

**VAASAN YLIOPISTO  
TEKNILLINEN TIEDEKUNTA  
TUOTANTOTALOUS**

Norja Lauri Mikko Johannes

**TUULIVOIMARAKENTAMISEN LOGISTIIKKA**

Tuotantotalouden  
Pro Gradu tutkielma

**VAASA 2013**



<b>SISÄLLYSLUETTELO</b>	<b>Sivu</b>
1 JOHDANTO	6
2 KIRJALLISUUS	8
2.1 Tuulivoima	8
2.2 Tuulienergian synty	9
2.3 Tuulisuuden kartoitus	11
2.3.1 Tuuliatlas	11
2.2 Tuulivoimaloiden ympäristövaikutukset	15
2.2.1 Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset	16
2.2.2 Suorat linnustovaikutukset	16
2.2.3 Epäsuorat linnustovaikutukset	17
2.3 Tuulivoimalan talousvaikutukset	17
2.3.1 Tuulienergian hinta	18
2.3.2 Tuulivoimarakentamisen työllisyysvaikutukset	19
3 MENETELMÄ	21
4 TULOKSET	22
4.1 Tuulivoimarakentaminen Suomessa	22
4.2 Tuulivoimarakentamisen suunnittelu	24
4.2.1 Kaava- ja lupajärjestelmä	24
4.2.2 Alueiden käytön suunnittelujärjestelmä	25
4.2.3 Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet	26
4.2.4 Maakuntakaavan merkitys tuulivoimarakentamiselle	27
4.2.5 Yleiskaavan merkitys tuulivoimarakentamiselle	28
4.2.6 Asemakaavan merkitys tuulivoimarakentamisessa	30
4.2.7 Suunnittelutarvealue ja suunnittelutarveratkaisu	30
4.2.8 Rakennuslupa	32
4.2.9 YVA-menettely	32
4.2.10 Lentoesterajoitukset	33
4.3 Tuulivoimalan rakenne	35
4.3.1 Tuulivoimalan perustukset	35
4.3.1.1 Eri perustustyypit	36

4.3.1.2 Maavarainen teräsbetoniperustus	36
4.3.1.3 Teräsbetoniperustus ja massanvaihto	37
4.3.1.4 Teräsbetoniperustus paalujen varassa	38
4.3.1.5 Kallioankkuroitu teräsbetoniperustus	39
4.3.2 Tuulivoimalan torni	40
4.3.2.1 Teräsrakenteinen putkitorni (Tubular tower)	41
4.3.2.2 Betonirakenteinen torni	42
4.3.2.3 Hybridirakenteinen putkitorni	43
4.3.2.4 Ristikkotorni	44
4.3.3 Konehuone	45
4.3.4 Roottori	46
4.4 Sähköverkon vaatimukset ja rakenne	47
4.5 Muut rakennukset	48
4.6 Tuulivoimalan rakentamisen logistiikka	48
4.6.1 Kuljetukset	48
4.6.2 Pystyttäminen	50
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	52
LÄHTEET	54

---

**VAASAN YLIOPISTO****Teknillinen tiedekunta**

<b>Tekijä:</b>	Lauri Norja	
<b>Tutkielman nimi:</b>	Tuulivoimarakentamisen logistiikka	
<b>Ohjaajan nimi:</b>	Petri Helo	
<b>Tutkinto:</b>	Kauppätieteiden maisteri	
<b>Oppiaine:</b>	Tuotantotalous	
<b>Opintojen aloitusvuosi:</b>	2006	
<b>Tutkielman valmistumisvuosi:</b>	2013	<b>Sivumäärä:</b> 61

---

**TIIVISTELMÄ:**

Energiantuotannossa on käynnissä maailmanlaajuinen siirtymävaihe, jossa tavoitteena on siirtyä käyttämään yhä enemmän energianlähteitä, joiden vaikutukset ilmastonmuutokseen ovat nykyisin käytettäviä fossiilisia polttoaineita merkittävästi pienempiä. Euroopan unionin jäsenvaltioiden kesken sovitut päätökset sekä kansallisesti sovittu energiapoliittinen strategia ohjaavat tuulivoimalla tuotetun energian lisäämiseen Suomessa.

Tuulivoima nähdään Suomen olosuhteiden kannalta parhaana energiantuotantomuotona ilmasto- ja energiastrategian mukaisten tavoitteiden saavuttamiseksi määrääjassa. Lokakuun 2012 loppuun mennessä Suomessa oli käynnissä tuulivoiman rakennusprojekteja yhteensä 8900MW edestä. Tyypillinen kesto tuulivoiman rakennusprojektille on 5 – 7 vuotta. Suomessa tuulivoiman rakennusprojektiin kuluva ajasta merkittävä osa kuluu kaavoitus- ja lupaprosessiin, jonka pituus on moninkertainen suhteessa varsinaiseen perustamis- ja pystytysvaiheeseen. Kaavoitus- ja lupaprosessin pituuteen vaikuttavat erityisesti eri vaiheiden pitkät käsittely- ja valitusajat.

