että generaattoria ei voida kuormittaa enempää, kuin potkuri tuottaa. Jos kuormitetaan enemmän, potkuri sakkaa ja pysähtyy. /3/

#### 4.7 Runko ja tuulivoimalan masto

Peräsimen kiinnitys on tehtävä joustavaksi, jotta potkuri saa kääntyä hitaasti, vaikka tuulen suunta muuttuisikin nopeasti (potkurin hyrrävaikutus). Jos peräsimessä tai rungossa käytetään alumiiniosia, pitää huomioida erityisesti voimalaan kohdistuva väsyttävä kuormitus, koska alumiini kestää heikosti väsytyä. /3/

Masto voidaan rakentaa esim. sähköpylvästä, teräsputkesta tai -ristikosta. Voimalan masto kannattaa aina olla jo turvallisuussyistä yli 5 metriä korkea. Suositeltava pienen voimalan maston korkeus on kuitenkin vielä enemmän, 10 –15 metriä. /3/

#### 4.8 Säätöjärjestelmä

Koska voimalan pyörimisnopeus vaihtelee ja teho muuttuu voimakkaasti tuulen nopeuden mukaan, on tehokäyrää seuraava energian talteenottojärjestelmä tämän vuoksi oleellinen. Tyypillisesti energia otetaan talteen akkuihin tai lämmitysvoimaloissa suoraan vesivaraajaan. Kuormitusta lisätään tuulennonopeuden kasvaessa, mutta kuitenkin niin, että ollaan koko ajan tehokäyrän alapuolella häviöt huomioiden.

/3/

#### 4.9 Kantaverkkokytkin ja lataussäädin

Tuulivoimalan kapasiteetti ja sähkötaajuus vaihtelevat tuulivoimakkuuden mukaan. Järjestelmään asennettu kantaverkkokytkin (kuva 11) muuttaa sähköä normaaliksi verkkovirraksi ja syöttää sen kiinteistön verkkoon. Ylimääräinen sähkö siirtyy valtakunnan verkkoon, ja vastaavasti tyynellä säällä käytettävää sähköä saadaan kokonaisuudessaan verkosta. Sähkökatkoksen aikana kantaverkkokytkin ei pysty haistelemaan kantaverkon sähköä, joten myöskään tuulienergiaa ei silloin pystytä ilman akkuja käyttämään. Esimerkiksi kantaverkkokytkin 3 kW maksaa 2.900 € /16/

Tuulivoimala.comin lataussäätimet (kuva 11) ovat äänettäviä tuulivoimalan ohjauslaitteita ja akkujärjestelmän latureita. Lataussäädin estää tuulivoimalaa pyörimästä liian suurilla kierrosnopeuksilla sekä lataa akkuja optimaalisella tavalla. Lataussäädin näyttää tuulivoimalan antaman latausvirran ja akkujärjestelmän lataustason. /16/

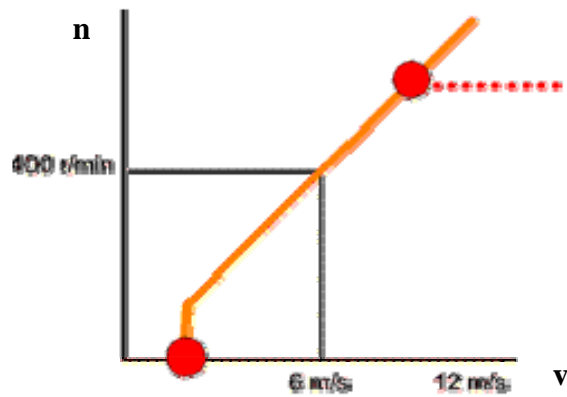


**Kuva 11** Kantaverkkokytin ja lataussäädin WPC200W /16/

## 5 TEORIATAUSTAA TUULIVOIMALAN RAKENTAMISEEN

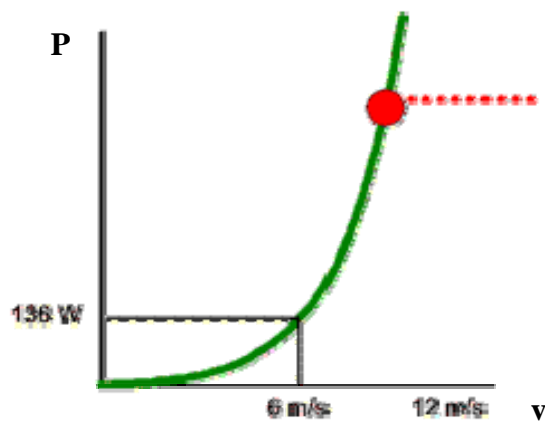
Teorian mukaan, kun tuulennopeus kaksinkertaistuu, tuulienergia kahdeksankertaistuu. Tämän vuoksi tuulivoimalalle kannattaakin etsiä paikallisesti tuulisin paikka. Tuulisimpia alueita ovat tavallisesti aukeat pellot ja järven rannat, missä puustoraja on kaukana takana. On erittäin suositeltavaa mitata tuulennopeuksia aiotussa sijoituspaikassa. Vähätuuliselle paikalle ei kannata rakentaa. Tuulennopeus kasvaa ylöspäin mentäessä - mitä korkeammalle koneisto nostetaan, sitä enemmän siitä saadaan energiaa. Suurilla tuulennopeuksilla energiaa saadaan usein aivan liikaa. Tästä aiheutuu tarve tuulivoimalan suojaamiseen (tehon rajoitus). /3/

