

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Logistiikka / Logistiikan johtaminen ja tiedonhallinta

Pekka Nahkuri

TUULIVOIMATEOLLISUUDEN MATERIAALI- JA TAVARAVIRRRAN SELVI-
TYS

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Logistiikan koulutusohjelma

NAHKURI, PEKKA

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Toukokuu 2012

Avainsanat

Tuulivoimateollisuuden materiaali- ja tavaravirran selvitys

44 sivua

lehtori Juhani Heikkinen

North European Logistics Institute

materiaalivirta, tuulivoima

Opinnäytetyön aihe oli tuulivoimateollisuuden tavara- ja materiaalivirran selvitys.

Työn tarkoituksena oli selvittää tietoja Suomen tuulivoimasta ja perehtyä tuulivoimaloihin. Työssä tutustuttiin tuulivoiman käytön vaikutuksiin ja kustannuksiin. Lisäksi tutkittiin tuulivoiman materiaalivirtoja.

Opinnäytetyön teoriaosuuden pohjana käytettiin kirja- ja internet-lähteitä. Materiaalivirtojen tutkimuksen apuna toimivat Winwind Oy:n henkilökunnan kanssa käydyt palaverit ja sähköpostikeskustelut. Keskusteluiden ja teoriapohjan avulla selvitettiin tuulivoimalaitokselle kuljetettavien osien tietoja, materiaalien kuljetusreittejä ja tuulipuiston materiaalivirtoja sekä niiden aikatauluja.

Selvityksen tavoitteet saavutettiin keräämällä tietoa tuulivoimaloista, Suomen tuulivoimasta ja sen käytöstä. Tuulipuiston rakentamiseen liittyvistä materiaalivirroista ja niiden aikatauluista tehtiin esimerkki, jonka perusteella pystytään hahmottamaan, minkälainen projekti on kysymyksessä.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Logistics

NAHKURI, PEKKA

Goods and Material Flow Statement of Wind Power Industry

Bachelor's Thesis

44 pages

Supervisor

Juhani Heikkinen, Senior Lecturer

Commissioned by

North European Logistics Institute

May 2012

Keywords

flow of material, wind power

The subject of this thesis was goods and material flow statement of wind power industry. The aim was to examine Finnish wind power and learn about wind turbines. The study explored the impacts and costs of wind power. The study also examined the material flows of wind turbine manufacturer.

Interviews and email discussions with staff of WinWinD helped with study of material flows. The study examined parts being transported to wind power plant, material transportation routes, material flows and their schedules to wind farm.

The objective of this study was achieved by gathering information about wind turbines and Finnish wind power. An example was made about schedules of material flows to wind farm.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	YLEISTÄ TUULIVOIMASTA	6
	2.1 Tuuli	6
	2.1.1 Merituulet	8
	2.1.2 Vuorituulet	10
	2.2 Tuuli Suomessa	11
	2.3 Tuulivoiman kehitys	14
	2.4 Tuulivoima Suomessa	16
	2.5 Keskeiset suomalaiset tuulivoimayhtiöt	18
3	TUULIVOIMALAT	20
	3.1 Tyypit	21
	3.1.1 Sakkaussäätö	23
	3.1.2 Lapakulmansäätö	23
	3.1.3 Aktiivinen sakkaussäätö	24
	3.2 Rakenne	25
	3.3 Toiminta	27
4	TUULIVOIMAN KÄYTTÖ	28
	4.1 Vaikutukset	29
	4.1.1 Ympäristövaikutukset	29
	4.1.2 Sähköverkkovaikutukset	31
	4.1.3 Työllisyysvaikutukset	32
	4.2 Kustannukset	33
5	MATERIAALIVIRTA	33
	5.1 Konepedin valun kuljetus	34
	5.2 Aseri-tuulipuiston materiaalivirta	36

6 YHTEENVETO

40

LÄHTEET

41

1 JOHDANTO

North European Logistics Institute on Kymenlaakson ammattikorkeakoulun hallinnoima logistiikan kehitysohjelma. He ovat mukana RENEWTECH-hankkeessa, minkä tarkoituksena on tuulivoimateknologian ja –liiketoiminnan kehittäminen Etelä-Suomessa 2011-2013. North European Logistics Institututen tehtävänä on osaprojekti 4: Tuulivoimaklusterin logistinen järjestelmä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia apuna kyseisessä osaprojektissa.

Tuulivoimateollisuuden tavara- ja materiaalivirran selvityksen alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää materiaalivirtojen osalta nykyiset toimittajat, mahdolliset muut uudet paikalliset toimittajat, kuljetusketjut, prosessikuvaukset teko ja muut lisäarvoa antavat ajatukset. Itsestäni riippumattomista syistä en pystynyt selvittämään Kymenlaakson alueella toimivia tuulivoimateollisuuden nykyisiä toimittajia, joten jouduin muuttamaan suunnitelmia kesken opinnäytetyön.

Suunnitelmien muututtua opinnäytetyössä tarkasteltiin Suomen tuulivoimaa ja eri tuulivoimalatyyppejä sekä yleisesti tuulivoimalaitoksen rakennetta ja toimintaa. Työssä selvitetään myös tuulivoiman käytön vaikutuksia ja kustannuksia. Tämän opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena on myös tutkia tuulipuiston rakentamiseen liittyviä materiaalivirtoja ja toimitettavien osien aikatauluja. Näiden lisäksi selvitetään kuljetettavien osien tietoja.

2 YLEISTÄ TUULIVOIMASTA

2.1 Tuuli

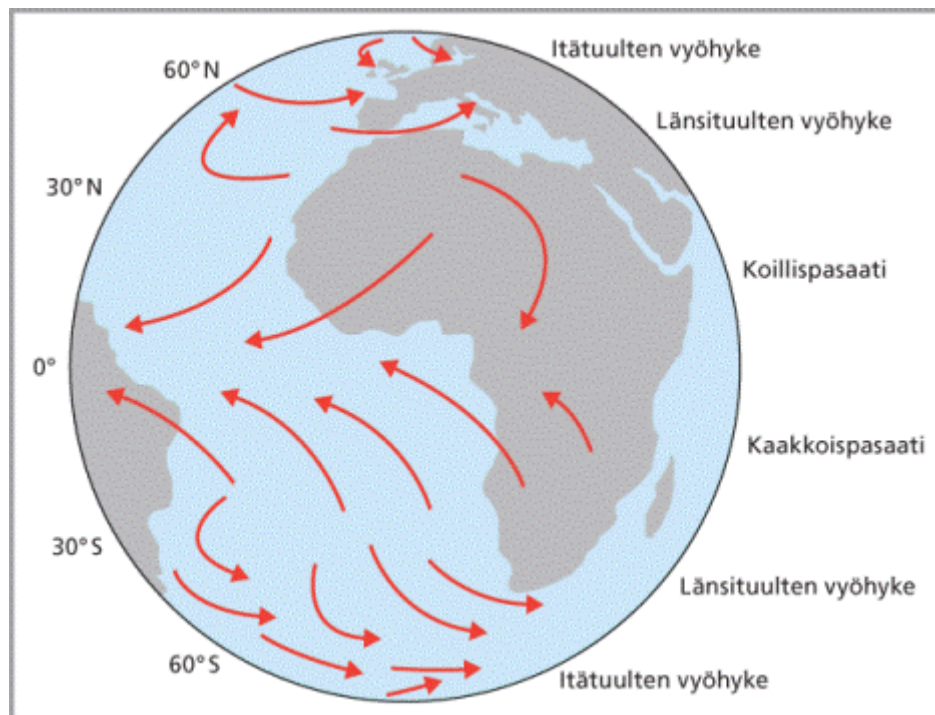
Auringon säteily lämmittää ilmaa ja samalla maan pintaa. Lämmennyt kevyempi ilma kohoaa ylöspäin, mikä aiheuttaa ilman paineen alenemisen maan pinnalla. Kun paine tasoittuu, se saa aikaan ilmassojen liikkeen, josta tuuli syntyy. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 280.)

Tuuli on ilmavirtaus, joka liikkuu ilmakehässä maanpinnan suuntaisesti. Pohjimmiltaan tuuli on aurinkoenergiaa ja on auringon tapaan saasteeton ja uusiutuva energianlähde. Auringon säteilyn teho on suuruusluokkaa 1370 W/m² ilmakehän ulkorajalla. Maapallolle kohdistuvasta auringon energiasta noin 2-3% muuttuu tuulienergiaksi eli

tuuleksi. Tämä on noin 40 kertainen energiamäärä, kun verrataan maailman tämänhetkiseen energiankulutukseen. (Suomen tuuliatlas 2009 ; Tuulivoiman tietopaketti 2009 ; Hellgren, Heikkinen, Suomalainen & Kala, 1999, 29.)

Maapallon muodosta sekä auringon ja maapallon keskinäisestä sijainnista johtuen auringon lämmittää maanpintaa eri tavoin eri leveysasteilla. Napa-alueiden lähellä säteily kulkee pidemmän matkaa ilmakehässä kuin päiväntasaajalla, jolloin säteily vaimenee sitä mukaa, mitä lähemmäksi napa-aluetta tullaan. Tämän takia napa-alueilla sijaitsevat alueet saavat huomattavasti vähemmän auringon säteilyenergiaa kuin päiväntasaajan alueet. Toisaalta lämpöenergiaa katoaa pitkäaaltoisena ulossäteilynä maailmakehäsystemistä. Keskimäärin 38 leveysasteen napa-alue lähempänä oleva alue on energiaa menettävää aluetta ja leveysasteiden välinen alue on energiaa saavaa aluetta. (Suomen tuuliatlas 2009 ; Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Maapallolta voidaan erottaa kolme eri tuulivyöhykettä (kuva 1): itätuulet ovat lähinnä napa-alueita, länsituulet sijaitsevat keskileveysasteilla ja troppiikissa ovat pasaatituulet. Vyöhykkeiden rajat vaihtuvat vuodenaikojen mukaan. (Suomen tuuliatlas 2009.)



Kuva 1: Planetaarinen tuulijärjestelmä (Tuulivoiman tietopaketti 2009)

Paikalliseen tuuleen ja tuulisuuteen vaikuttavat suuret lämpötilaerot sekä pienemmässä mittakaavassa maan ja meren jakauma ja lämpötilaerot, vuoristot, pinnan muodot ja laatu. Tietyllä hetkellä tapahtuvaan tuulen voimakkuuteen vaikuttaa tuulivyöhykkeen ja paikallisen maaston lisäksi erityisesti matalapainetoiminta ja matalapaineen keskuk- sen liikerata. (Suomen tuuliatlas 2009 ; Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

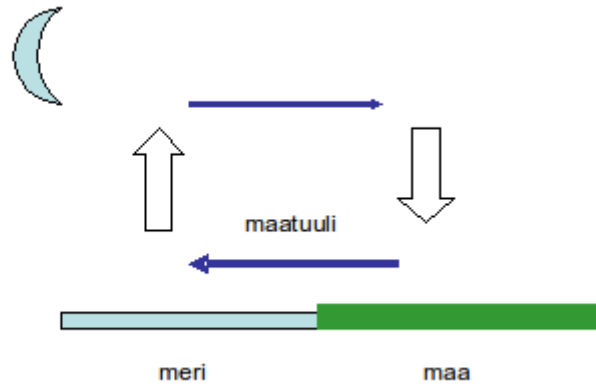
Maailman tuulet vaikuttavat paikallisiin tuuliolosuhteisiin ja ne puolestaan vaikuttavat yleisimpiin tuuliolosuhteisiin. Maailmanlaajuisten ja paikallisten tuuliolosuhteiden vaikutusten summa vaikuttaa tuulen suuntaan. Paikalliset tuulet voivat hallita tuulta maailmanlaajuisten tuulten ollessa heikkoja. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

2.1.1 Merituulet

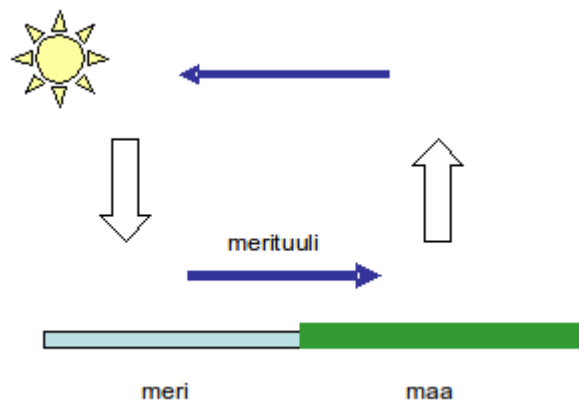
Auringon vaikutuksesta maa-aines lämpenee nopeammin kuin meri päivisin. Ilma kohoaa, leijailee merelle ja luo maanpinnalle matalapaineen, joka vetää puoleensa kylmää ilmaa mereltä. Tätä kylmää ilmaa kutsutaan merituuleksi. (Tuulivoiman tietopa- ketti 2009.)