Tuulivoimaloiden ylläpitoon ja huoltoon tarvittavan henkilöstön määrä on merkittävästi pienempi verrattuna muihin energiantuotantomuotoihin. Tuulivoimaloiden rakennusprojektit työllistävät rakennusvaiheessa useita satoja henkilöitä monilta eri aloilta sekä suoraan rakennusprojektiin liittyen että epäsuorasti lisäämällä alueellisesti eri palveluiden tarvetta. Tuulivoimarakentamisen merkittävä kasvu lisää myös tarvetta ylläpitoon ja huoltoon tarvittavien henkilöiden koulutuksen järjestämiseen kyseiselle alalle.

---

**AVAINSANAT:**

Tuulivoima, tuulivoimarakentaminen, tuulivoimalogistiikka

## 1 JOHDANTO

Energiantuotannossa niin Suomessa, kuin muuallakin maailmassa eletään muutoksen aikaa. Maailmanlaajuisesti energiankulutus on kasvanut viimeisten vuosikymmenten aikana merkittävästi, ja yhteiskunta on tullut entistä riippuvaisemmaksi sekä energian saamisesta että energian tuotanto- ja jakelujärjestelmien luotettavuudesta. Kasvanut energiantuotanto taas on lisännyt ilmakehään pääseviä hiilidioksidipäästöjä. Päästöjen hillitsemiseksi energiantuotannon tehostaminen ja suuntaaminen kohti uudistuvia energianlähteitä ovat toimia, joilla tulevaisuuden energiantuotanto pyritään turvaamaan kestävän kehityksen periaatteita noudattaen. (Tomi Mäkipelto 2010:1)

Suomen energiapolitiikan peruslähtökohtina ovat energia, talous ja ympäristö. Tavoitteena on turvata energiansaanti, pitää energian hintataso kilpailukykyisenä sekä toteuttaa EU:ssa asetettujen energia- ja ympäristötavoitteiden vaatimukset. Keskeisenä toimintaperiaatteena on myös muiden kestävän kehityksen ja ympäristötavoitteiden integrointi energiatalouteen. Energiapolitiikka perustuu hallitusneuvotteluissa sovittuihin tavoitteisiin sekä erikseen laadittuihin asiakirjoihin, kuten esimerkiksi hallituksen energiapoliittiseen ohjelmaan. Noudatettavan energiapolitiikan linjoja määrittelevät lisäksi vuonna 2008 hyväksytyt kansallinen ilmasto- ja energiastrategia ja sitä täydentävät ohjelmat. Olennaista on myös Euroopan unionin merkityksen kasvu energianpolitiikan ohjauksessa. Joulukuussa 2008 Euroopan parlamentti ja neuvosto hyväksyivät päätöksen niin sanotusta ”20-20-20” paketista ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Kyseisen sopimuksen mukaan EU-jäsenvaltiot sitoutuvat vähentämään vuoteen 2020 mennessä kasvihuonekaasupäästöjään 20 %:lla, nostamaan uusiutuvien energian osuutta keskimäärin 20 %:lla kokonaiskulutuksesta ja parantamaan energiatehokkuutta 20 %:lla. (<http://www.tem.fi/index.phtml?s=2070> ; Tomi Mäkipelto 2010:1)

Tuulivoima on maailmanlaajuisesti yksi tärkeimmistä uusiutuvista energiantuotantomuodoista. Tuulivoimarakentaminen on monissa maissa

todettu parhaaksi mahdolliseksi tavaksi tuottaa energiaa ympäristöystävällisesti jatkuvasti kasvavan energiatarpeen tyydyttämiseksi. Euroopan unionin tavoite on kattaa tuulivoimalla 12 – 14 % EU:n vuotuisesta sähkönkulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Tämä tarkoittaa noin 180GW:n kokonaiskapasiteettia, joka taas vaatii 9 % vuosittaista lisäystä tuulivoimakapasiteettiin aina vuoteen 2020 saakka. Vuoden 2010 lopussa Euroopan tuulivoiman tuotantokapasiteetti oli noin 86,279 MW, josta EU-maiden osuus oli 84,278 MW. Suomessa sähköverkkoon kytkettyjen yli 70 kW tuulivoimalaitosten määrä oli vuoden 2010 lopussa 130 kappaletta ja niiden yhteenlaskettu teho oli 197MW. (EWEA 2011:3–4 ; VTT 2011: 10)

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, millainen on tuulivoimarakentamisen merkitys Suomessa, kuvata millainen on tuulivoiman rakentamisprosessi sekä kartoittaa tuulivoimapuiston rakentamiseen liittyvät logistiset vaiheet.

## 2 KIRJALLISUUS

### 2.1 Tuulivoima

Ihmiskunnan kasvava energiantarve sekä fossiilisten polttoaineiden varantojen pieneneminen ohjaavat väistämättä kohti aiempaa suurempaa uusiutuvien energiantuotantomenetelmien käyttöä. Perinteisten energianlähteiden kuten öljyn, kivihiilen ja maakaasun hyödynnettävissä olevan määrän rajallisuus tekevät niistä kestäättömän energialähteen energiatarpeen tyydyttämiseksi tulevaisuudessa. Lisäksi niiden käytöstä aiheutuu merkittävää haittaa ympäristölle johtuen niiden käytön aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä sekä muista saasteista.