Tuulesta saatava energia on verrannollinen tuulipotkurin pyörähdyspinta-alaan (kuva 12). Tuulivoimalan potkurin pyörimisnopeus muuttuu melko suoraviivaisesti tuulennopeuden kasvaessa. Jotta potkuri käynnistyisi pienellä tuulennopeudella, on peruskuorman oltava pieni. Kovassa myrskyssä pyörimisnopeutta täytyy rajoittaa. Esim. halkaisijaltaan 1.7 metrin potkuri pyörii noin 400 r/min, kun tuulennopeus on 6 m/s. /3/



**Kuva 12** Potkurin pyörimisnopeus  $n$  tuulennopeudella  $v$  /3/

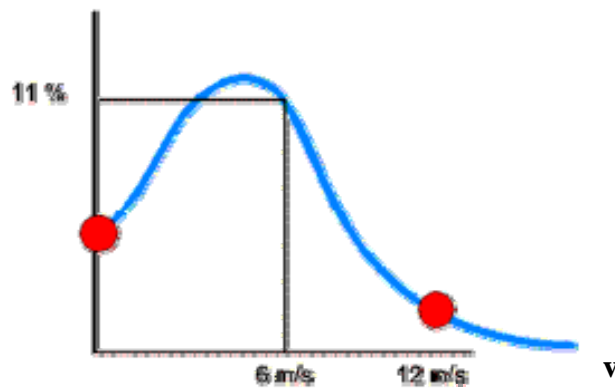
Teho kasvaa nopeasti tuulennopeuden kasvaessa (kuva 13). Vähäisellä tuulennopeudella tuulivoimala tuottaa tehoa vähän, kun taas suurella tuulennopeudella tehoa täytyy rajoittaa. Esim. 1.7 metrin potkuri tuottaa noin 140 W, kun tuulennopeus on 6 m/s. Sama potkuri tuottaa 12 m/s tuulennopeudella jo yli 1 kW. /3/



**Kuva 13** Tuulivoimalan teho  $P$  tuulennopeudella  $v$  /3/

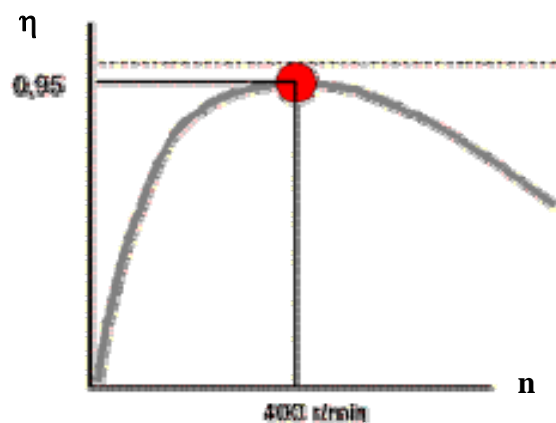
Voimala on mitoitettava tuulijakauman mukaiseksi (kuva 14). Esimerkiksi sisämaassa ei ole montakaan päivää vuodessa, jolloin tuulisi keskimäärin 12 m/s. On myös päiviä, jolloin ei tuule ollenkaan. Tuulijakauma vaikuttaakin oleellisesti generaattorin nimellistehon valintaan. Tuulivoimala tuottaa energiaa, jos tuulee hyvin. /3/





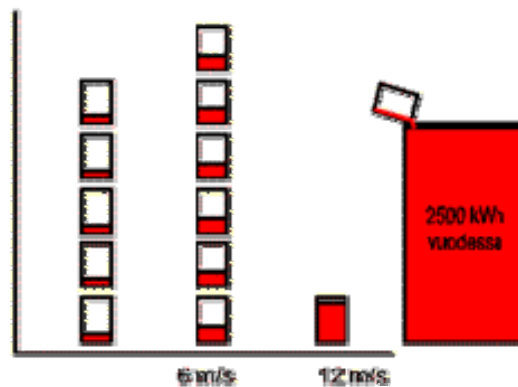
**Kuva 14** Tuulijakauma [%] tuulennopeudella  $v$  /3/