Maan ja meren lämpötila on usein sama, kun iltahämärässä on ajanjakso jolloin on tyyntä. Yön aikana tuuli puhaltaa vastakkaiseen suuntaan. Yleisesti yöaikaan maatuul- ten nopeudet ovat alhaisempia, koska maan ja meren lämpötilaero on pienempi. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Perusvirtauksella on huomattava merkitys merituuleen ja sen havaitsemiseen. Meri- tuuli voimistaa virtausta, jos perusvirtaus on mereltä maalle. Jos perusvirtaus on maal- ta merelle, niin perusvirtaus heikkenee rannikolla ja läheisellä merialueella. Tämän li- säksi merialueen tuulen suunta voi muuttua perusvirtaukselle vastakkaiseksi. Perusvir- tauksen ollessa rannikon suuntainen on mahdollista syntyä tilanne, jossa lähellä me- renpintaa ja rannikkoa tuulen nopeus on maalta merelle. Tässä tapauksessa muutos pe- rusvirtauksen suuntaan voi tapahtua 50 m – 100 m korkeudella. (Tuulivoiman tietopa- ketti 2009.)



Kuva 2: Yöllä maa jäähtyy nopeammin kuin meri. Kun meri on lämpimämpää kuin maa (öisin tai esimerkiksi syksyisin usein myös päivällä), muodostuu merelle matalamman paineen alue, johon virtaa korvaavaa ilmaa maalta eli syntyy maatuuli. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)



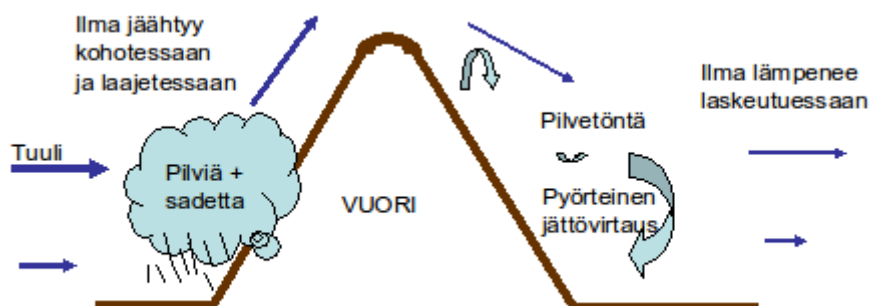
Kuva 3: Aurinkoisena päivänä maa lämpenee nopeammin kuin meri. Lämpimän maan yläpuolella ilma lämpenee ja nousee ylöspäin. Muodostuneeseen matalamman paineen alueeseen virtaa korvaavaa ilmaa mereltä lähellä pintaa eli syntyy merituuli eli tuulee mereltä maalle. Ylempänä tuuli on maalta merelle. Avoimet nuolet edustavat heikkoja virtauksia. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Suomessa tuulivoiman kannalta maa-merituulivaihtelulla on vähäinen merkitys. Kyseistä ilmiötä kuitenkin esiintyy 15 km – 20 km:n etäisyydellä rantaviivasta. Esimerkiksi USA:ssa Kaliforniassa tuulivoimaloiden toiminta perustuu lähinnä maa-merituulivaihtelun hyödyntämiseen. Siellä voimalat eivät sijaitse vuorten laella vaan ne ovat sijoitettu laaksoihin ja matalille kukkuloille. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

2.1.2 Vuorituulet

Useita erilaisia säämalleja esiintyy vuorialueilla. Laaksotuuli on peräisin etelärinteiltä ja pohjoisella pallonpuoliskolla se on peräisin pohjois-rinteiltä. Ilman tiheys kasvaa silloin, kun rinne ja sen lähellä oleva ilma lämpenee. Tästä syystä ilma nousee vuoren huipulle seuraten rinteiden pintaa. Yön aikana tuulen suunta vaihtuu. Ilma liikkuu alas tai ylös laaksoa, kuten kanjonituuli, jos laakson pohja on kalteva. Tuuli voi olla hyvin voimakas, jos se puhaltaa vuoren suojanpuoleiselta sivulta. Näitä tuulia ovat esimerkiksi föhn Alpeilla, chinook Kalliovuorilla ja zonda Andeilla. Muita paikallisia tuulijärjestelmiä ovat esimerkiksi Välimeren Rhonen laaksosta puhaltava mistral sekä Saharasta tuleva eteläinen tuuli scirocco, joka puhaltaa Välimeren. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Alppien pohjoispuolella esiintyvää lämpimää tuulta kutsutaan saksankielessä termillä Föhn (kuva 4). Kun etelästä tuleva ilmavirtaus kohtaa vuoriston, ilma liikkuu ylöspäin ja jäähtyy laajetessaan noin asteen verran sadan metrin nousua kohden. Ilman laskeutuessa vuorten pohjoispuolella se taas lämpenee. Joskus vuoriston eteläpuolella syntyy pilviä nousevaan virtaukseen. Tässä tapauksessa pilvipisaroiden tiivistyminen vapauttaa lämpöä ympäristöönsä ja ilma noustessaan jäähtyy vähemmän kuin asteen sataa metriä kohden. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)



Kuva 4: Vuorituulet (Tuulivoiman tietopaketti 2009)

Föhn voidaan havaita myös Skandinaviassa ja Suomessa. Se ei ole yhtä merkittävä tuulienergian tuottamisen kuin ilman lämpenemisen kannalta. Atlantilta kohti Suomea

virtaava kostea ilma kohtaa Norjan jyrkän rannikon ja Kölivuoriston. Useasti virtauksen seurauksena ilma nousee ylöspäin Norjan rannikolla, jolloin se tiivistyy ja sataa. Kun kuivunut ilma ehtii vuoriston itäpuolelle se joutuu laskevaan liikkeeseen ja lämpenee. Näin Suomessa voidaan päästä varsin korkeisiin lämpötilalukemiin talven aikana. Pohjanmaalla ja Länsi-Lapissa ilmiö vaikuttaa selkeimmin. Ilman kuivumisen eli Föhnin vaikutuksesta Käsivarren tuntureilla sijaitsevien tuulivoimaloiden jäätyminen on huomattavasti vähäisempää kuin idempänä sijaitsevilla tunturialueilla. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

2.2 Tuuli Suomessa

Yleisesti tuulen nopeuden yksikkönä Suomessa on SI-järjestelmän mukainen metriä sekunnissa (m/s). Merenkulun ja lentoliikenteen nopeuden yksikkö on solmu (kt), eli meripeninkulma sekunnissa. Tuulen nopeus useissa maissa ilmoitetaan yksikössä kilometriä tunnissa (km/h) tai mailia tunnissa (mph). (Suomen tuuliatlas 2009.)

Kansainvälinen ilmatieteen ala suosittelee, että tuulen nopeutta mitataan 10 metrin korkeudella maanpinnasta. Käytännössä mittauskorkeus kuitenkin vaihtelee asemaa ympäröivän maaston ja sääaseman sijainnin mukaan. Esimerkiksi sääaseman sijaitessa metsäisessä maastossa, mittari pyritään sijoittamaan 10 metriä puuston latvuksen yläpuolelle. (Suomen tuuliatlas 2009.)

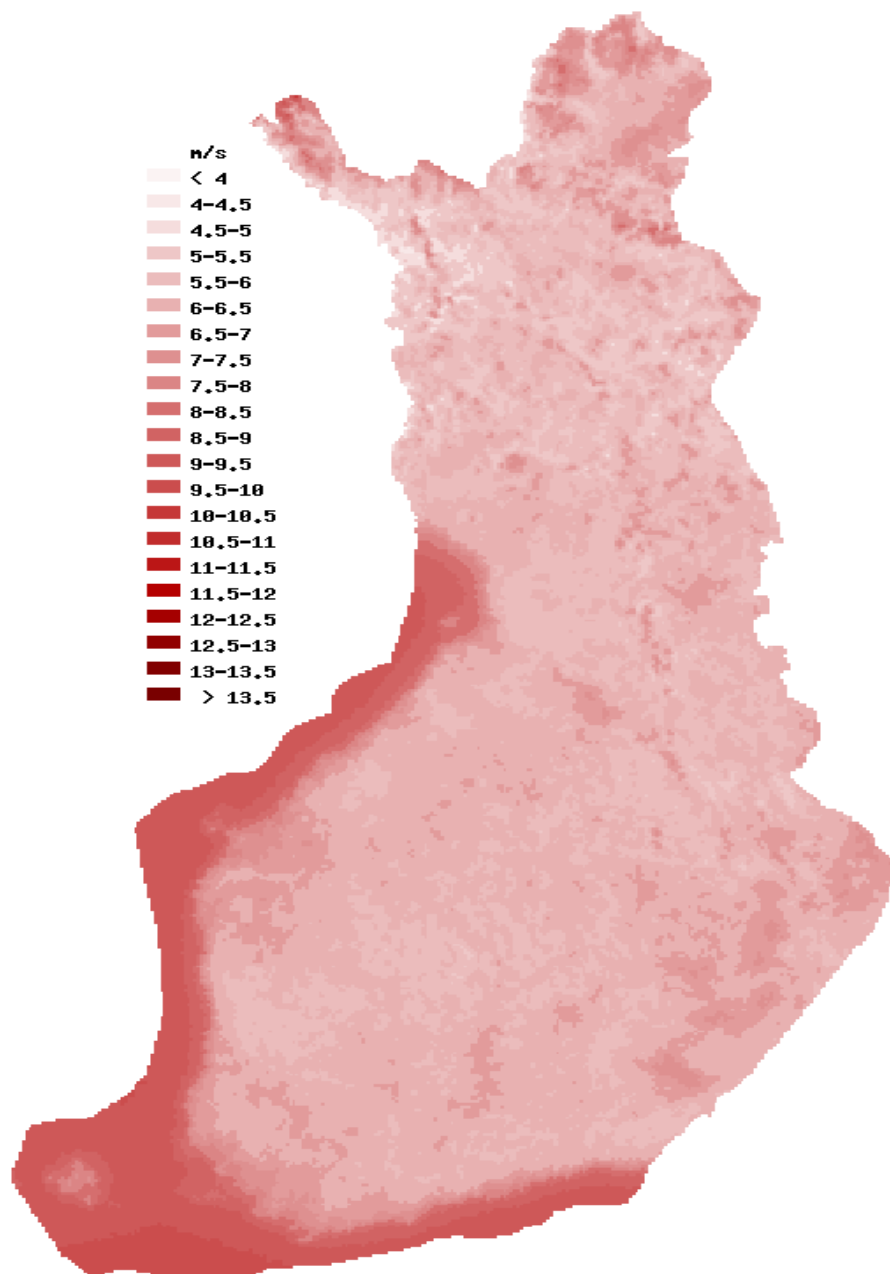
Kuvassa 5 on listattu säätiedotuksen tuulen nopeudet. Siinä on jaettu tuulen nopeudet eri kategorioihin (m/s), jokaisesta oma kuvaus ja miten kyseinen tuulen nopeus vaikuttaa maalla ja avomerellä.

Säätiedotuksen tuulen nopeudet		
m/s	Kuvaus	Tuulen vaikutukset maalla ja avomerellä
0–3	Heikko tuuli	1 m/s: savu menee tuulen suuntaan 3 m/s: puiden lehdet kahisevat; lyhyitä aaltoja
4–7	Kohtalainen tuuli	Lippu oikenee; aallon harjat murtuvat
8–13	Navakka tuuli	8–10 m/s: pienet lehtipuut heiluvat; meri kohisee 11–13 m/s: suuret oksat heiluvat; meri kumisee
14–20	Kova tuuli	14–17 m/s: puut heiluvat; aaltojen huiput murtuvat 18–20 m/s: katkoo puiden oksia
21–24	Myrsky	Katkoo puita; aallot korkeita, meri pauhaa
25–28	Kova myrsky	Kiskoo puita juurineen; merellä aaltovuoria
29–32	Ankara myrsky	Kaataa metsää; merenpinta täysin valkoisena
>32	Hirmumyrsky	

Kuva 5: Säätiedotuksen tuulen nopeudet (Suomen tuuliatlas 2009)