Päästöttömän energian tuotannolla on kuitenkin omat rajoitteensa. Ydinvoimalla tapahtuvaan energiantuotantoon sisältyy omat riskinsä. Korkeiden energiatuotannon aloituskustannusten ohella ongelmaksi muodostuvat käytettävän uraanin saatavuus sekä käytetyn polttoaineen varastointi. Vesivoiman hyödyntämistä rajoittavat geopoliittinen vastustus sekä hyödynnettävien vesivarojen rajallisuus, vaikkakin vesivoima onkin valjastettavissa energiantuotantoon kohtuullisin kustannuksin. Kestävän kehityksen kannalta edullisten energiantuotantomuotojen valintaan vaikuttavat merkittävästi alueelliset tekijä. Luonnollisesti pyritään valitsemaan sellainen energiantuotantomuoto, jonka käyttöön alueella on hyvät edellytykset. Primäärienergianlähteistä erityisesti tuuli, auringon lämpösäteily sekä veden liikkeistä peräisin olevat alkuenergian muodot eivät ole jakautuneet maapallolla tasaisesti, vaan toisilla alueilla on kannattavampaa hyödyntää jotain uusiutuvan energianlähdeä ja toisilla alueilla taas jotain muuta. (Khaligh & Onar 2010:xiii)

Tuulivoimassa on kyse ilmakehän virtausten eli tuulen hyödyntämisestä energian tuottamiseksi. Tuulen liike-energiaa hyödynnetään nykyisin yleisimmin sähkön tuotannossa, jolloin tuuliturbiinien pyörivien lapojen avulla ilman virtausten liike-energia kyetään muuttamaan generaattorien avulla

sähköenergiaksi. Tuulesta saatavaa energiaa on aiemmin hyödynnetty muuntamalla tuulen liike-energia mekaaniseksi energiaksi, jonka avulla on käytetty yleisemmin myllyjä sekä pumppuja. Ensimmäinen tunnettu kirjallinen viittaus tuulimyllyihin on Persiasta vuodelta 644. Ennen höyrykoneen yleistymistä 1800-luvun puolivälissä tuulimyllyjä on käytetty viljan jauhatuksen lisäksi maatalouden vedennostoon ja kasteluun sekä pienteollisuuden voimanlähteenä. (Lindell, 2009: 329–331)

Tuulivoiman hyödyntäminen sähköntuotannossa yleistyi viime vuosisadan loppupuoliskolla, kun ihmisten tietoisuus energiareurssien rajallisuudesta kasvoi. Näin tapahtui erityisesti 1970-luvun öljykriisin aikana. Lisäksi tiedon lisääntyminen käytettyjen energiantuotantomuotojen vaikutuksesta maapallon ilmastoon ja sen lämpötilaan lisäsivät valtioiden mielenkiintoa uusiutuviin energiantuotanto mahdollisuuksiin. Tuulivoiman laajamittainen käyttö energiantuotannossa on lisännyt suosiotaan viimeisten vuosikymmenten aikana merkittävästi. Tuulivoiman ekologisuus ja primäärienergian eli tuulen vakaa saatavuus ovat lisänneet merkittävästi kiinnostusta tuulivoimaa kohtaan. (Suomen tuulivoimayhdistys [:http://www.tuulivoimatieto.fi/miksi\\_tuulivoimaa](http://www.tuulivoimatieto.fi/miksi_tuulivoimaa))

Tuulivoimaloiden koko ja rakenne vaihtelevat pienistä alle kilovatin mikroturbiineista aina useiden megavattien voimaloihin. Yleisimmin tuulivoimalat kuitenkin luokitellaan niiden sijainnin mukaan joko maalle perustettaviin (onshore) tai merelle ja suurille järville perustettaviin (offshore) voimaloihin. (Wizelius 2007:24–27)

## 2.2 Tuulienergian synty

Tuulet maapallolla syntyvät kun aurinko lämmittää maapalloa epätasaisesti. Maapallon napa-alueet saavat suhteessa päiväntasaajan seutuun huomattavasti vähemmän lämpösäteilyä ja napa-alueet luovuttavat pitkäaaltoista lämpösäteilyä avaruuteen, mikä johtaa siihen että napa-alueiden lämpötila muuttuu negatiiviseksi. Energiataseen tasapainotilan säilymiseksi syntyy virtauksia, jotka tasapainottavat energiatasetta. Näitä virtauksia ovat tuulet ja

merivirrat. Siirtyvästä kokonaislämpömäärästä merivirtojen osuus on noin 30 %:a. Ilmastollisesti merkittäviä ovat myös matala- ja korkeapaineet. Matalapaineet pyrkivät täyttymään jolloin ilma alkaa virrata kohti matalapaineen keskusta. Paikallisesti tuuliolosuhteisiin vaikuttavat geostrofisen tuulen ohella maan ja vesistöjen vaihtelut sekä maanpinnan korkeuserot. Näistä lokaaleista vaikutuksista tärkeimpiä ovat maa-merituuli, laaksotuuli ja katabinen tuuli. (Lehtonen & Vihriälä 2003:101–104)