Osa potkurin tuottamasta energiasta muuttuu lämmöksi jo ennen kuin se saadaan hyötykäyttöön. Voimalan hyötysuhde (kuva 15) (erityisesti generaattorin hyötysuhde) on tarpeen viritellä tuulijakauman mukaan. Koska energiaa saa tuulesta hyvin niukasti, kannattaa kiinnittää huomiota laitteiden hyvään hyötysuhteeseen. /3/



**Kuva 15** Hyötysuhde  $\eta$  pyörimisnopeudella  $n$  /3/

Tuulienergian vuosituotto saadaan summaamalla jokaisen päivän tuotetut energiamäärät (kuva 16). Esimerkiksi rannikolle sijoitettu voimala, jossa potkurin halkaisija on 1.7 metriä, voisi tuottaa vuodessa noin 2000 kWh. Päivinä, jolloin tuulee vähän, saadaan "sangan pohjalle" vähän energiaa. Päivinä, joina tuulee kovasti, saadaan energiaa reippaasti. Pitää kuitenkin muistaa, että tuulijakauman mukaisesti keskimääräisiä päiviä on paljon enemmän kuin kovatuulisia. Pienituottoisiakaan päiviä ei kannata unohtaa. /3/



**Kuva 16** Tuulienergian vuosituotanto /3/

## 6 PIENTUULIVOIMALOIDEN VERTAILU

Eri voimaloiden vertaaminen osoittautui hankalaksi, koska todelliset tuuliolosuhteet vaikuttavat tuulivoimalan energiantuottoon hyvin paljon. Tarkempi tutkimus pitää tehdä aina tapauskohtaisesti. Nimellisteho ei pelkästään kerro energiantuottoa. Voimalan komponenteista ei löytynyt tarpeeksi tietoa, jotta niitä olisi voinut vertailla. Voimalan potkurin pyörähdyspinta-aloista löytyi kuitenkin lukemia, joiden perusteella saattoi verrata joitakin voimaloita. Lisäksi on verrattu kahden voimalan tehokäyriä.

### 6.1 Pientuulivoimaloiden vertailuperusteita

#### Potkurin pyörähdyspinta-ala

Potkurin pyörähdyspinta-alaltaan samankokoiset voimalat ovat vertailukelpoisia. Esimerkiksi 10 neliömetrin potkurin energiantuotto-odotus on puolet pienempi kuin 20 neliömetrin potkurilla. Pinta-alan lisäksi todelliseen saatavaan energiaan vaikuttaa luonnollisesti myös tuulivoimalassa käytetty teknologia. /3/

**Energian tuotto**

Eri valmistajat ilmoittavat tuotteilleen nimellistehoja (kW) varsin kirjavasti. Nimellisteho ei kuitenkaan kerro energiantuotosta. Energiantuotto (kWh) on hyvä vertailusuure, mikäli se on laskettu käyttökohteessa vallitsevien tuuliolosuhteiden mukaisesti. /3/

**Laatu ja käyttöikä**

Tuulivoimala on tarkoitettu pitkäikäiseksi tuotteeksi ja tällöin ostajan kannattaa verrata ostohinnan lisäksi myös tuotteen laatuun, käyttöön, kestävyys- ja huollettavuuteen liittyviä asioita. Komponenttien, kuten päälaakereiden, laatu vaikuttaa oleellisesti voimalan käyttöikään. /3/

**6.2 Taulukkoarvot vertailussa**

Vertailuun valittiin viisi voimalaa, joista kaksi, WP3KW ja WP5KW ovat saman valmistajan tuotteita. Valintaperusteina käytettiin voimaloiden nimellistehoja, jotka asettuivat välille 1,8–5 kW.

Taulukosta nähdään, että erikokoisillakin voimaloilla on nimellistuulennopeus ilmoitettu lähes samaksi (taulukko 2). Potkurin halkaisija suurenee nimellistehon kasvaessa. Tosin Skystream 1,8 kW:n voimalan potkurin halkaisija on melko suuri suhteessa nimellistehoon, jos verrataan muiden voimaloiden vastaaviin lukemiin. Esimerkiksi 5 kW:n Maakotkan potkurin halkaisija on vajaa 1,5-kertaa suurempi kuin Skystreamilla, vaikka nimellistehoa sillä on lähes kolme kertaa enemmän. Maakotkan etuna huomataan pieni käynnistystuulennopeus.