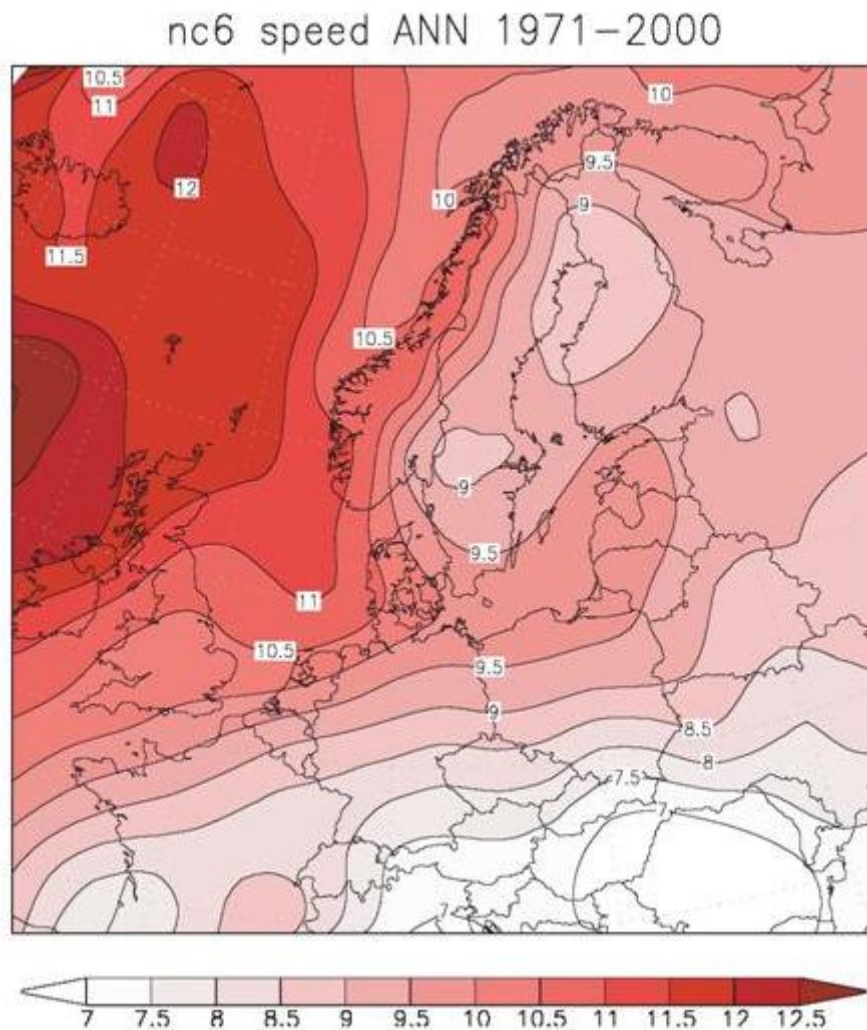
Tyypillistä Suomen ilmastolle on tuulen nopeuden selvät vaihtelut vuodenajoittain merialueilla, rannikolla ja tuntureilla, kun puhutaan ihmisen havaintokorkeudesta ja tavallisten sääasemien tuulimittarin sijoituskorkeudesta. Sisämaan tuulen kuukausittainen keskinopeus vaihtelee varsin vähän, ja sisämaan sääasemilla mitattu tuulen vuotuinen keskinopeus on selvästi pienempi kuin merisääasemilla mitattu. (Suomen tuuliatlas 2009.)

Kuvassa 6 on havainnollistettu miten Suomen tuulen keskinopeus (m/s) jakautuu 100 metrin korkeudella rannikoille ja sisämaahan.



Kuva 6: Tuulen keskinopeuden (m/s) jakauma 100 metrin korkeudella 2,5 x 2,5 neliökilometrin tarkkuudella. (Suomen tuuliatlas 2009.)

Tuulivoimalan kannalta katsottuna Suomessa tuulee eniten talvikuukausina ja selvästi vähemmän kesäkuukausina. Maantieteellinen sijainti ja pääasiassa Atlantilta Suomeen suuntautuvat matalapaineet ja niiden kulkemat reitit vaikuttavat merkittävästi Suomen tuulioloihin. Näistä johtuen keskimääräinen geostrofinen tuuli eli tuulen nopeus noin kilometrin korkeudella on verraten suuri (9 – 9,5 m/s). Se on huomattavasti suurempi kuin eteläisemmässä Euroopassa (7 – 8,5m/s), mutta pienempi kuin Brittein saarilla (10 – 12m/s), Norjan rannikolla (10 – 11m/s) tai Tanskassa (10 – 10,5m/s) ja Pohjanmeren rannikolla (10 – 10,5m/s)(kuva 7). (Suomen tuuliatlas 2009.)

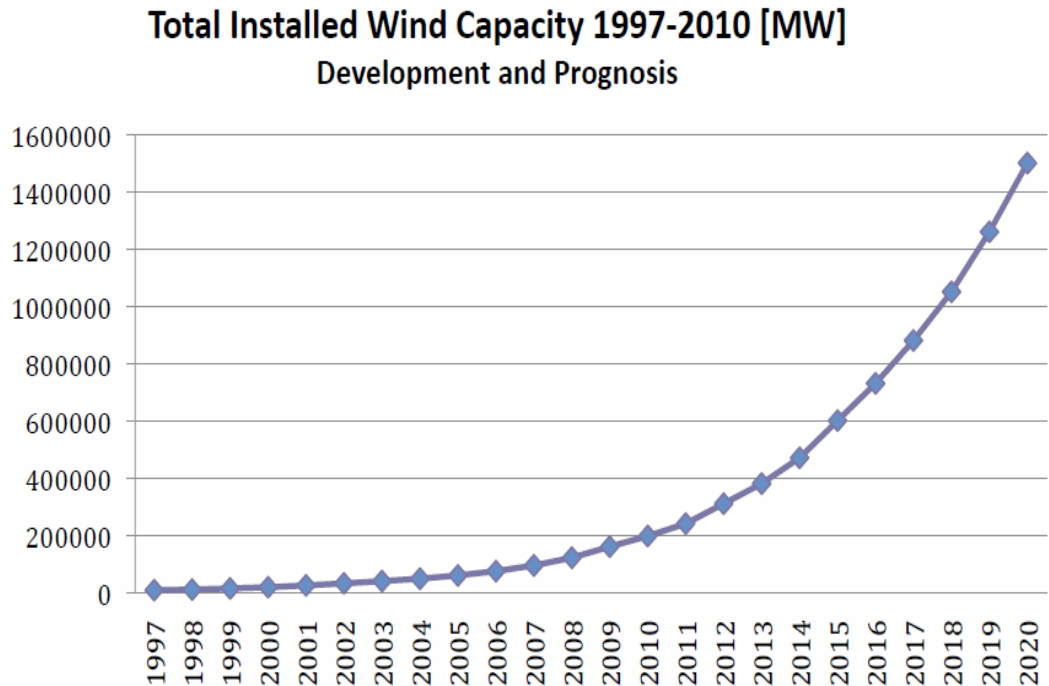


Kuva 7: Keskimääräisen tuulennopeuden jakauma Euroopassa. Kuvassa ilmapaineentästä laskettu geostrofinen tuuli (m/s). (Suomen tuuliatlas 2009.)

2.3 Tuulivoiman kehitys

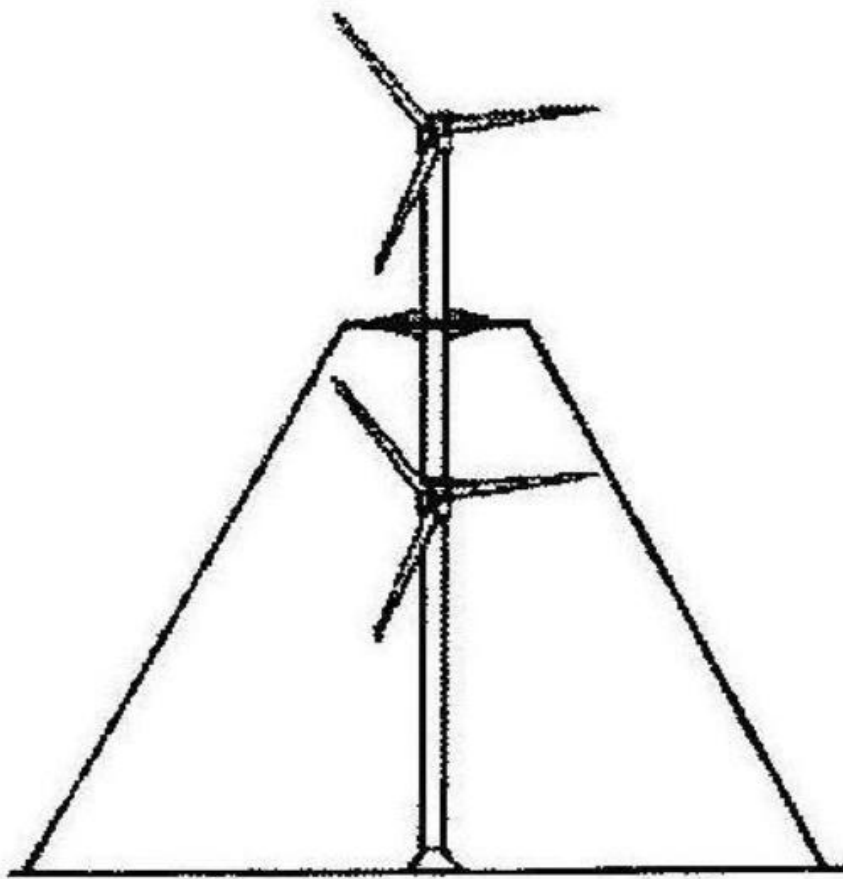
Tuulivoima on maailmanlaajuisesti houkutteleva sijoituskohde, koska maailmalla tarvitaan puhdasta ja luotettavaa energiantuotantomuotoa. Tästä syystä uusia tuulivoimahankkeita tulee jatkuvasti lisää. Merkittävää tuulivoiman kasvua voidaan odottaa Kiinassa, Intiassa, Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Korkeita kasvulukuja odotetaan osassa Etelä-Amerikkaa sekä Japanin ja Itä-Euroopan markkinoilla. Keskipitkällä aikavälillä uskotaan myös joidenkin Afrikan maiden tekevän suuria investointeja tuulivoimaan. (Tuulivoiman tietopaketti 2009 ; World Wind Energy Association 2011.)

Kasvukäyrien perusteella WWEA arvioi, että vuonna 2015 maailmanlaajuinen tuuli-voimantuotanto voi ylittää 600 000 MW:iin asti. Arvioiden perusteella vuoden 2020 loppuun mennessä tuulivoiman asennettu kapasiteetti olisi 1500 000 MW, joka vastaa 12 % maailman sähköntarpeesta (kuva 8). (Tuulivoiman tietopaketti 2009 ; World Wind Energy Association 2011.)



Kuva 8: WWEA:n tilasto tuulivoiman asennetusta kapasiteetista 1997-2010 ja ennuste vuoteen 2020 asti. (World Wind Energy Association 2011.)

Kuvan 9 megatuulivoimalat ovat tuulivoimalaitosten kehitysten uusi sukupolvi. Megatuulivoimaloiden perusidea on yksinkertainen, torniin sijoitetaan kaksi roottoria yhden sijasta. Näin saadaan hyödynnettyä tuuli tehokkaammin kuin yksiroottorisella tuulivoimalaitoksella. Megatuulivoimalalla pystytään tuottamaan reilusti enemmän energiaa kuin nykyisellä mallilla, jos ne vain toteutuvat tulevaisuudessa. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 284.)



Kuva 9: Megatuulivoimala (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 284)

2.4 Tuulivoima Suomessa

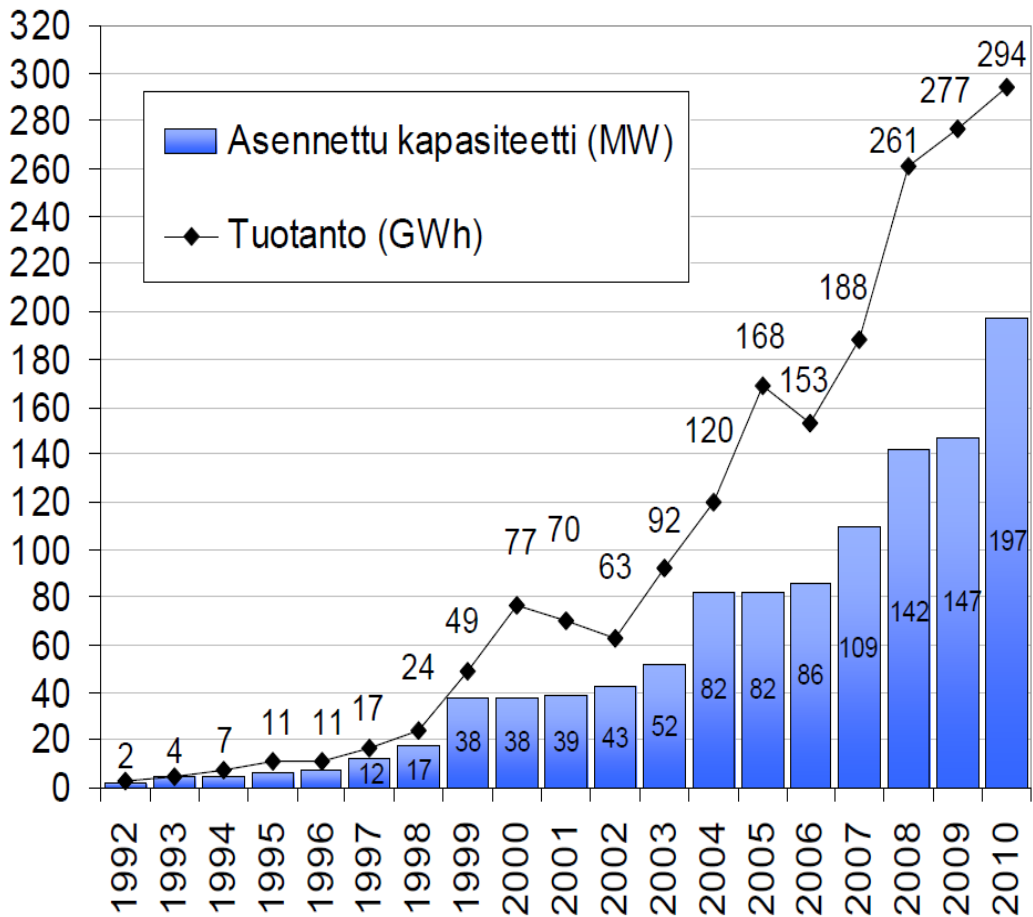
Suomi on metsäinen maa, jossa on vähän tasaisia, laajoja ja avoimia laidun- ja pelto-
maita. Tuulivoiman tuottaminen on taloudellisesti kannattavaa meren rantaviivan vä-
littömässä läheisyydessä sekä korkealle kohoavien tuntureiden ja vaarojen huipuilla.
Kuvassa 10 on esitetty Suomen tuuliolosuhteita ja tuotantopotentiaaleja eri puolilla
maata. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 280-281.)