Maa-merituuli syntyy kun aurinko lämmittää maan pintaa meren tai järven pintaa lämpimämmäksi. Lämpimämmän maan pinnalta kohoaa lämmin ilma termiikkivirtauksena ylös ja paine-eroa tasaamaan virtaa mereltä kylmää ilmaa alueelle, jolla lämmin ilma on kohonnut ylöspäin. Yön aikana tilanne kääntyy toisinpäin ja maalta virtaa viileämpää ilmaa kohti lämpimämpää merenpintaa. Tällöin maatuuli puhaltaa merelle. Maa-merituulen vaikutus saattaa tuntua 40 kilometrin päähän sisämaahan ja tuulenopeudet saattavat yleisesti ylittää yli 10 m/s nopeuksiin. (Lehtonen & Vihriälä 2003: 104–105)

Laakso- eli Föhn-tuuli on tuulen muoto, jossa tuuli kohtaa korkean vuoren ja joutuu nousemaan vuoren rinnettä ylöspäin. Tuulen noustessa vuoren rinnettä ylöspäin ilma kylmenee ja kuivuu. Vuoren toisella puolella ilma laskeutuu alaspäin ja lämpenee. Olosuhteista riippuen erityisesti pitkänomaisissa laaksoissa tuulen nopeus saattaa nousta huomattavaksi. Katabinen tuuli on auringonpaisteen ja lämpimien ilmamassojen ajama kylmä ilmavirtaus rinnettä alas. Katabista tuulta esiintyy lähinnä Grönlannissa ja Bora-tuulena Kroatian alueella ja tuulenopeus saattaa kasvaa ajoittain hyvinkin suureksi. (Lehtonen & Vihriälä 2003: 105)

## 2.3 Tuulisuuden kartoitus

Tuulivoiman energiantuotantokyky on suuresti riippuvainen paikallisista tuuliolosuhteista, joiden vaihtelu maantieteellisten alueiden välillä on merkittävää. Tuulivoiman tuotannon aloittamista pohdittaessa on alueellisten tuuliolosuhteiden selvittämiseksi suuri merkitys. Useimmiten tuulivoimalle edullisimmat alueet löytyvät suurien vesistöjen alavien maiden tai muuta maanpintaa korkeammalla sijaitsevien vuorien ja tuntureiden alueilta. Tuulivoimaperusteisen energiantuotannon kannalta tuulen tasaisuudella on suurta merkitystä. Tuulen epähomogeenisuuteen vaikuttavat erityisesti maaston rosoisuus, meri- ja rannikkoalueilla rantaviivan muoto sekä rannikoiden läheisyydessä sijaitsevat saaret. (Suomen tuuliatlas: Tuulisuus Suomessa)

### 2.3.1 Tuuliatlas

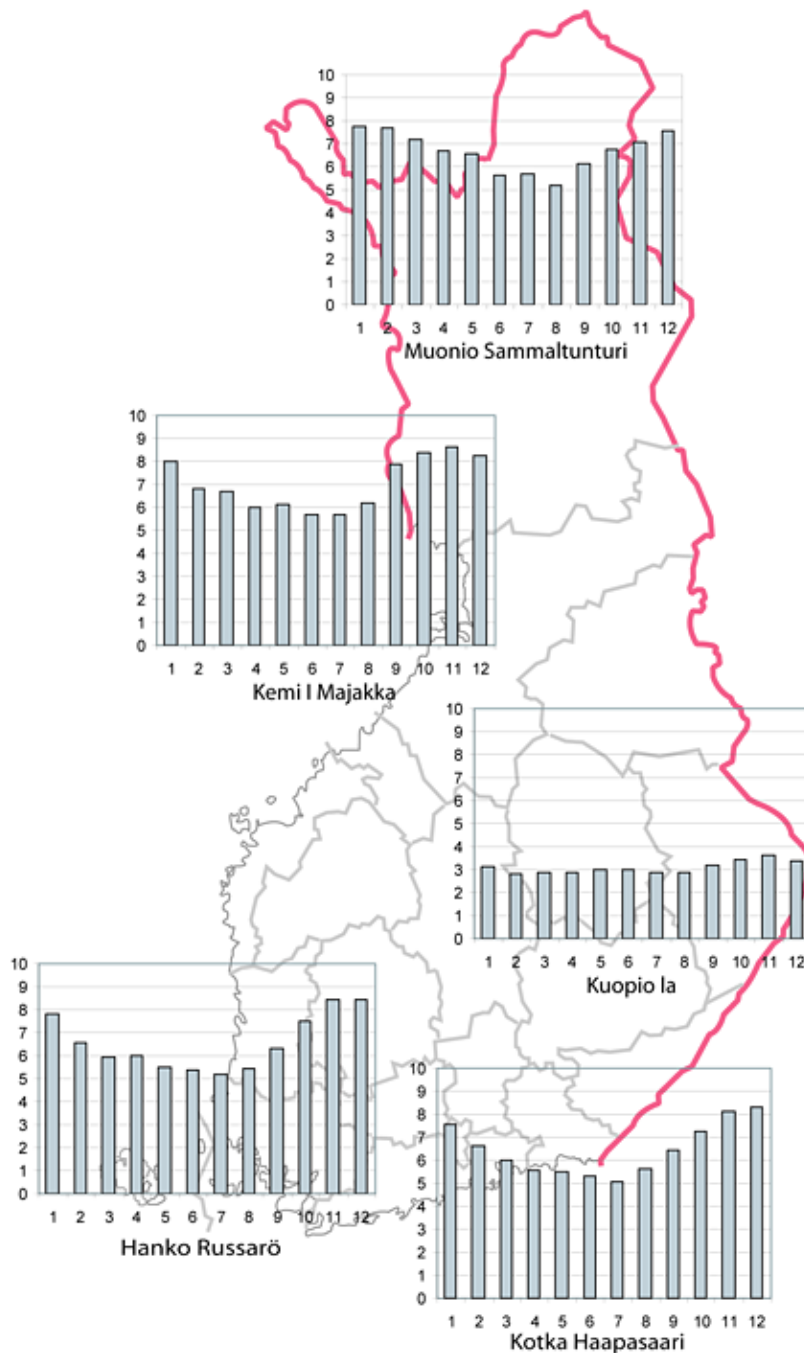
Tuulisuuden kartoittamiseksi Suomessa on luotu Suomen tuuliolosuhteita kuvaava tuuliatlas, jossa on kartoitettuna tuulisuudet Suomen alueella. Tuuliatlaksessa käytetyllä säämallilla on tarkasteltu Suomen tuuliolosuhteita eri korkeuksilta 50 – 400 metrin korkeuksissa. Vuonna 1991 valmistunut tuuliatlas oli ensimmäinen kuvaus maamme tuulisuudesta. Sen tarkoituksena oli luoda 15 vuoden havaintoaineiston perusteella kartoitus Suomen tuulisuusolosuhteista pääosin tuulienergiantuotantomahdollisuuksien mahdollisista hyödyntämisalueista. Vuoden 1991 tuuliatlaksen mittaustietojen havainnot on tehty senaikaisten tuulivoimaloiden oletettujen korkeuksien perusteella, ja tuulivoimaloiden korkeuden kasvaessa kyseistä tietoa ei voida enää luotettavasti hyödyntää. (Suomen tuuliatlas yhteenvetoraportti 2010: 4–5)