Taulukosta 2 voidaan myös huomata, että potkurin pyörähdyspinta-alaltaan lähes samansuuruiset Tuule T188 ja WP3KW ovat nimellisteholtaan hyvinkin erisuuruiset, eroa on jopa 1 kW:n verran. Ero on suuri, kun on kyseessä vain 3 ja 4 kW:n voimalat. Tuule T188:n voidaan näin olettaa olevan hyötysuhteeltaan parempi, ja

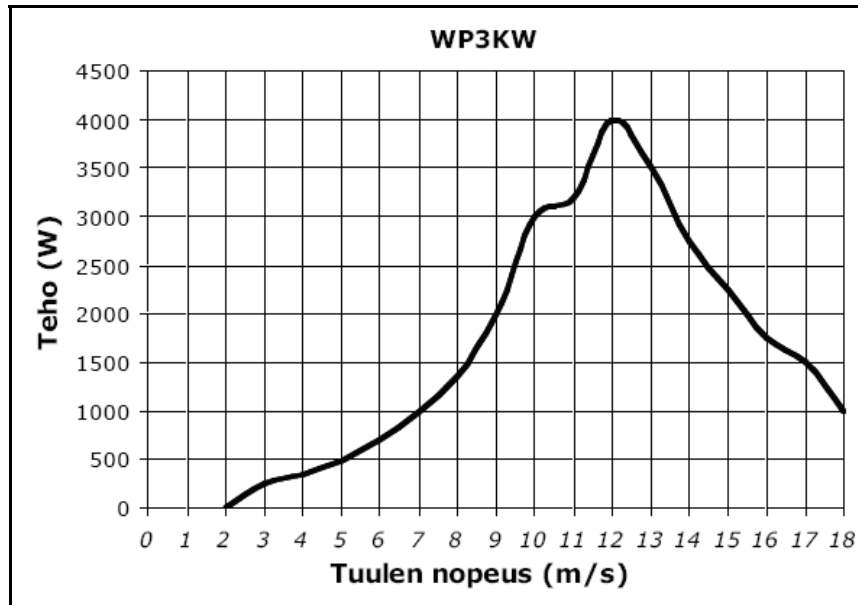
tekniikaltaan kehittyneempi. Tosin tässäkin pitää voimaloita verrata todellisissa tuuliolosuhteissa ja tutkia niiden tehokäyriä.

**Taulukko 2.** Pientuulivoimaloiden suoritearvoja /3, 11, 16, 2/

Ominaisuus	Tuule T188	WP3KW	WP5KW	5kW Maa- kotka	Skystream
Nimellisteho kW	4	3	5	5	1,8
Nimellistuulen- nopeus m/s	10	10	10	10	9
Potkurin Halkaisija m	4,9	4,7	6,4	5,5	3,72
Käynnistystuu- lennopeus m/s	2,8	-	-	2	3,5

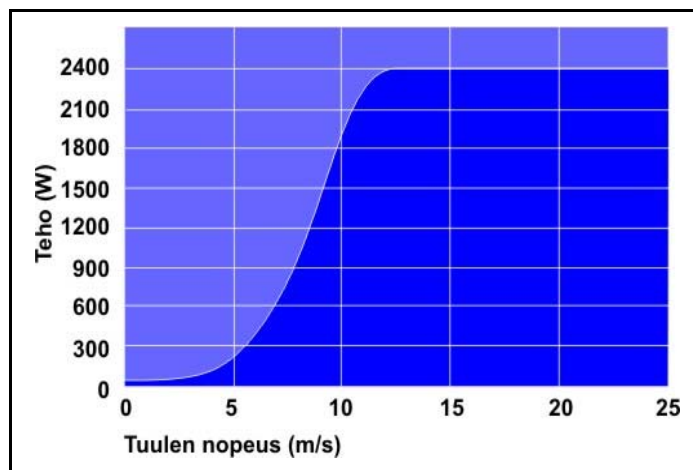
### 6.3 Tehokäyrät vertailussa – WP3KW ja Skystream 3.7

WP3KW:ssä saavutetaan nimellisteho tuulennopeudella 10 m/s (kuva 17). Voimala tuottaa tehoa jo 3 m/s tuulella. Huipputeho 4 kW vaatii tuulennopeudeksi 12 m/s. Tämän jälkeen voimalan teho laskee melko rajusti. Voimalan etuna on kohtuullinen tehon tuotanto jo nimellistuulennopeutta pienemmillä arvoilla.



**Kuva 17** WP3KW:n tehokäyrä /16/

Skystream 3.7 pientuulivoimalan tehotuotto on vähäinen alle 5 m/s tuulilla (kuva 18). Kovemalla tuulella teho kasvaakin nopeasti.