Alue	Tuulen keskinopeus m/s	Tuulienergiapotentiaali TWh/a
Lapin tunturit	7 - 9,5	5 - 6
Rannikko ja saaristo	6 - 7,5	4
Merialueet	7,5 - 8	50
Sisämaa	4,5 - 5,5	ei laskettu

Kuva 10: Tuuliolosuhteet ja tuulienergian tuotantopotentiaaleja (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 280)

Suomen ensimmäinen valtakunnan sähköverkkoon kytketty tuulivoimala otettiin käyttöön vuonna 1986 Inkoon Kopparnäsissä. Vuonna 1991 nousi Vaasan lähistölle Korsnäsiin ensimmäinen tuulivoimalapuisto. Neljä voimalaa käsittävän puiston tuulimyllyt olivat teholtaan 200 kW. (Lehto, Luoma, 1998, 43. ; Hellgren, Heikkinen, Suomalainen, Kala, 1999, 29.)

Vuonna 2011 Suomessa tuotettiin tuulivoimalla 483 GWh sähköä. Tämä on noin 0,6 % koko sähköhankinnasta. Kuvassa 11 on kuvattu tuulivoimatuotannon kehitystä Suomessa vuosina 1992 – 2010. Pylväät osoittaa asennetun tuotantokapasiteetin megawatteina, ja viiva näyttää jokaisen vuoden tuulivoimalla tuotetun sähköenergian gigawattitunteina. (Stenberg, Holttinen 2011.)

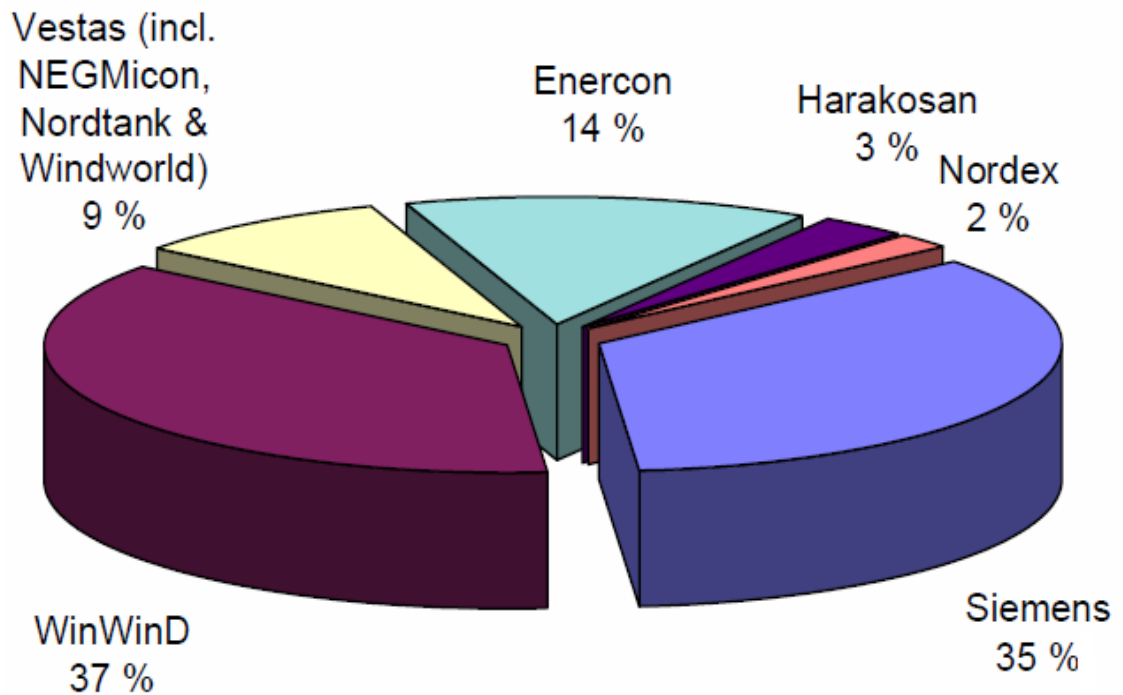


Kuva 11: Tuulivoimatuotannon kehitys Suomessa. (Stenberg, Holttinen 2011)

2.5 Keskeiset suomalaiset tuulivoimayhtiöt

Suomessa suuria tuulivoimalaitoksia valmistaa Winwind Oy ja Mervento Oy. Winwind valmistaa yhden ja kolmen megawatin tuulivoimaloita erityisesti matalatuulisille alueille. Mervento puolestaan valmistaa 3,6 megawatin tuulivoimaloita ja ne ovat suunniteltu rannikko- ja merikäyttöön. 2kW – 4kW pientuulivoimaloita valmistaa PEM-Energy, Eagle WindP, Finnwind ja Windside. (Alkio 2011 ; WinWinD Oy 2012 ; Teknologiateollisuus ry.)

Kuvassa 12 esitetään eri valmistajien markkinaosuuksia Suomen koko tuulivoimakapasiteetista vuoden 2010 lopussa. Tilastointiin osallistuvien laitosten tuulivoimakapasiteetti oli yhteensä 197MW. (Stenberg, Holttinen 2011.)



Kuva 12: Tuulivoimalavalmistajien markkinaosuudet Suomen tuulivoimakapasiteetista vuoden 2010 lopussa. (Stenberg, Holttinen 2011.)

Generaattoreita valmistaa ABB Oy ja The Switch Oy. ABB valmistaa generaattoreita kaikenlaisiin sovelluksiin ja The Switch 1MW – 6MW:n tuulivoimaloihin, mutta tarvittaessa myös suurempiinkin voimaloihin. Tuulivoimalaitosten vaihteet valmistaa Moventas Oy, joka on yksi maailman johtavista vaihdevalmistajista. Tehonmuokkaimia valmistaa ABB:n ja Switch:n lisäksi Vacon Oyj. (Alkio 2011 ; ABB Oy 2012 ; The Switch Oy 2012 ; Moventas Oy.)

Tuulivoimalaitoksen siipien lujitemuovimateriaaleja valmistaa Ahlström Oyj. Tornien osia puolestaan valmistaa Levator Oy, Parma Oy, Rautaruukki Oyj ja Skanska Oy. Perustuksia Suomessa rakentaa Destia Oy, Lemminkäinen Oyj, NCC Oyj, YIT Oyj ja monet muut paikalliset rakennusliikkeet. (Alkio 2011 ; Ahlström Oyj 2012.)

Suunnittelusta vastaavat Empower Oy, Finnish Consulting Group Oy, Ramboll Finland Oy, Pöyry Oyj ja joukko muita suunnittelutoimistoja. Hankekehityksen ja operoinnin kannalta keskeisimmät suomalaiset tuulivoimayhtiöt ovat EPV Tuulivoima Oy, Fortum Oyj, Innopower Oy, Tuuliwatti Oy, wpd Finland Oy ja lukuista joukko muita. (Alkio 2011.)

3 TUULIVOIMALAT

Tuulivoimassa muutetaan ilman virtauksen liike-energia turbiinien avulla sähköenergiaksi. Tuuliturbiinilla tarkoitetaan koko voimalaitosta eli tuulivoimalaa, johon kuuluu perustukset, torni, konehuone ja roottori (napa ja siivet). (Tuulivoiman tietopaketti 2009.) Tarkemmin kuvailtuna ilman liikkuvien molekyylien liike-energia muutetaan pyörimisenergiaksi tuulivoimalan siipien avulla. Siivet pyörittävät edelleen akselia, joka on kytketty kiinni generaattoriin. Pyörimisliike muutetaan sähköksi generaattorissa ja johdetaan muuntajaan sekä sähköverkkoon. (Tuulivoimateknologia 2009.)

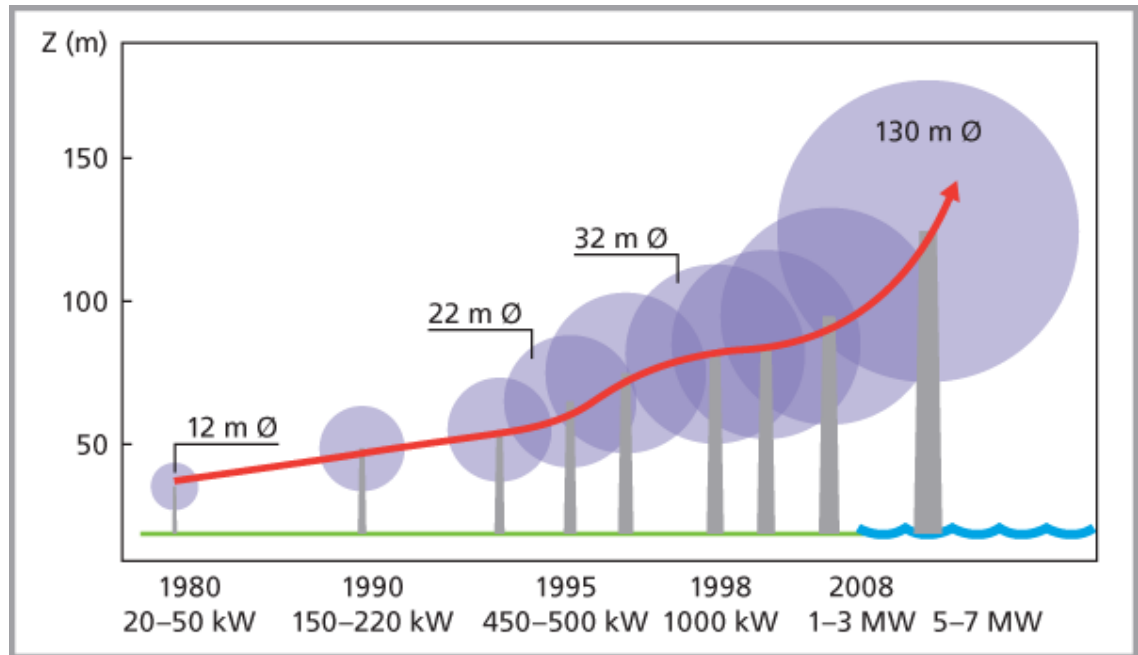
Tuulivoimalaitokset suunnitellaan tavallisesti 20 vuodeksi eli noin 120 000 tunnin käyttöajalle. Tuulivoimalaitosten siipikulmat ja roottorin pyörimisnopeus muuttuvat tuulen nopeuden perusteella, ja ne kääntyvät tuulen suunnan mukaan. Ne ovat hyvin pitkälle automatisoituja, ja niiden normaali käyttö ja valvonta tapahtuvat kaukovalvontana jonkin muun laitoksen toimesta. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 286.)