Vuonna 2009 valmistui uusi Suomen tuuliatlas, jonka tiedot ovat edeltäjänsä laajempia ja tarkempia. Vuoden 2009 tuuliatlas perustuu tietokonemallinnukseen ja kattaa koko maan. Hallitusohjelman mukaisesti valmisteltu vuoden 2009 tuuliatlas on työ- ja elinkeinoministeriön rahoittama ja sen toteuttamisesta on pääosin vastannut Ilmatieteen laitos. Uuden

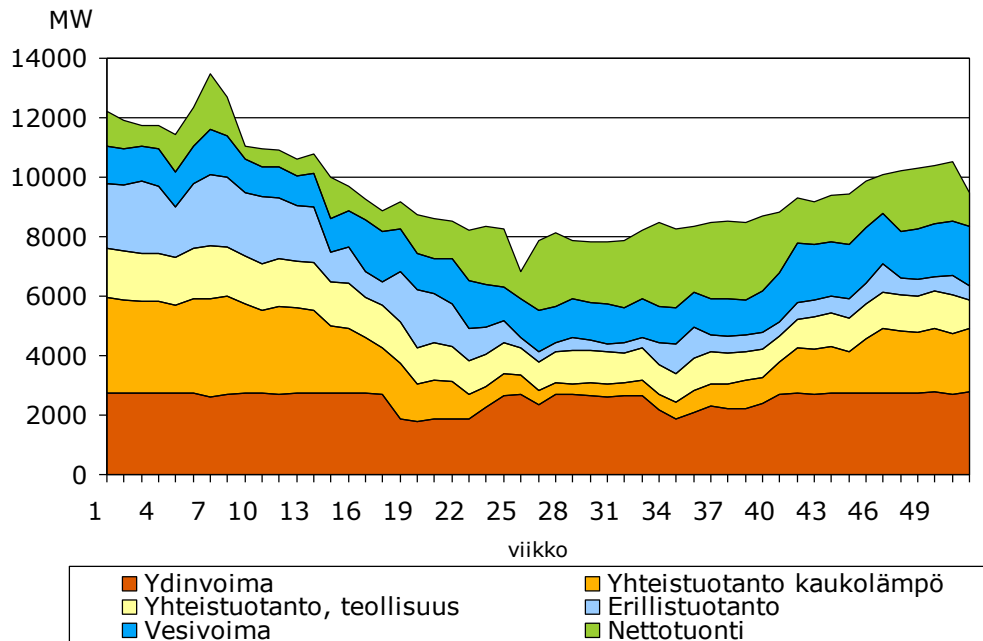
tuuliatlaksen tekemistä on erityisesti puoltanut hallituksen vuoden 2008 ilmasto- ja energiastrategia, jossa todetaan tuulivoiman lisärakentamisen olevan yksi tärkeimmistä keinoista kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. (Suomen tuuliatlas yhteenvetoraportti 2010:1–4)