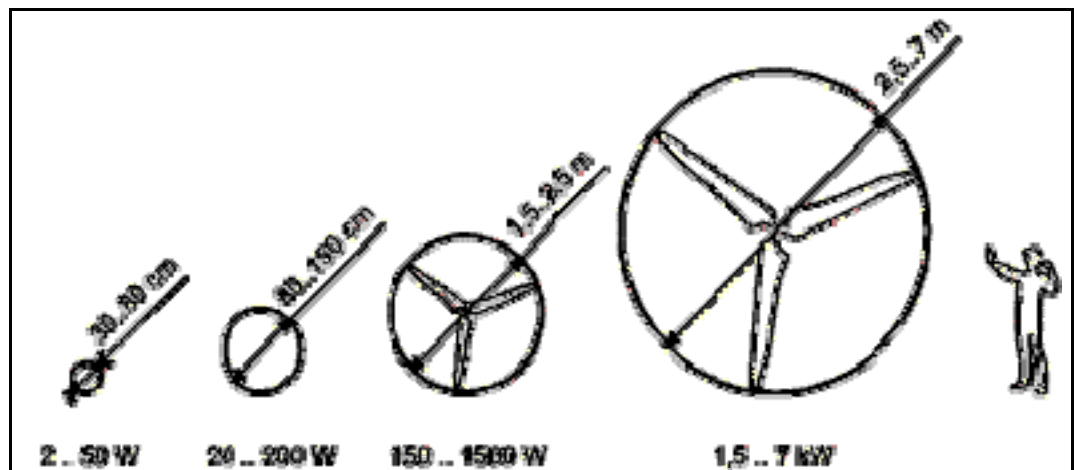
**Kuva 18** Skystream 3.7 tehokäyrä /11/

Huipputeho 2400 W saadaan suunnilleen tuulennopeudella 12 m/s, ja kovemmallakin tuulella teho pysyy huipussaan, aina tuulennopeuteen 25 m/s asti. Skystreamin etuna on ehdottomasti hyvä tehotuotto myös suurilla tuulennopeuksilla. Se sopii siis erityisen hyvin alueille, joilla tuulet ovat jatkuvasti kovia.

## 7 KOKOLUOKAN VALINTA

Karkeasti jakaen potkurit, jotka ovat pyörähdyshalkaisijaltaan alle 2 metriä, ovat akkulateureita mökkikäyttöön, ja noin 4 - 8 metriä halkaisijaltaan olevat ovat lämmityskäyttövoimaloita. Voimalan itse rakentaminen on iso projekti. Jos aiempaa rakentamiskokemusta ei ole, rakentaminen kannattaa aloittaa riittävän pienestä kokoluokasta. Kaksi pientä voimalaa voi olla myös hyvä ratkaisu. /3/

30 - 80 cm:ä halkaisijaltaan oleva potkuri tuottaa 2 - 50 W ja se tuottaa energiaa esim. leikkikaluun, merkkivaloon ja pikkulaturiin (kuva 19). 80 - 150 cm:n potkurilla saa toimimaan jo akkulaturin, valaistuksen ja pumppauksen. 1,5 - 2,5 metrin potkuri riittää akkulaturin ja valaistuksen lisäksi veden lämmitykseen. 2,5 - 7 metrin potkuri tuottaa tehoa veden lämmityksen lisäksi täydentävään huonelämmitykseen ja sähköistykseen. /3/



Kuva 19 Erikokoisten potkurien tuottamat tehot /3/

## 8 SKYSTREAM 3.7 PIENTUULIVOIMALA

Jo aiemmin vertailussa ollut Skystream 3.7 (kuva 20) on 230 V ja 50 Hz tuottava tuulivoimala, joka sopii omakotitaloihin, mökeille sekä yrityksille, jotka haluavat

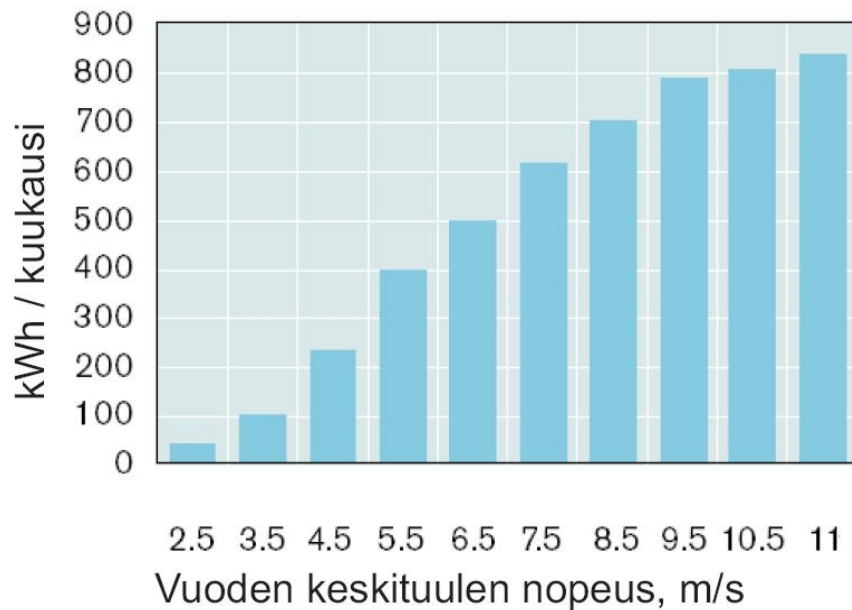
tuottaa kaiken tai suurimman osan tarvitsemastaan sähköstä itse /11/. Voimala liitetään suoraan kiinteistön ryhmäkeskukseen sähkömittarin jälkeen omalla sulakkeellaan niin kuin mikä tahansa sähkölaite /12/. Näin kulutetaan ensisijaisesti ”omaa” sähköä, ja vajaus ostetaan sähköyhtiöltä. Skystream 3.7 voidaan kytkeä myös sähköverkon ulkopuolisiin kohteisiin. Tällöin on hyvä hankkia akkuvarmennettu järjestelmä. /11/