Tuulipuisto tarkoittaa aluetta, jolla on useita tuulivoimaloita liitetty toisiinsa ja ne kytkeytyvät yhtenä kokonaisuutena sähköverkkoon. Voimaloiden turbiinit sijoitetaan tuulipuistossa riittävän kauaksi toisistaan, etteivät ne vaikuta toistensa tehoon. Riittävä etäisyys tuuliturbiineille on viisi kertaa potkurin pyörimiskehän halkaisijan mitta. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Tuulivoimalan kokoa kuvataan useinmiten nimellistehon avulla, joka on tuulivoimalalle määritelty suurin teho. Muita kokoa kuvaavia käsitteitä ovat pyyhkäisyypinta-ala, potkurin halkaisija, vuosituotto, napakorkeus ja paino. Tuulivoimalan tuotto kuitenkin paranee napakorkeuden kasvaessa ja on suoraan verrannollinen pyyhkäisyypinta-alaan. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Viimeisen 25 vuoden aikana tuulivoimaloiden koon kasvu on moninkertaistunut, kuten kuvasta 13 voidaan havaita. Tornin korkeus on kasvanut 22 metristä yli sataan metriin. Tuulivoimalan potkurin halkaisija oli 15 metriä vuonna 1981, ja nykyään se on 5 megawatin koelaitoksissa jopa 130 metriä. Tehon määrä on kasvanut 55 kilowattista 3000-5000 kilowattiin. Korkeampien tornien ansiosta on tuulisuus parantunut, ja

hyötysuhde on kasvanut parantuneen aerodynamiikan ansiosta. Näiden seurauksena vuosituotto on yli satakertaistunut tänä aikana. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)



Kuva 13. Tuulivoimaloiden koon kasvu 1980-luvulta lähtien (Tuulivoiman tietopaketti 2009)

3.1 Tyypit

Markkinoilla toimivat tuulivoimalaitosten valmistajat valmistavat eri tyyppisiä laitoksia eri kokoluokissa. Lähes poikkeuksetta kolmilapaiset vaaka-akseliset laitokset (kuva 14), joiden roottori on torniin nähden tuulen yläpuolella, ovat tämän hetken suurvoimatuotannossa käytetyt laitokset. (Tuulivoiman projektiopas 1999, 77. ; Tuulivoiman tietopaketti 2009.) Jos voimalassa on vähemmän kuin kolme lapaa, massahitausvoimien erosta vaaka- ja pystyakselin suhteen aiheutuu tuuleen käännettäessä koneisto rasittavaa värinää. Jos voimalassa taas on enemmän kuin kolme lapaa, se tulee kustannuksiltaan kalliimmaksi eikä anna enempää tuottoa kuin kolmilapainen laitos. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Pystyakseliset laitokset (kuva 15) on todettu teknisesti ongelmalliseksi suurissa laitoskokoluokissa. (Tuulivoiman projektiopas 1999, 77.) Niitä kuitenkin on pystytetty kiinteistöjen katoille kaupunkiympäristöön ja telemastoihin. Pystyakselinen voimala ei

tarvitse erillistä tuuleen suuntausta, koska se toimii samalla lailla kaikilla tuulen suunnilla. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)



Kuva 14: Kolmilapainen vaaka-akselinen tuulivoimala (Innopower Oy 2011)



Kuva 15: Pystyakselinen CWT-301BR tuulivoimala (Cypress Wind Turbines Oy 2010)

Laitokset voidaan jakaa roottorin pyörimisnopeuden mukaan vakio-, kaksi- ja muuttuvanopeuksisiin. Voimansiirtomekanismina tuulivoimassa on käytössä joko vaihteellinen tai vaihteeton malli. (Tuulivoiman projektiopas 1999, 77.)

Tuulivoimalaitokset voidaan myös jakaa eri tyyppeihin sen mukaan, miten niiden tuottamaa tehoa rajoitetaan suurilla tuulennopeuksilla. Tehonrajoituksen päätyypit ovat sakkaukseen perustuva ja lapakulman säätöön perustuva. Näiden yhdistelmä on niin sanottu aktiivinen sakkaussäätö, jossa on yhdistetty kummankin pääperiaatteen hyviä puolia. (Tuulivoiman projektiopas 1999,77.)

3.1.1 Sakkaussäätö

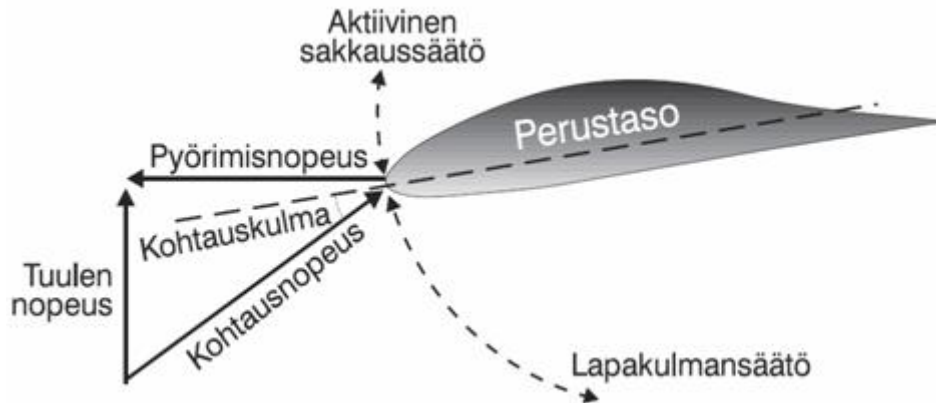
Passiivinen sakkaussäätö on perinteinen tapa rajoittaa sakkausta. Tuulen nopeuden kasvaessa ja lavan pyörimisnopeuden pysyessä vakiona, kasvaa tuulen kohtauskulma pyörivään roottorin lapaan nähden. Kohtauskulman tullessa riittävän suureksi muuttuu siiven tyhjiöpuolen virtaus laminaarisesta turbulenttiseksi, eli lapa alkaa sakata, ja silloin lavan hyötysuhde pienenee tiettyyn rajaan saakka. Tämän rajan jälkeen lavan taakse syntyvät pyörteet eivät pysty rajoittamaan tehon kasvua ja teho kääntyy jyrkään nousuun, jolloin tuulivoimala täytyy pysäyttää vaurioiden estämiseksi. (Tuulivoiman projektiopas 1999, 79.)

Sakkaussäädön riskitekijöitä ovat sakkaustilanteissa syntyvät värähtelyt, jotka vahvistavat itseään. Toinen ongelma on sakkausominaisuuksien muuttuminen vallitsevien sääolosuhteiden (lämpötila, ilmanpaine ja –kosteus), turbulenssin, jäätyamisen, lavan likeentumisen jne. mukaan. (Tuulivoiman projektiopas 1999, 79.)

3.1.2 Lapakulmansäätö

Lapakulmasäätöön perustuva tehonrajoitus perustuu tuuliturbiinin tuottaman tehon seurantaan siten, että lapojen ja tuulen kohtauskulma yritetään pitää optimaalisena. Lapakulmaa voidaan säätää kaikissa lavoissa yhtäaikaisesti tai jokaisessa lavassa erikseen. Tuulennopeuden kasvaessa nimellistehonopeutta suuremmaksi, lapa kääntyy tuuleen päin ja kohtauskulma pienenee, jolloin lavan hyötysuhde laskee (kuva 16). Näin pystytään pitämään suurilla tuulennopeuksilla laitoksen tehoa mahdollisimman lähellä nimellistehoa. Tuulen nopeuden kasvaessa yli maksimituulennopeuden laitos

pysähtyy automaattisesti kääntämällä lavat tuulen suuntaiseksi. (Tuulivoiman projektiopas 1999, 79-80.)



Kuva 16: Lavan ja tuulen kohtauskulma (Tuulivoiman projektiopas 1999,78)

Lapakulmasäätöisen tuulivoimalan hyötysuhde on pienillä tuulennopeuksilla parempi, kuin sakkaussäätöisen voimalan. Tuulen nopeuden ollessa suuri ja puuskittainen lapakulman muutokset synnyttävät nopeita tehonvaihteluita. (Tuulivoiman projektiopas 1999,80.)

3.1.3 Aktiivinen sakkaussäätö

Aktiivisakkaussäätöinen tuulivoimala toimii samoin kuin lapakulmasäätöinen voimala alle nimellistuulennopeudella. Lapakulmaa optimoimalla saavutetaan korkeampi hyötysuhde kiinteälapakulmaiseen roottoriin verrattuna. Tuulen nopeuden ylittäessä nimellistehotuulennopeuden lapa alkaa sakata kuten passiivisessa sakkaussäädössä, mutta sakkauksen määrään vaikutetaan säätämällä lavan asetuskulmaa. Näin tuulivoimala toimii koko ajan lähellä nimellistehoa. Tuulen nopeuden kasvaessa yli maksimituulennopeuden voimalaitos kääntää lavat tuulen suuntaisesti ja pysäyttää itsensä. (Tuulivoiman projektiopas 1999,80.)

Aktiivisen sakkaussäädön ja lapakulmasäädön ero suurella tuulennopeudella on, että lavat kääntyvät päinvastaisiin suuntiin (kuva 16). Tuulen vaidellessa nimellistuulennopeuden molemmilla puolissa lapakulmasäätöinen laitos vaatii selvästi suurempia lapakulman muutoksia. Molemmissa tapauksissa lavan hyötysuhde pienenee ja laitoksen tuottamaa tehoa saadaan hallittua. Aktiivisessa sakkausrajoituksessa esiintyy itesään vahvistavia värähtelyjä huomattavasti vähemmän kuin perinteisessä sakkausra-

joituksessa, koska lapakulman jatkuva eläminen estää ne. (Tuulivoiman projektiopas 1999,80.)

3.2 Rakenne

Eurooppalaisten tuulivoimalaitosten torni on yleensä putkirakenteinen ja se valmistetaan teräksestä. USA:ssa on käytössä putkirakenteisten tornien lisäksi ristikkorakenteisia torneja. Torni kiinnitetään perustukseen, joka on valmistettu betonista. Suomessa on otettu käyttöön hybriditorneja, joissa alempi puolisko on betonia ja ylempi osa tehty teräksestä. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.) Esimerkiksi WinWinD:n uudessa 3 MW:n tuulivoimalassa on käytössä kyseinen teräshybridi. (WinWinD 3 – Yksinkertaisesti tuottava.)

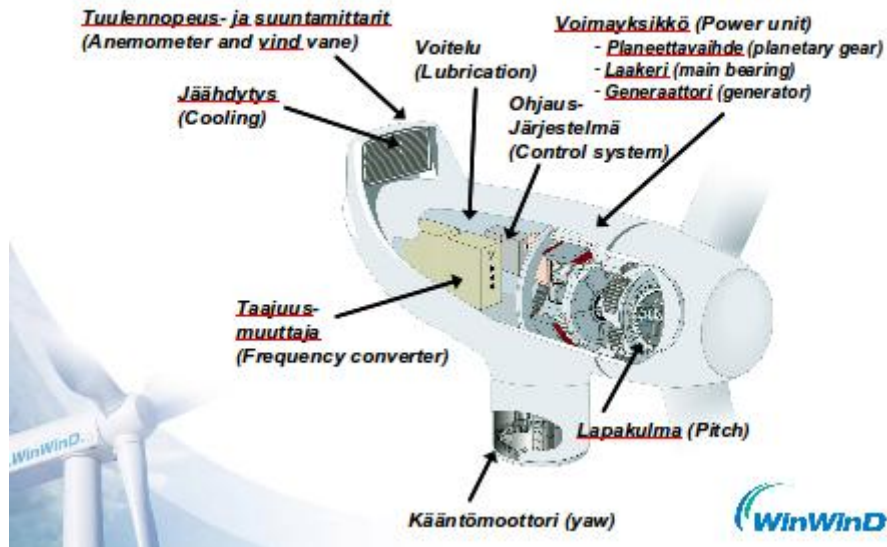
Roottorin lavat valmistetaan yleisimmin komposiittimateriaaleista. Niissä käytetään lasikuitua, mutta joskus myös hiilikuitua tai puuta yhdessä epoksin tai polyesterin kanssa. Lapojen tehtävänä on myös toimia laitoksen tehonsäätö- ja pysäytysmekanismina. Tehon säätö perustuu joko sakkaukseen tai lapakulman säätöön. Sakkaussäätöisten laitosten pysäytys tapahtuu kärkijarrun avulla ja lapakulmasäätöiset sekä aktiivisella sakkaussäädöllä varustetut laitosten pysäytys tapahtuu kääntämällä koko lavan pois tuulesta. Näiden lisäksi laitoksissa on erillinen levyjarru, joka toimii toisena pysäytysmekanismina. Ne on varustettu yleensä nopealla akselilla, mutta osa toimii myös hitaalla akselilla tai molemmilla. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)



Kuva 17: Tuulivoimalan osat (Tuulivoiman tietopaketti 2009)

Tuulivoimalan konehuoneessa ovat vaihteisto, generaattori sekä säätö- ja ohjausjärjestelmät. Vaihteiston tehtävä on muuttaa roottorin matala kierrosluku (10 – 40 rpm) generaattorille sopivaksi (1000 – 1500 rpm). Useiden tuulivoimalaitosten generaattori on 4- tai 6-napainen epätahtigenaattori. Näiden generaattorien pyörimisnopeus määräytyy sähköverkon taajuudesta. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.) ABB on kehittänyt uuden kestmagneettigenaattorin tuulivoimaloihin, jotka sijaitsevat merellä. Kestomagneettigenaattorissa vaihde ja generaattori on liitetty toisiinsa laippakiinnityksellä. Ne helpottavat huoltoa ja tuovat turbiinivalmistajille säästöä kokonaiskustannuksiin. (Tervola 2011.) Myös WinWinD:n uudessa 3 MW:n tuulivoimalassa on käytössä kestmagneettigenaattori. (WinWinD 3 – Yksinkertaisesti tuottava.) Suunta-anturin ja säätölaitteen avulla toimivat erilliset moottorin kääntävät konehuoneen tuulen suuntaan. Yleensä konehuoneen runko ja kuori valmistetaan teräksestä tai lasikuidusta. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Konehuone / Nacelle



Kuva 18: Tuulivoimalan konehuoneen rakenne (Tuulivoiman tietopaketti 2009)

3.3 Toiminta

Tuulivoimala käynnistyy, kun tuulen nopeus on vähintään 3 m/s. Tuulen nopeuden ollessa 4-13 m/s tuulivoimalan tuottama teho on suoraan riippuvainen tuulen nopeudesta. Tuulivoimala saavuttaa nimellistehonsa noin 12,5-14 m/s tuulen nopeudella, riippuen voimalan mallista ja roottorista. Voimala tuottaa nimellistehoa tästä eteenpäin aina noin 20-25 m/s tuulen nopeuteen asti. Poikkeuksena ovat sakkaussäätöiset tuulivoimalat, joiden tuottama teho alenee hieman 15-25 m/s tuulen nopeuksilla. Tuulivoimalat on suunniteltu toimimaan alle 25 m/s tuulen nopeuksilla, koska suurilla tuulen nopeuksilla voimalan rakenteisiin kohdistuu erittäin suuria rasituksia ja laiterikoutumisen vaara on suuri. (Tekniikka tutuksi 2011. ; WinWinD 3 – Yksinkertaisesti tuottava.)