Tuulivoiman tuotannon kannalta edullisimmat alueet Suomessa sijaitsevat Suomenlahden, Saaristomeren, Merenkurkun ja Perämeren alueilla, sekä Lapin tuntureilla. Tuulisuus vaihtelee näillä alueilla vuodenaikojen mukaan. Energiantuotannon kannalta tuulisuuden vaihtelu on kuitenkin edullista, sillä tuulen keskimääräinen nopeus on suurempaa kesäkuukausiin verrattuna talvikuukausien aikana, jolloin myös sähköenergian tarve on Suomessa suurempi. (Suomen tuuliatlas: Tuulisuus suomessa)

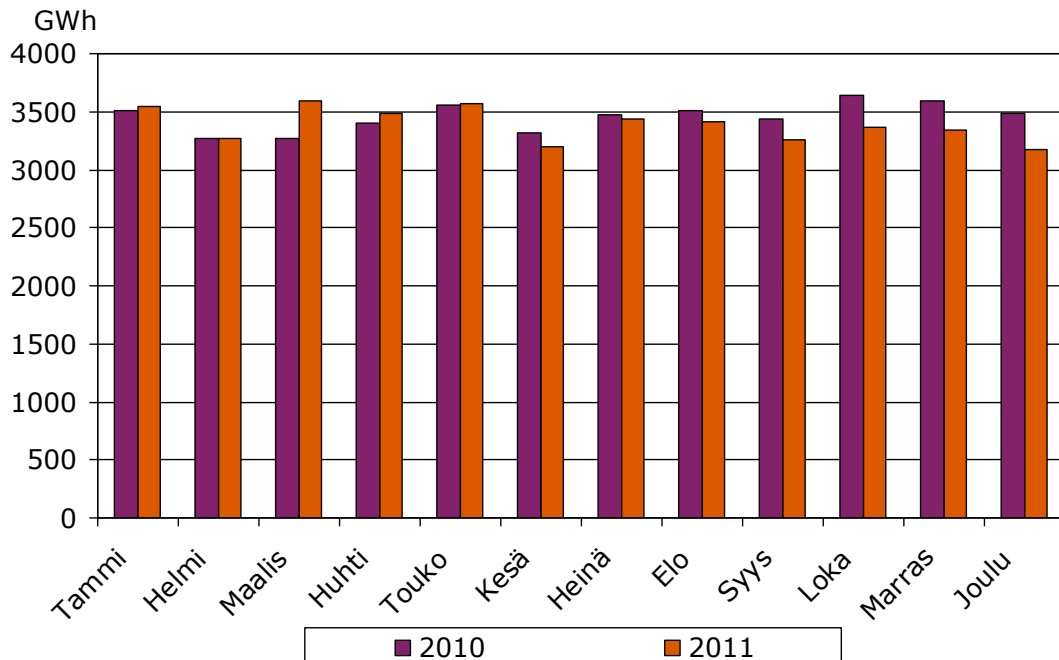
Sähköenergiatarpeen vaihtelu kuukausittain selittyy lämmityskustannusten kasvulla kylmien talvikuukausien aikana. Teollisuuden tarvitseman sähkön määrä ei vaihtele merkittävästi eri vuodenaikojen mukaan. (Energiateollisuus Ry 2012 : Energiavuosi 2011, sähkö)



Kuva 1 : Tuulen nopeuden kuukausikeskiarvojen vaihtelu eräillä ilmatieteen laitoksen sääasemilla. (Suomen tuuliatlas: Tuulisuus Suomessa <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html#>)



Kaavio 1: Sähkön hankinnan aikavaihtelu vuonna 2011 viikkokeskiteho. (Energiateollisuus 2012: Energiavuosi 2011, sähkö.)



Kaavio 2: Teollisuuden sähkönkulutus kuukausittain 2010 ja 2011. (Energiateollisuus ry 2012: Energiavuosi 2011, sähkö)

## 2.2 Tuulivoimaloiden ympäristövaikutukset

Tuulivoimaloiden ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia on pohdittava koko tuulivoimaloiden elinkaaren ajalla. Suurimmat vaikutukset ympäristöön aiheutuvat tuulivoimaloiden rakentamisvaiheessa eivätkä vaikutukset ympäristöön enää merkittävästi muutu tuulivoimalan käyttövaiheessa. Tuulivoimaloiden käyttöaika on yleensä 20 – 40 vuotta, jonka jälkeen tuulivoimala on joko purettava tai uusittava. (Ympäristöministeriö 2002:11)

Tuulivoimahankkeiden ympäristövaikutukset jaetaan välittömiin ja välillisiin vaikutuksiin. Sekä välilliset että välittömät vaikutukset voidaan lisäksi jakaa edelleen lyhyt- ja pitkäaikaisiin vaikutuksiin. Välillisiä vaikutuksia ovat muun muassa positiiviset globaalit ympäristövaikutukset ilmastoon päästöjen vähentyessä, siirryttäessä päästöttömään energiantuotantoon tuulivoimaa käyttäen. Välittömistä vaikutuksista merkittävimmät vaikutukset ovat maisemaan kohdistuvat vaikutukset. Muita välittömiä vaikutuksia ovat vaikutukset alueen kasvi- ja eläinkuntaan sekä kulttuuriperinnön säilymiseen, jotka kuitenkin liittyvät kaikkeen rakentamistoimintaan eivätkä pelkästään tuulivoimarakentamiseen. (Ympäristöministeriö 2002:11)