**Kuva 20** Skystream 3.7 /7/

Skystream 3.7:ssa on sisäänrakennettu radiolinkki, jonka avulla langattomalta etänäytöltä voi seurata muun muassa tuulennopeutta, tuotantotietoja ja muita teknisiä arvoja. Radiolinkin kantama on enimmillään 300 metriä, hyvissä sää- ja maasto-olosuhteissa. Etänäyttöyksikkö voidaan myös kytkeä USB-liitännällä tietokoneeseen, jonka avulla sitten pystytäänkin seuramaan monipuolisesti tietoja sekä myös keräämään jatkuvasti tietoa voimalasta. /11/

Skystream 3.7:n kehityksessä tavoitteena ovat olleet visuaalinen ulkonäkö, korkea luotettavuus, vähäinen huollontarve, hiljaisuus ja tehokkuus sekä helppo verkkoonkytkentä. Verkkoonkytkennän helppoutta verrataan jopa leivänpaahtimen kytkemiseen pistorasiaan. /11/



**Kuva 21** Skystream 3.7:n kuukausituotanto /11/

## 9 ARTIKKELEITA PIENTUULIVOIMALOISTA

### 9.1 Mökkikokoisen tuulivoimalan paikan voi löytää näppituntumalla

Pirkanmaa ei ole Suomen tuulisimpia alueita. Kaikilla ei myöskään ole mökkiä meren rannalla tai ison järven itäpuolisella mäellä. Kaikkialla ei tuule tarpeeksi. Milloin sitten kesämökille kannattaa pystyttää tuulivoimala? /5/

Suomen tuulioloja kootaan parhaillaan yhteen tuulipuistojen sijainteja varten, ja sen on määrä olla valmis vuoden 2009 lopulla. Pienvoimalan pystyttäjä ei kuitenkaan tuuliatlasta tarvitse. Teemu Rovio, pientuulivoimaloiden generaattoreiden tutkija Tampereen teknillisessä yliopistossa, luottaa näppituntumaan. Voimala sopii aukeille paikoille ja sinne, missä tukka pöllyää aina ja oksat sojottavat ainoastaan yhdellä puolella puuta. Tuulisimpia alueita ovat yleensä laajat pellot ja järvien rannat. Ylöspäin mentäessä tuulennopeus kasvaa. Joten mitä korkeammalle voimala saadaan, sitä enemmän saadaan energiaa. /5/



Kesämökille ei tarvita isoa tuulivoimalaa. Riittää, jos voimalan lapa on puolen metrin pituinen ja torni puiden latvojen yläpuolella. Syksyn ja talven tuulet voidaan varastoida akkuihin tyynempien aikojen varalle. /5/



**Kuva 22** Kyröskoskella pyörivä itsetehty torni /5/

Pienvoimalat ovat kehittyneet kymmenen vuoden takaisesta: lavat eivät enää katkeile kovassa tuulessa, ja melu on vähentynyt. Täydellistä pientuulivoimalaa ei kuitenkaan ole olemassa, Teemu Rovio sanoo. Voimalan paikkaa kannattaa miettiä, sillä nopeasti viuhuvien lapojen kärjistä syntyy melua. Mökille parhaiten sopii matalakierroksinen turbiini. /5/

Halvimmat ratkaisut ovat useimmiten meluisimpia. Voimakkaalla tuulella syntyy paljon ääntä, mutta silloin on muitakin suhinoita, Rovio kertoo. Välkyntä on toinen haittavaikutus. Lapojen varjojen osuminen mökin ikkunoihin voi tuntua erittäin hankalalta. Se on jopa estänyt joidenkin isojen voimaloiden rakentamisen. /5/

Valmistajat tuovat yleensä näkyvästi esille voimaloiden huipputehot. Niitä tärkeämpiä ovat kuitenkin tehot tuulen keskinopeudella – etenkin syksyisin ja talvisin. /5/

Eniten tuulivoimaloita kaipaavat yleensä ne, joiden pihaan on hankala vetää sähköjä. Huoltovarmuutta voi parantaa asentamalla aurinkopaneelit. Eritoten sisämaassa, kun tuulet ovat kesällä heikot, kannattaa käyttää aurinkopaneeleja. Syksyllä ja talvella tuulienergiaa voi varastoida akkuihin. Pienvoimalat eivät yleensä tarvitse rakennuslupaa. Makuasia ovat sitten erikseen. Tuulivoimala ei ole omistajalleen maisemahaitta, mutta naapurille se usein on, aivan kuin ovat rantasauna tai mökin viiri, vertaa Teemu Rovio. /5/