Vapaasti virtaavan tuulen antama teho P vaak akselisellem potkurimalliselle tuulivoimalan roottorille saadaan yhtälöstä:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot w^3 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot c_p$$

Yhtälössä ρ on ilman tiheys kg/m^3 , joka on 0°C :ssa noin $1,3 \text{ kg/m}^3$, w tarkoittaa ilman virtausnopeutta m/s , R on roottorin säde metreinä ja c_p on roottorin tehokerroin. Yhtä-

löstä ratkaistu tehon tulos saadaan watteina. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 284.)

Tuulivoimalaitosten tuotantoja ei voi suoraan verrata toisiinsa, koska ne ovat erikoisia. Yleensä tuotantolukuja verrataan kahden eri tunnusluvun avulla. Ensimmäinen on tuotannon suhteuttaminen nimellistehoon (huipunkäyttöaika kWh/kW eli h) ja toinen on roottorin pyörähdyspinta-ala (kWh/m²). Jos tuulivoimalaitoksen vuosituotanto ylittää 1000 kWh/m² tai huipunkäyttöaika on yli 2 400 h, voidaan todeta laitoksen tuottaneen hyvin. Jos vuosituotanto jää kyseisten tunnuslukujen alapuolelle, se johtuu huonoista tuulisuusolosuhteista, suuresta häiriötuntimäärästä tai teknisistä vioista. Huonot tuuliolosuhteet usein johtuvat tuulivoimalaitoksen huonosta sijoituspaikasta tai keskimääräistä heikkotuulisemmasta vuodesta. Tuulivoimalaitokset, joissa on suuri roottori suhteessa generaattoriin (heikkojen tuulien laitos), antaa suuren huipunkäyttöajan mutta pienen tuotannon pyörähdyspinta-alaa kohden. Suuren generaattorin suhteessa roottoriin omaavat tuulivoimalaitokset (erittäin tuulisille paikoille suunniteltu tuulivoimalaitos) antaa päinvastaiset tunnusluvut.

Tuotanto roottorin pyyhkäisyypinta-alaa kohti e (kWh/m²) saadaan yhtälöstä:

$$e = \text{Tuotanto} / \pi \cdot (D / 2)^2$$

Yhtälössä tuotanto ilmoitetaan kilowattitunteina (kWh) ja D tarkoittaa roottorin halkaisijaa metreinä.

Huipunkäyttöaika t_h (h) lasketaan yhtälöstä:

$$t_h = \text{Tuotanto} / \text{Nimellisteho}$$

Yhtälössä tuotanto ilmoitetaan kilowattitunteina (kWh) ja nimellisteho kilowatteina (kW). Yhtälöstä ratkaistu huipunkäyttöaika saadaan tunteina. (Stenberg, Holttinen 2011.)

4 TUULIVOIMAN KÄYTTÖ

Tuulivoima on kestävä energiaratkaisu, koska se on uusiutuvaa energiaa ja osa normaalia luonnon toimintaa. Uusiutuvat energiamuodot ovat vielä kalliita verrattuna fos-

siilisiin polttoaineisiin, mutta tulevaisuudessa ne nousevat merkittävään asemaan ilmastomuutoksen ja resurssien ehtymisen vuoksi. Tällä hetkellä tuulivoiman käyttö kasvaa noin 30 prosentin vuosivauhdilla. (Energiatuotanto 2010.)

Uusiutuvana luonnonvarana tuulivoima on yksi ekologisimpia tapoja tuottaa energiaa. Tuulivoiman käytöllä voidaan hidastaa ilmastomuutosta, jos sillä korvataan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Tuulivoimalan asentamisen jälkeen tuulivoima on päästötöntä, luotettavaa, vaivatonta ja se on ilmaista, jos ei oteta huomioon huoltotoimenpiteitä. Alkuinvestoinnin jälkeen tuulivoimalalla ei ole käyttökustannuksia. (Tuulivoima 2012.)

4.1 Vaikutukset

Tuulivoimaloiden rakentamisen vaikutusten arviointi tapahtuu kaavoituksen ja lupamenettelyjen yhteydessä. YVA-lain mukaisessa menettelyssä arvioidaan merkittävien tuulivoimahankkeiden ympäristövaikutukset. Kansalaisten ja muiden osallisten näkemykset otetaan myös huomioon vaikutusten arvioinnissa. Arvioinnin laajuuteen ja yksityiskohtaisuuteen vaikuttavat alueen ympäristöarvot, muu alueiden käyttö, kyseessä oleva kaavataso ja rakentamisen mitoitus. Tuulivoimalan rakentaminen edellyttää luonnonsuojelulain mukaista Natura-arviointia, jos hankkeen uskotaan heikentävän merkittävästi Natura-alueen perusteena olevia luonnonarvoja. (Tuulivoimarakentaminen 2005.)

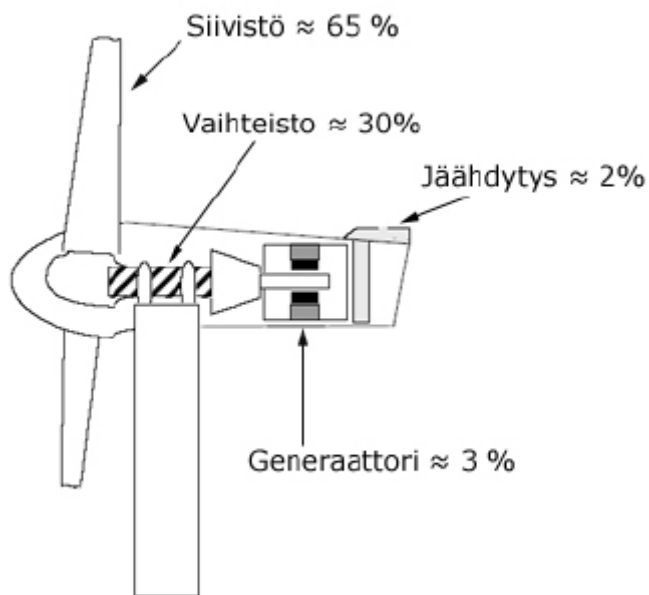
4.1.1 Ympäristövaikutukset

Tuulivoima ei käytä polttoainetta, joten sen tuottamasta energiasta ei synny päästöjä ilmaan, veteen tai maahan. Hiilidioksidipäästöt tuulivoimassa ovat noin 10 g/kWh ja ne muodostuvat pääosin tuulivoiman rakentamisesta, kasaamisesta, kuljettamisesta ja huollosta. Ympäristön kannalta tuulivoiman positiivisia vaikutuksia ovat energiantuotannon hiilidioksidi- ja hiukkaspäästöjen väheneminen. Näiden päästöjen väheneminen riippuu siitä, mitä sähköntuotantomuotoa tuulivoimalla korvataan. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Ympäristövaikutuksista merkittävin on tuulivoiman vaikutus maisemaan, koska suuret tuulivoimalat erottuvat maisemassa hyvin. Tuulivoimaloiden aiheuttamia maisema-vaikutuksia pystytään vähentämään sijoittamalla niitä merelle, mahdollisimman syr-

jäiseen paikkaan tai paikkaan, jossa on saman kokoluokan rakennuksia, kuten voimalaitoksia tai tehdasrakennuksia. Tuulivoimalaitoksissa usein käytetään mattapintaisia pintamateriaaleja, koska kiiltäväpintaist erottuvat maisemasta paremmin. (Tuulivoima.)

Tuulivoimaloista syntyy melua mekaanisten osien liikkeestä sekä lapojen aerodynaamisesta äänestä (kuva 19). (Tuulivoima.) Koneistoääni nykyajan tuulivoimalaitoksissa on vähäistä, kun taas aerodynaamisen äänen voimakkuus vaihtelee tuulen nopeuden, roottorin koon, pyörimisnopeuden ja lavan (etenkin kärjen ja jättöreunan) muotoilun perusteella. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)



Kuva 19: Vaihteistolla varustettu tuulivoimalaitos sekä äänentuoton kannalta keskeiset osat ja niiden keskimääräinen osuus äänitehotasosta. (Di Napoli 2007,11.)

Äänen voimakkuuden laskennalliset lähtötasot vaihtelevat 1-2 MW:n laitoksilla yleensä välillä 99-105 dB(A) ja tuulivoimalaitoksen juurella vallitseva äänen voimakkuus on noin 60 dB. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.) Tästä syystä tuulivoimala tulee sijoittaa tarpeeksi etäälle lähimmästä asuinrakennuksesta. (Tuulivoima.) Sijoittelua varten voi arvioida tarvittavaa etäisyyttä alla olevan taulukon avulla (kuva 20). (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Äänen lähtötaso dB(A)	Etäisyys laitoksesta, m										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
97	57	53	48	44	42	40	38	36	35	34	33
98	58	54	49	45	43	41	39	37	36	35	34
99	59	55	50	46	44	42	40	38	37	36	35
100	60	56	51	47	45	43	41	39	38	37	36
101	61	57	52	48	46	44	42	40	39	38	37
102	62	58	53	49	47	45	43	41	40	39	38
103	63	59	54	50	48	46	44	42	41	40	39

Kuva 20: Tuulivoimalaitoksen aiheuttaman äänen vaimeneminen maan pintatasolla etäisyyden funktiona (äänen lähtötaso konehuoneen korkeudella). (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Ympäristöministeriön melutason ohjearvot (VN 993/1992) ovat loma-asutus- ja virkistysalueilla: 45 dB(A) päiväsaikaan ja 40 dB(A) yöaikaan. Taajamissa asutusalueilla vastaavat ohjearvot ovat 55 dB(A) päiväsaikaan ja 45-50 dB(A) yöaikaan. (Yleiset melutason ohjearvot ; Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Tuulivoimalaitoksen käyttäminen ei vaikuta sen ympärillä olevaan kasvillisuuteen, mutta eläimistöön sillä on vaikutuksia. Suurin vaikutus tuulivoimalan käytön aikana kohdistuu linnustoon. Käyntiääni ja lapojen liikkeet häiritsevät lintujen ravinnon etsintää ja pesintää. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.) Lintujen törmäysvaara tuulivoimalaan on yleisesti ottaen pieni. Tutkimuksissa on todettu yksittäiseen voimalaan törmäävän alle yhden lintuyksikön vuodessa. (Tuulivoimaloiden rakentamisen ja käytön vaikutuksista lintuihin Suomessa.)