Tuulivoimarakentamisen vaikutukset ja niiden merkittävyys riippuvat kohdealueen herkkyydestä, sekä rakentamisesta aiheutuvan muutoksen suuruudesta kohdealueen ympäristöön. Ympäristövaikutusten merkittävyyteen vaikuttavat tuulivoimarakennushankkeen sijaintialue, tuulivoimaloiden koko ja lukumäärä sekä muiden tarvittavien rakennustöiden, kuten esimerkiksi voimalinjat ja tiet, tarve. Ympäristön kannalta tuulivoimalaitosrakentamisessa korostuu alueen muu infrastruktuuri. Alueella, jolla on ennestään esimerkiksi teollista toimintaa, on tuulivoimalaitosten vaikutus ympäristöön pienempi, kuin alueilla, joilla ei ole merkittävää rakennuskantaa. Tuulivoimarakentamisessa tulee yhteen sovittaa alueidenkäyttöintressejä yleisesti virkistyskäytön, asutuksen, puolustusvoimien tarpeiden sekä luonnon- ja ympäristönsuojelun tarpeiden kanssa. (Ympäristöministeriö 2002:11)

### 2.2.1 Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset

Tuulivoimaloiden vaikutukset linnustoon voidaan jakaa kahteen eri pääkategoriaan, suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin. Suoria vaikutuksia linnustoon ovat törmäykset rakennelmiin ja rakennelmien aiheuttama häiriö. Epäsuoria vaikutuksia linnustoon ovat taas rakenteiden ja rakennusten aiheuttama pesintä sekä ruokailupaikkojen tuhoutuminen ja muuttuminen. (Koistinen 2004:31)

Tuulivoimaloiden aiheuttamia suoria vaikutuksia alueen linnustoon on tutkittu Euroopassa ja Yhdysvalloissa kohtalaisen laajasti. Tutkimuksissa on käynyt ilmi ettei tuulivoimaloiden aiheuttama vaikutus kovinkaan suuri, kun lasketaan montako lintukuolemaa aiheutuu suhteutettuna voimalaitosten lukumäärään alueella. Myöskään tulivoimaloiden aiheuttamien lintukuolemien selvittäminen ei aina ole yksiselitteistä tai helppoa johtuen luonnollisista seikoista, kuten esimerkiksi loukkaantuneiden lintujen taipumuksesta hakeutua suojapaikkaan loukkaannuttuaan. Tämä hankaloittaa kuolleiden yksilöiden laskemista. Petolintujen riski joutua törmäykseen ei ole muita lintuja suurempi, mutta lajien välillä on eroja. Tiettyjen lintulajien kyky väistää tuulivoimaloita on todettu heikommaksi kuin toisilla.

Tutkimusten perusteella voidaan päätellä, ettei tuulivoimapuiston sijoittaminen alueelle, jossa on laaja uhanalaisten lintujen populaatio ole kannattavaa, mikäli alueen linnuston voidaan olettaa kärsivän merkittävästi tuulivoimaloiden vaikutuksista. On myös kyetty osoittamaan, että alueellisesti linnut voivat oppia väistämään tuulivoimaloiden rakenteita ja näin linnuston kuolleisuus saattaa pienentyä ajan kuluessa. Karkeasti arvioiden mielivaltaisella paikalla Suomessa törmäysmäärän suuruusluokka on yksi lintu vuodessa tuulivoimalaa kohden. (Koistinen 2004: 17–20)

### 2.2.2 Suorat linnustovaikutukset

Tuulivoimaloiden aiheuttamat suorat vaikutukset linnustoon eivät ole aina suoraan liitettävissä voimalaitoksen lappojen pyörimiseen. Tuulivoimaloiden sähkönsiirtojärjestelmien osuus lintukuolemiin on myös merkittävä. Tuulivoimaloiden vaatimat sähköjohdot lisäävät alueellisesti lintujen kuolemia, jotka aiheutuvat törmäyksistä sähköjohtimiin. (Koistinen 2004:22)

### 2.2.3 Epäsuorat linnustovaikutukset

Tuulivoimaloiden epäsuorista vaikutuksista linnustoon tehtyjen tutkimusten perusteella on voitu todeta etteivät tuulivoimapuistot muuta voimakkaasti pesimisympäristöjä ja linnustoja tasalaatuisessa maastossa. Ranta- ja kosteikkoalueilla talvehtivilla linnuilla paikallispopulaatioiden ympäristömuutosriskejä on kuitenkin havaittu. Tämä ei kuitenkaan Suomessa aiheuta merkittävää vaikutusta, sillä Suomessa ei suuria talvehtijoiden keskittymiä ole, vaan mahdollinen vaikutus kohdistuu paikallispopulaatioiden pesimiseen ruokailuun ja yöpymiseen. (Koistinen 2004:25–26)

### 2.3 Tuulivoimalan talousvaikutukset

Taloudellisessa mielessä tuulivoiman merkittävin etu muihin energiamuotoihin verrattuna on sen kyky vähentää riippuvuutta energianlähteistä, joiden hinta vaihtelee markkinoiden mukaan. Tuulivoiman primäärienergia on käytännössä ilmaista, sen saatavuus on tasaista ja saatavuuden vaihtelut ovat helposti ja luotettavasti ennustettavissa.