## 9.2 Energiayhtiö St1

St1 aikoo pystyttää pientuulivoimaloita kaikille 400:lle bensa-asemalleen Suomessa. Lisäksi yrityksen pääkonttorin katolle kaavaillaan kolmea 10-20 kilowatin voimalaa. St1:n suunnittelupäällikkö Antti Kettusen mukaan ”tarkoitus on saada koko St1:n liiketoiminta pyörimään tuulisähköllä, joko paikallisesti pienvoimaloilla tai ostamalla suurten tuulivoimaloiden energiaa.” /9/

Ensimmäiset voimalat nousevat syksyllä 2008 ainakin kahden kylmäasemien katoille Helsinkiin (kuva 23). Jakeluasemilla tuuliolosuhteet määräävät voimaloiden koot. Sopiville paikoille tulee isoja voimaloita, jotka pystytetään maston varaan aseman viereen. /9/

St1 ostaa voimalat lahtelaiselta Eaglelta, joka on pienvoimaloiden valmistaja. Rakentamisen aikataulut riippuu siitä, miten eri kunnat myöntävät lupia tuulivoimaloiden rakentamiseen. Voimaloiden rakentaminen on imago-tempaus ja samalla myyntikampanja, sillä St1 aikoo itse myydä Eagle-pientuulivoimaloita. /9/



**Kuva 23** Havainnollinen kuva kylmäaseman pientuulivoimaloista /9/

### 9.3 Tuulivoimalla energiaomavaraiseksi

Äetsässä sijaitsevalla Jussi Oittisen broileritilalla on energiaratkaisuksi valittu 225 kW:n Vestas V-29 –tuulivoimala (kuva 24). Sen napakorkeus on jatkettun tornin kanssa 52 metriä ja tuulen nopeuden mukaan säätyvät potkurin siivet ovat säteeltään 29 metriä. /8/ Ei siis aivan sellainen voimala, jota voisi pientuulivoimalaksi kutsua.

Kaksoisgeneraattorin avulla voimala hyödyntää pienemmätkin tuulennopeudet. Pienempi 50 kW:n generaattori hyödyntää 3,5 - 7 m/s ja suurempi 7 - 22 m/s puhaltavat tuulet. Generaattorikäyttö ja siipien lapakulma säätyvät automaattisesti tuulennopeuden perusteella. /8/

Oittisen tuulivoimala hankittiin käytettynä Hollannista, jolloin hinnaksi tuli noin 50.000 € uuden voimalan 300.000 € n sijaan. Keski-Euroopassa voimaloita käyte-

tään noin 6 - 7 vuotta, jonka jälkeen hankitaan uusi ja myydään vanha. Käytettyjen voimaloiden kysyntä ja siten myös hinnat ovat olleet kovassa kasvussa viime vuosina. /8/



**Kuva 24** Vestas V-29 /8/

Oittisen broileritilalla on sähkönkulutus vuodessa noin 200 000 kWh. Sähköä kuluu ilmastointiin ja valon, veden sekä rehun säätelyyn. Sähkön hyödyntämisastetta nostavat kaksi yhteensä 70 000 litran kuumavesivaraajaa, joihin tuulienergia varataan sähkövastusten avulla. Kuumaan veteen varastoidulle energialle löytyykin maataloilta aina käyttöä. Suurin osa tuulivoimalalla tuotetusta sähköstä menee Oittisen tilan omaan käyttöön. Loppuosa sähköstä myydään sähköverkkoon. /8/

#### 9.4 Tuulivoimaa luomutiloille

Maatiloilla käytettävät tuulivoimalat voivat antaa lisäarvoa esimerkiksi luomutuotteille. Luomutuotteita ostava asiakas voi arvostaa myös ympäristöasioita, joten viljelijä voi tällöin sisällyttää tuotteidensa hintaan myös tuulisähkön korkeamman hinnan. Tämä on Suomessa vielä uutta. /14/

Saksassa ovat eräät maan pohjoisosien viljelijöiden omistamat tuulivoimalat kuolettaneet investointinsa 10 vuodessa. Siellä on tuulivoiman hintaa tosin tuettu monin tavoin. Tuulivoimalat on rakennettu Pohjanmeren rannikolle, jossa tuulta riittää ympäri vuoden. Myös Suomessa, esimerkiksi Pohjanmaalla, ovat rannikkoseudun maatilat tässä suhteessa hyvillä tuulisilla paikoilla, ja parhaimmilla paikoilla ovat saariston maatilat. /14/

Suomessa on rahoitusmalli, jossa yksityinen asiakas voi ostaa tuulivoimayhtiön osakkeita ja niitä vastaan tietyn määrän tuulisähköä. Kauppa- ja teollisuusministeriö tukee investointiavustuksin tuulivoimaloiden rakentamista. /14/

## YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin pientuulivoimaloiden käyttöä sähkön ja lämmön tuotantoon. Pientuulivoimalan rakentamisen teoriaa ja voimalan rakennetta tutkittiin. Työssä otettiin huomioon erilaiset energiatarpeet, esimerkiksi pientuulivoimalan käyttö mökillä tai omakotitalossa. Eri voimaloita ja niiden tehokäyriä verrattiin. Lopussa esitettiin tiedotusvälineiden artikkeleita pientuulivoimasta.