4.1.2 Sähköverkkovaikutukset

Sähköverkkoon kuuluvat tuottajat ja kuluttajat vaikuttavat omalla tavallaan sähkön laatuun. Sähkö on laadukasta, jos se on katkotonta, amplitudiltaan ja taajuudeltaan tasaista, sinimuotoista sähköä, jonka jännitetaso on sopiva. Yleisesti ottaen tuottajat nostavat jännitettä ja kuluttajat laskevat sitä. Verkon jännitteen vaihteluja syntyy tuulivoimalan vaihtelevasta tuotannosta. Jännitevaihteluiden syynä voi olla tuulen puuskaisuus, jolloin ne ovat suhteellisen hitaita. Tuulivoimalaitoksen käynnistäminen ja pysäyttäminen aiheuttaa jännitteessä lähinnä jännitetason muutoksia. Verkon ollessa

heikko voi jännitteestä mittausten avulla erottaa säännöllisesti toistuvia, nopeita vaihteluita. Ne syntyvät, koska tuulivoimalan lavat tuottavat enemmän yläasennossa kuin alhaalla ollessaan. Jännitevaihtelut ja –tasomuutokset ovat suurimmillaan tuulivoimalan läheisyydessä ja pienenevät kuljettaessa sähköasemaa kohti. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Yleisesti jakeluverkot siirtävät sähkön yksisuuntaisesti sähköasemalta kuluttajille. Jos verkkoon liitetään yksittäisiä tuulivoimaloita tai pieni tuulipuisto, täytyy huolehtia, että jännite pysyy kaikkialla sallituissa rajoissa ja että verkon suojaus toimii oikein. Tuulivoimala kytkeytyy automaattisesti irti verkosta ja lopettaa tuotantonsa, kun syntyy verkkovika. Tämä tapahtuu siksi, ettei se estäisi valokaarivian sammumista tai jäisi yksinään syöttämään eristettyä verkonosaa, mikä vaarantaisi verkon turvallista paluuta normaaliin tilaan. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Sähköä siirrettäessä sähköverkossa syntyy virran neliöön verrannollista tehohäviötä. Sähkönkuluttajien lähellä sijaitsevat tuulivoimalat pienentävät sähkön siirtotarvetta ja sitä kautta verkon tehohäviötä. Tästä syystä osa suomalaisista verkonhaltijoista joutuu maksamaan tuulivoimatuottajalle arkipäivisin tai jopa aina päivästä ja kellonajasta riippumatta. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

4.1.3 Työllisyysvaikutukset

Tuulivoima on teollisuudenala, joka kasvaa voimakkaasti maailmanlaajuisesti. Vuonna 2008 EU:n alueella tuulivoimateollisuus työllisti yhteensä 188 000 henkeä, joista suoraan 108 000 ja välillisesti 80 000 henkeä. Saksassa, Tanskassa ja Espanjassa on tuulivoima-alan työntekijöistä 74%. Vastaavasti Suomessa tuulivoima työllisti suoraan noin 3000 henkilöä. Suomessa tuulivoiman työllisyysvaikutukset muodostuvat tuulivoimakapasiteetin käyttö- ja kunnossapidosta sekä tuulivoimaloissa käytettävien komponenttien, materiaalien ja tuulivoimaloiden teollisesta valmistamisesta. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

Tuulivoimaloiden komponenttien sekä tuulivoimaloissa käytettävien materiaalien toimittajana suomalaisella teollisuudella on pitkä kokemus. Suomalaiset teollisuusyritykset ovat kauan toimineet maailman suurimpien tuulivoimalavalmistajien alihankkijoina. Erityisesti generaattoreita, vaihdelaatikoita, lapa- ja tornimateriaaleja toimittavien yritysten asema tuulivoimamarkkinoilla on vahva. Tuulivoimatoimialan liikevaihto oli

noin 1 miljardi € vuonna 2008, josta viennin osuus oli noin 90 %. Viennin määrää on mahdollista kasvattaa tuotekehittämisellä ja markkinoinnilla. Jos kasvavan kotimarkkinan avulla saavutetaan 7 %:n maailmanmarkkinaosuus, voi tuulivoimateollisuus työllistää Suomessa jopa 30 000 henkilöä vuonna 2020. (Tuulivoiman tietopaketti 2009.)

4.2 Kustannukset

Tuulivoiman jatkuva kehittäminen maailmassa laskee investointikustannuksia koko ajan. Tuulivoimalat ovat erityisen kannattavia alueilla, joilla keskituulen nopeus on tavallista suurempi. Suomessa ihanteellista aluetta tuulivoimalle on länsirannikko ja sinne sinne todennäköisesti rakennetaan suurin osa Suomen tuulivoimatehosta. (Vuorinen 2009, 21.)

Maalle rakennettavien tuulivoimalaitosten investointikustannukset ovat noin 1250 €/kW. Mikäli tuulivoimalan huippukäyttöaika on 2500 tuntia vuodessa, investointikustannuksiksi tulee maalla noin 500 €/MWh/a. Merivoimalaitoksissa vastaavat kustannukset ovat noin 1800 €/kW. Käyttöaika kuitenkin on 3000 h/a, jolloin vuosikustannukset ovat noin 600 €/MWh/a. (Vuorinen 2009, 21.)

Tuulivoiman omakustannushinta on samaa luokkaa uusien ydinvoimalaitosten kanssa, joten voidaan ajatella sen olevan kannattava investointi Suomenkin oloissa. Tuulivoimalan rakentamiseen voi saada lisäksi merkittävän investointituen. Tuulivoima vaatii runsaasti varatehoa ja säätövoimaa, joten se ei kuitenkaan riitä ainoaksi energialähteeksi. Varavoimalana voi toimia esimerkiksi vesivoimala tai dieselvoimala, joka tuottaa sähköä silloin, kun tuulivoimala seisoo. Varavoiman tarve on noin 20-30 % tuulivoiman maksimitehosta. Säätö- ja varavoiman rakentaminen lisää tuulivoiman kustannuksia noin 2-3 €/MWh. (Vuorinen 2009, 22-23.)

5 MATERIAALIVIRTA

Materiaalivirtaa käsitellään Winwindin henkilökunnan antamien tietojen perusteella. Niiden avulla ollaan luotu esimerkki konepedin valun kuljettamisesta Haminan tehtaalte. Toinen esimerkki on Aseri-tuulipuiston materiaalivirrasta ja projektin aikaisista ongelmista. Näiden lisäksi on selvitetty kuljetettavien osien tekniset tiedot.

5.1 Konepedin valun kuljetus

Konepeti toimii komponenttien ja laitteiden kiinnitysalustana. Sen tehtävänä on myös suojata komponentteja sään vaikutuksilta. Konepedin koko riippuu sen sisään asennettävien komponenttien koosta. Tuulivoimalan kokoa kasvatettaessa konepeti ei ole rajoittava komponentti, koska sen kasvattaminen ei ole vaikeaa. (Kehittynyt tuulivoimateknologia 2003.)



Kuva 21: Koneistettu ja maalattu konepeti. (Suomen tuulivoiman tuotanto kymmenkertaistuu 2010)

Konepedin valu on ylileveä ja ylikorkea raakavalu (OWH). Valun tekniset mitat ovat seuraavat:

- Pituus: 3,80 metriä
- Korkeus/leveys: 3,35 metriä
- Paino: 16 480 kg

Valun kuljetusalustana toimii 20” Fltrack-kontti, jonka tekniset tiedot ovat kuvassa 22.

20" Flatrack Container (L 20' x W 8' x H 9,6')	
Interior Dimension	L 5,940m x
	W 2,345m x H 2,346m
Tare Weight	5.200 lbs – 2.360 kg
Pay Load	66.750 lbs – 30.140 kg



Kuva 22: Flatrack-kontti. (KECE Group)

Konepedin valu valmistetaan ja lastataan valimolla, jonka jälkeen se kuljetetaan Shanghain satamaan. Valimon lähettämät laskut ja dokumentit toimitetaan huolitsijalle, joka hoitaa tullauksen. Satamasta valu lastataan 10.6.2010 laivaan (HYUNDAI Faith), jolloin saadaan kontin seurantakoodi. Sen avulla voi seurata valua ja jäljittää sen reaaliaikaisen sijainnin. Kuvassa 23 on laiva, jossa kontteja kuljetetaan.



Kuva 23: HYUNDAI Faith. (Shipspotting 2012)

Laiva on perillä Rotterdamin satamassa 6.7.2010, jonka jälkeen valu matkaa Kotkan satamaan ja on siellä perillä 20.7.2010. Kotkan satamassa kontti pilkutetaan, jolloin se vapautuu lastaukseen. Valu lastataan autoon ja paikallinen kuljetusyritys toimittaa valun Savonlinnaan 23.7.2010. Konepedin valun kuljettaminen ei ole erikoiskuljetus, joten saattoautoja ei tarvita ollenkaan. Valun painon takia traileriin mahtuu vain yksi va-

lu kerrallaan. Savonlinnassa toimivat yritykset maalaavat ja koneistavat valun. Tämän jälkeen se siirretään kuljetusyrityksen toimesta Haminan tehtaalle. Lastauksen, kuljetuksen ja purkaamisen yhteydessä on huolehdittava valun peittämisestä ja kiinnityksistä, ettei se pääse vahingoittumaan.

5.2 Aseri-tuulipuiston materiaalivirta

WinWinD Oy pystytti vuonna 2011 Viroon tuulipuiston, joka on nimeltään Aseri. Kaikki Aseriin kuljetettavat tuulivoimalaitoksen osat vaativat erikoistrailerin kuljetusta varten. Erikoistrailereiden lisäksi tarvitaan myös saattoautot, jotta saadaan osat kuljetettua perille asti. Haminan tehtaalta lähteviä nacelleja ja napoja voidaan kuljettaa yhden kerrallaan, koska ne ovat ylikorkeita kuljetuksia.

Kuljetettavien osien tekniset tiedot ovat seuraavat:

Nacelli

- Paino kuljetusalustan kanssa: 130 000 kg

Napa

- Paino: 30 000 kg

Siipi (3 siipeä/setti)

- Paino: 13 170 kg
- Pituus: 50,863 m
- Leveys: 3,636 m
- Korkeus kuljetusalustan kanssa: 2,743 m

Perustukset

- Paino: 9 620 kg

- Pituus/leveys: \varnothing 4,2 m
- Korkeus: 1,2 m

Torni osa 1 (kuljetustuen kanssa / ilman kuljetustukea)

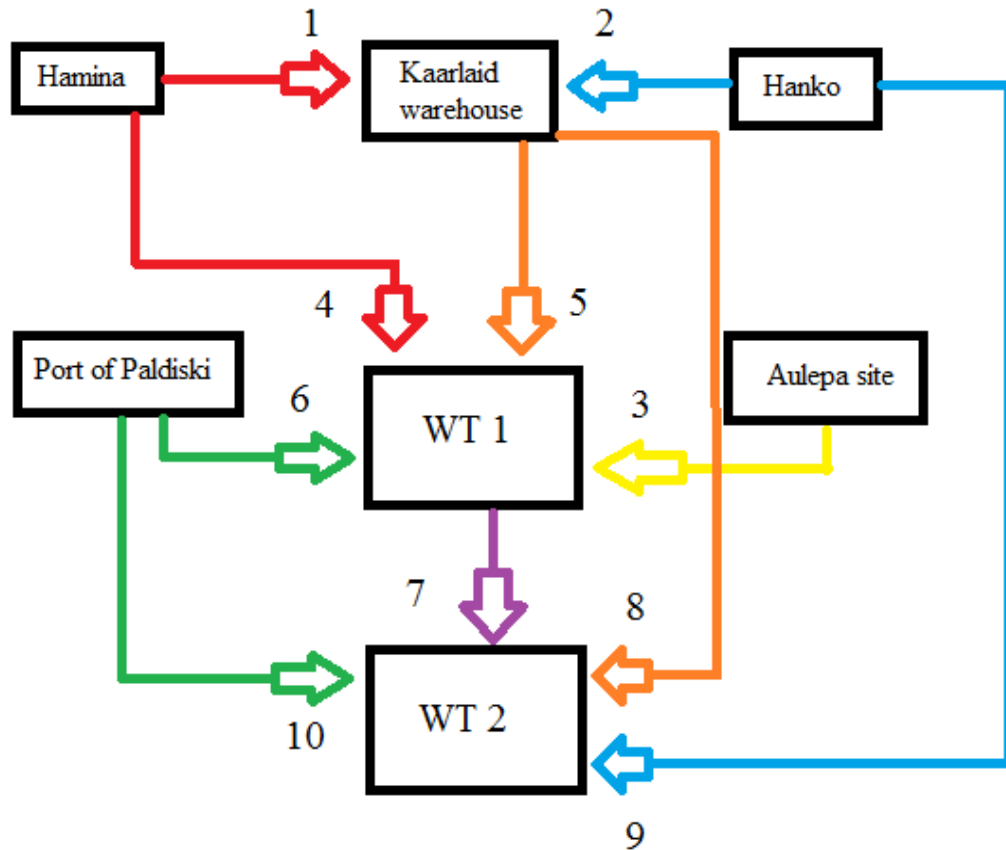
- Paino: 50 000 kg / 45 359 kg
- Pituus: 20,16 m / 19,515 m
- Leveys/korkeus: \varnothing 4,2 m / \varnothing 3,725 m

Torni osa 2 (kuljetustuen kanssa / ilman kuljetustukea)

- Paino: 49 000 kg / 44 370 kg
- Pituus: 28,987 m / 28,342 m
- Leveys/korkeus: \varnothing 3,725 m / \varnothing 3,040 m

Kaavio

Aserin tuulipuistoon pystytettiin yhteensä 8 tuulivoimalaa. Kuvassa 24 esitetään materiaalivirtoja kahdelle ensimmäiselle tuulivoimalalle.



Kuva 24: Materiaalivirta

Kohdassa yksi (1) Haminan tehtaalta lähetetään 3 kappaletta nacelleja ja 3 kappaletta napoja Kaarlaidin varastoon. Kuljettajana kaikissa toimituksissa on Havator. Ensimmäinen nacelli (HA14) lastataan 4.4. ja on perillä 6.4. Seuraava nacelli (HA17) lastataan 7.4. ja on perillä 9.4. Viimeinen nacelli (HA12) lastataan 14.4. ja puretaan Kaarlaidin varastoon 16.4. Kaikki kolme napaa (3HH0029, 3HH0031, 3HH0030) lastataan 4.4. ja on perillä 6.4.