Työstä muodostui tietoa antava tutkintotyö, joka täytti asetetut tavoitteet. Eri voimaloiden vertaaminen osoittautui vaikeaksi, koska tietoa ja samoja mittasuureita, vieläpä samansuuruisista voimaloista, oli vaikea löytää. Lisäksi paikalliset tuuliolosuhteet vaikuttavat ratkaisevasti tuulivoimalan energiantuotantoon.

## LÄHTEET

1. Bornay Wind Turbines: Products. [www-sivu] [viitattu 2.11.2008] Saatavissa: <http://www.bornay.com/en/productos.html>
2. Eagle Windpower LTD. [www-sivu] [viitattu 4.11.2008] Saatavissa: [http://www.eagle.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=14&Itemid=56](http://www.eagle.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=56)
3. Finnwind Oy. [www-sivu]. [viitattu 9.9.2008] Saatavissa: <http://www.finnwind.fi>
4. Ilmatieteen laitos. Tutkimus Suomen tuulioloista. [www-sivu] [viitattu 22.9.2008] Saatavissa: [http://www.fmi.fi/tutkimus\\_yhteiskunta/yhteiskunta\\_9.html](http://www.fmi.fi/tutkimus_yhteiskunta/yhteiskunta_9.html)
5. Kalliokoski, M. Mökkikoisen tuulivoimalan sija löytyy näppituntumalla. Aamulehti 20.10.2008, s. A06.
6. Kansikas, R – Kauhanen, K – Sundell, L. Energiavaihtoehdot. Infopress Oy. Jyväskylä 1981. 146 s.
7. Kara, M. (toim.) Energia Suomessa. 3. painos. Edita Prima Oy. Helsinki 2004. 396 s.
8. Laitila, A. – Mars, H. Tuulivoimalla energiaomavaraiseksi. Tuulensilmä 1/2008, s.10.
9. Laitinen, J. Tuulivoimaloita pystytetään St1-asemille ympäri maan. Helsingin Sanomat. [www-sivu]. Julkaistu: 18.7.2008 lehdessä osastolla Talous. [viitattu 9.9.2008] Saatavissa: <http://www.hs.fi/autot/artikkeli/Tuulivoimaloita+pysty->

tet%C3%A4%C3%A4n++St1asemille+ymp%C3%A4ri+maan/HS20080718SI  
1TA02lvm

10. Pohjonen, K. Hallitus lähes kolminkertaisti kotitalousvähennyksen. Aamulehti 29.8.2008, s. A06.
11. REPS Renewable Energy Production Solutions. [www-sivu]. [viitattu 8.10.2008] Saatavissa: [www.reps.fi/skystream](http://www.reps.fi/skystream)
12. REPS Renewable Energy Production Solutions. Lehdistötiedote: Uusi lippu-tankokokoinen tuuligeneraattori pienentää sähkölaskua. [pdf-tiedosto]. [viitattu 8.10.2008] Saatavissa: <http://www.reps.fi/skystream/skystream-pressrelease1-fi.pdf>
13. Suomen tuulienergia – FWT Oy. [www-sivu]. [viitattu 23.9.2008] Saatavissa: <http://www.suomentuulienergia.fi/>
14. Tertsunen, S – Tertsunen, V. Energian käyttö ja säästö maataloilla. 2000. 23 s.
15. Tuulensilmä. Nro 1/2008. [PDF-tiedosto]. [viitattu 23.9.2008] Saatavissa: [http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoimayhd-files/TS1\\_08.pdf](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoimayhd-files/TS1_08.pdf)
16. Tuulivoimala.com Finland Oy. [www-sivu]. [viitattu 9.9.2008] Saatavissa: <http://www.tuulivoimala.com/>
17. Tuulivoimala.com Finland Oy. Tuulivoimakäsikirja. [PDF-tiedosto]. [viitattu 9.9.2008] Saatavissa: [http://212.16.107.82/index.php?option=com\\_content&task=view&id=30&Itemid=64](http://212.16.107.82/index.php?option=com_content&task=view&id=30&Itemid=64)
18. Ympäristöministeriö. EU:n ilmasto- ja energiapaketti: Suomelle haastavat tavoitteet. [www-sivu] [viitattu 2.11.2008] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22013&lan=fi>