Kohdassa kaksi (2) Hangosta lähetetään Ensimmäisen tuulivoimalaitoksen tornin osat Kaarlaidin varastoon. Levator lastaa tornin osat ja Havator kuljettaa ne. Molemmat tornin osat lähetetään 4.4. ja saapuvat perille 6.4.

Kohdassa kolme (3) Aulepasta lähetetään työmaakontit ja nacellin nostorauta ensimmäiselle tuulivoimalaitoksen (WT 1) alueelle. Lastaajana ja kuljettajana toimii Havator kaikissa kuljetuksissa. Kontit lastataan 5.4. ja ovat perillä samana päivänä eli 5.4. Nacellin nostorauta lastataan 5.4. ja ovat perillä ensimmäisellä tuulivoimalaitoksella 28.4.

Kohdassa neljä (4) Haminasta lähetetään roottorin kasausalusta ja siihen jalat sekä nacelli (HA16) ensimmäiselle tuulivoimalaitokselle (WT1). Kasausalustan lastaa Sterm ja kuljettajana toimii Havator. Nacellin lastaa ja kuljettaa Havator. Kasausalusta lastataan 4.4. ja puretaan 28.4., ja nacelli lastataan 20.4. ja se saapuu perille 28.4.

Kohdassa viisi (5) Kaarlaidin varastolta lähetetään tornin osat ja napa (3HH0029) ensimmäiselle tuulivoimalaitokselle (WT1). Havator lastaa ja kuljettaa kaikki osat, jotka lastataan 27.4. ja ovat perillä 28.4.

Kohdassa kuusi (6) Paldiskin satamasta lähetetään 3 siipeä (SET 016) ensimmäiselle tuulivoimalaitokselle (WT1). Lastaajana ja kuljettajana toimii Wasa logistics. Lastuspäivämäärä on 28.4. ja ne ovat perillä 29.4.

Kohdassa seitsemän (7) ensimmäiseltä tuulivoimalaitokselta (WT1) lähetetään työmaakontit, kasausalusta ja nacellin nostorauta toiselle tuulivoimalaitokselle (WT2). Kuljettajana toimii Havator ja tavarat lähetetään välittömästi, kun niitä ei enää tarvita ensimmäisellä tuulivoimalaitoksella (WT1).

Kohdassa kahdeksan (8) Kaarlaidin varastolta lähetetään nacelli (HA14) ja napa (3HH0031) toiselle tuulivoimalaitokselle (WT2). Molemmissa kuljetuksissa toimii Havator lastaajana ja kuljettajana. Napa lastataan 27.4. ja puretaan 28.4. Nacelli puolestaan lastataan 29.4. ja on perillä seuraavana päivänä 30.4.

Kohdassa yhdeksän (9) Hangosta lähetetään tornin osat toiselle tuulivoimalaitokselle (WT2). Levator lastaa osat ja Havator hoitaa kuljetuksen. Molemmat osat lastataan 2.5. ja ovat perillä 4.5.

Kohdassa kymmenen (10) Paldiskin satamasta lähetetään 3 siipeä (SET 017) toiselle tuulivoimalaitokselle (WT2). Kuljettajana ja lastaajana toimii Wasa logistics. Siivet lastataan 4.5. ja kuljetus puretaan 5.5.

Paluurahti

Aserin tuulipuiston valmistuttua alueelle jää tarvikkeita, jotka kuljetetaan takaisin Suomeen. Haminaan saapuvia lähetyksiä ovat 3 kappaletta kontteja ja nacellin nostorauta. Havator lastaa ja kuljettaa Haminaan saapuvan tavarahan.

Loviisaan Havator puolestaan kuljettaa nacellin ja napojen kuljetustuet. Roottorin ka-sausalusta kulkee Havatorin toimesta Ajokseen ja Hansateenus lastaa ja kuljettaa nostotarvikekontin (TCIU 282763-0) Ajokseen.

Projektin aikaiset ongelmat

- WT 3:ssa kuljetusten purkaminen viivästyi päivällä, koska nosturin kanssa oli ongelmia.
- WT 8:ssa kuljetusten purkaminen viivästyi 4-5 päivällä, tuulisten päivien takia.
- WT 4:ssä nacelli kuljetettiin alueelle päivää aikaisemmin, koska Havator ei saanut elektronista jarrua aikataulun mukaisesti.
- WT 6:ssa nacellin purkaminen viivästyi kahdella päivällä, koska Havator ei saanut paikkaa aluksesta.

6 YHTEENVETO

Maailmalla tarvitaan puhdasta ja luotettavaa energiantuotantomuotoa. Tästä syystä tuulivoima on maailmanlaajuisesti houkutteleva sijoituskohte ja uusia tuulivoimahankkeita tulee jatkuvasti lisää. Nykyinen maailmanlaajuinen tuulivoimatuotanto ylittää noin 240 000 MW:iin asti. WWEA:n arvioiden mukaan vuoden 2020 loppuun mennessä tuulivoiman asennettu kapasiteetti olisi 1500 000 MW, joka vastaa 12 % maailman sähköntarpeesta.

Tuulivoiman jatkuva kehittäminen maailmassa laskee investointikustannuksia koko ajan. Maalle rakennettavien tuulivoimalaitosten investointikustannukset ovat noin 1250 €/kW. Mikäli tuulivoimalan huippukäyttöaika on 2500 tuntia vuodessa, investointikustannuksiksi tulee maalla noin 500 €/MWh/a. Tuulivoiman omakustannushinta on samaa luokkaa uusien ydinvoimalaitosten kanssa, joten voidaan ajatella sen olevan kannattava investointi Suomenkin oloissa. Tuulivoimalaitoksen rakentamiseen voi saada lisäksi merkittävän investointituen.

Suomi on metsäinen maa, jossa on vähän tasaisia, laajoja ja avoimia laidun- ja pelto-maita. Tuulivoiman tuottaminen on taloudellisesti kannattavaa meren rantaviivan vä-

littömässä läheisyydessä sekä korkealle kohoavien tuntureiden ja vaarojen huipuilla. Vuonna 2011 Suomessa tuotettiin tuulivoimalla 483 GWh sähköä. Tämä on noin 186 GWh enemmän kuin vuonna 2010.

Suuren koon ja painon vuoksi tuulivoimalaitokselle toimitettavat osat vaativat erikostrailerin kuljettamista varten. Erikostrailerit puolestaan tarvitsevat saattoautot, jotta osien kuljettaminen tapahtuu ilman ongelmia. Jokainen tuulivoimalan osa vaatii oman erikostrailerin kuljettamista varten.

Tuulipuiston rakentamisen aikataulu suunnitellaan jo useita kuukausia ennen projektin alkua. Projektin aikana esiintyy useasti ongelmia ja ne vaikuttavat projektin aikatauluun. Usein kuljetusten purkaminen viivästyy useilla päivillä ja se vaikuttaa koko tuulipuiston pystyttämisen aikatauluun. Purkamisen viivästyminen aiheuttaa ylimääräistä työtä ja lisää kustannuksia.

LÄHTEET

ABB Oy 2012. Tuuliturbiinigeneraattorit. Saatavissa:

<http://www.abb.fi/product/fi/9AAC100348.aspx?country=FI>. [Luettu: 1.5.2012.]

Ahlström Oyj 2012. Surface tissue for wind turbine blades. Saatavissa:

<http://www.ahlstrom.com/en/products/enduseApplication/buildingAndUtilities/Windturbinebladesandenginecovers/Pages/Surfacetissueforwindturbineblades.aspx>. [Luettu: 1.5.2012.]

Alkio, J. 2011. Tuulivoimayhtiöt menettivät potin. Talouselämä 40/2011.

Cypress Wind Turbines Oy 2010. New Cypress installation at Tampere University of Applied Sciences (TAMK). Saatavissa:

<http://www.cypresswind.com/uutiset.php?aid=12262&k=12214>. [Luettu: 2.5.2012.]

Di Napoli, C. Huhtikuu 2007. Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen. Ympäristöministeriö. www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=64260&lan=fi>. [Luettu: 21.4.2012.]

Energiantuotanto. Uusiutuva energia. 2010. Energiantuotanto.info. www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.energiantuotanto.info/uusiutuva-energia>. [Luettu: 19.4.2012.]

Hellgren, M., Heikkinen, L., Suomalainen, L. & Kala, J.1999. Energia ja ympäristö. Helsinki: Opetushallitus.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S.2008. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

Innopower Oy 2011. Tuulivoimalat. Saatavissa: <http://www.innopower.fi/tuulivoimalat>. [Luettu: 1.5.2012.]

KECE Group. Contsize. www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.kecegroup.com/kti/contsize.html>. [Luettu: 8.5.2012.]

Kehittynyt tuulivoimateknologia. 2003. Helsinki University of Technology Publications in Engineering Physics. Espoo. www-dokumentti. Saatavissa: http://tfy.tkk.fi/aes/AES/courses/crspages/Tfy-56.173_02/Tfy-56.173_02.pdf [Luettu: 8.5.2012.]

Lehto, H. & Luoma, T. 1998. Energia yhteiskunnassa. Helsinki: Kirjayhtymä Oy.

Mervento Oy 2012. MERVENTO 3.6-118. Saatavissa: <http://www.mervento.com/In%20English/PRODUCT/MERVENTO%203.6-118/Default.aspx>. [Luettu: 1.5.2012.]

Moventas Oy 2010. This is Moventas. Saatavissa: <http://www.moventas.com/this-is-moventas>. [Luettu: 1.5.2012.]

Shipspotting. 2012. Photos. www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1034776>. [Luettu: 8.5.2012.]

Stenberg, A. & Holttinen, H. 2011. Tuulivoiman tuotantotilastot 2010. VTT. www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W178.pdf>. [Luettu: 5.4.2012.]

Suomen tuuliatlas. Marraskuu 2009. www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>. [Luettu: 10.3.2012.]

Suomen tuulivoiman tuotanto kymmenkertaistuu. 24.3.2010. Helsingin Sanomat.

www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.hs.fi/talous/artikkeli/Suomen+tuulivoiman+tuotanto+kymmenkertaistuu/1135254932326>. [Luettu: 8.5.2012.]

Tekniikka tutuksi. 3.11.2011. Suomen tuulienergia – Finnish wind technology Oy.

Saatavissa: <http://www.suomentuulienergia.fi/>. [Luettu: 18.4.2012.]

Teknologisteollisuus ry. Tuulivoima-tiekartta 2009. www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.teknologisteollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/tuulivoima-tiekartta-2009.html>. [Luettu: 1.5.2012.]

Tervola, J. 19.12.2011. ABB:ltä kestromagneettigeneraattori merituulivoimaloihin.

Tekniikka & talous. Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/abblta+kestromagneettigeneraattori+merituulivoimaloihin/a742468>. [Luettu: 3.5.2012.]

The Switch Oy 2012. Permanent magnet generators. Saatavissa:

<http://www.theswitch.com/products/wind-power-2/tailored-generators/>. [Luettu: 1.5.2012.]

Tuulivoima. 13.4.2012. Tuulivoimala.com Finland Oy. www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.tuulivoimala.com/Tuulivoima.asp>. [Luettu: 1.5.2012.]

Tuulivoima. Energiateollisuus ry. www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/tuulivoima>. [Luettu: 19.4.2012.]

Tuulivoimaloiden rakentamisen ja käytön vaikutuksista lintuihin Suomessa. BirdLife

Suomi ry. www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.birdlife.fi/suojelu/paikat/tuulivoima.shtml>. [Luettu: 22.4.2012.]

Tuulivoiman projektiopas. 1999. Motivan julkaisu 5/1999. Helsinki. www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/228/tuulivoimanprojektiopas.pdf>. [Luettu: 1.5.2012.]

Tuulivoiman tietopaketti. Joulukuu 2009. Motiva Oy. www-dokumentti. Saatavissa: http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoima_tietopaketti. [Luettu: 1.3.2012.]

Tuulivoimarakentaminen. Elokuu 2005. Ympäristöministeriö. www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=42234&lan=FI>. [Luettu: 16.4.2012.]

Tuulivoimateknologia. 2.4.2009. Motiva Oy:n kotisivut. www-dokumentti. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimateknologia. [Luettu: 1.3.2012.]

Vuorinen, A. 2009. Energiankäyttäjän käsikirja. Espoo: Ekoenergo Oy.

WinWinD Oy 2012. Saatavissa: <http://www.winwind.com/fi/>. [Luettu: 1.5.2012.]

WinWinD 3 – Yksinkertaisesti tuottava. www-dokumentti. Saatavissa: http://www.winwind.com/Documents/Fact%20sheets/WinWinD3_Fact_sheet_FIN.pdf. [Luettu: 7.2.2012.]

World Wind Energy Association. 2011. World Wind Energy Report 2010. www-dokumentti. Saatavissa: http://wwindea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010_s.pdf. [Luettu: 5.4.2012.]

Yleiset melutason ohjeavot. Ympäristöministeriö. www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=587&lan=fi#a0>. [Luettu: 21.4.2012.]