Tuulivoimaloiden ylläpitokustannukset ovat merkittävästi pienempiä verrattuna perinteisiin energiantuotantomuotoihin, koska tuulivoimalat kykenevät toimimaan täysin itsenäisesti automaatiojärjestelmien avulla.

### 2.3.1 Tuulienergian hinta

Tuulivoiman kokonaiskustannuksista noin 75 % koostuu perustamiskustannuksista, joita ovat muun muassa turbiinin hankkiminen, perustusten, sähköverkkoliitännöiden sekä teiden rakentaminen. Tuulivoimarakentaminen on perustamiskustannuksiltaan kalliimpaa verrattuna perinteisiin fossiilisia polttoaineita käyttäviin voimalaitoksiin, kuten hiili ja kaasuvoimalaitoksiin, mutta huomioonotettavaa on se, että näissä voimalaitoksissa 40 – 70 % energiantuotantokustannuksista aiheutuu polttoaine- ja ylläpitokustannuksista. Tuulivoimalan käyttö- ja huoltokustannukset ovat noin 1.2 – 1.5c€ tuotettua kilovattituntia kohden laskettuna koko voimalaitoksen elinkaaren aikana. (EWEA: The economics of wind energy 2009:8–9)

	Kustannukset €1000/MW	Osuus kokonaiskustannuksista %
Turbiini	928	75,6
Sähköverkkoliitäntä	109	8,9
Perustukset	80	6,5
Maanvuokra	48	3,9
Sähköasennukset	18	1,5
Konsultaatiokustannukset	15	1,2
Rahoituskustannukset	15	1,2
Teiden rakentaminen	11	0,9
Ohjausjärjestelmät	4	0,3
Yhteensä	1227	1000

Kaavio 3 :Tyypillisen 2MW tuulivoimalan kustannusrakenne (EWEA 2009:9)

Tuulivoimalla tuotetun sähköenergian hinta on riippuvainen siitä, kuinka paljon tuulta on saatavilla. Tuulivoimalla tuotetun energian hinta pienenee, kun

tuulisuus voimalan sijaintipaikalla on voimakkaampaa. Sisämaassa, jossa tuulisuus on keskimäärin rannikkoseutua pienempää, tuotetun tuulienergian tuotantokustannukset ovat noin 7–10c€/kWh ja tuulisimmilla rannikkoseuduilla tuulienergian hinta on noin 5–6,5c€/kWh. Keskimäärin tuulienergian hinta on noin 7c€/kWh. (EWEA: The economics of wind energy 2009:9–10)

Tuulivoimalan koon kasvattaminen on tuulienergian kustannusten kannalta edullista. 1980-luvun puolivälissä rakennetun 95kW:n tuulivoimalan tuulienergian tuotantokustannukset ovat noin 9,2c€/kWh, kun taas tuulioloiltaan vastaavalla paikalla sijaitseva 2MW voimala kykenee tuottamaan tuulienergiaa 5,3c€/hintaan. Eroa kustannuksissa on lähes 50 %. (EWEA: The economics of wind energy 2009:10)

Tuulivoiman selkeä kilpailuetu fossiilisia polttoaineita käyttäviin voimalaitoksiin verrattuna on primäärienergian riippumattomuus markkinoista. Tämä mahdollistaa muihin energiantuotantomuotoihin verrattuna ainutlaatuisten pitkäaikaisten energianmyyntisopimusten solmimisen, sillä tuulienergian tuotantokustannukset ovat lähes kiinteitä tai ainakin helposti ennustettavissa pitkälläkin aikavälillä (EWEA: The economics of wind energy 2009:15). Tuulienergian päästöttömyys parantaa myös kustannusten kehittymisen ennustettavuutta, koska mahdolliset tulevat päästörajoitukset eivät vaikuta tuulienergian tuotantokustannuksiin.

### 2.3.2 Tuulivoimarakentamisen työllisyysvaikutukset

Tuulivoimarakentaminen työllistää rakennusvaiheessa satoja eri alojen työntekijöitä rakennusprojektin laajuudesta riippuen. Suurin osa tarvittavasta työvoimasta tarvitaan erilaisiin rakennustehtäviin, mutta myös rakennusprojektin epäsuorat vaikutukset alueelliseen työllisyyteen ovat huomioonottamisen arvoisia. Merkittävimmät suoraan tuulivoimaloiden rakentamiseen liittyvät työvoimatarpeet kohdistuvat sähköurakointiin, kuljetuksiin, koneurakointitöihin maansiirtotöihin sekä rakennusmateriaalitoimituksiin. Epäsuorat työllisyysvaikutukset näkyvät

alueellisesti erityisesti majoitustarpeen, erilaisten ravitsemuspalveluiden ja muiden elintarvikkeiden kysynnän lisääntymisenä. Alueen ulkopuolelta tulleen työvoiman perustarpeiden tyydyttäminen vaatii näin ollen resursseja myös muilta alueen toimijoilta. (SKM, Nahn ym. 2012:36–41)

Tuulivoimarakentamisen työllistävä vaikutus on alueellisesti merkittävä. Esimerkkinä Oakland Hills:in 32 voimalaitoksen ja yhteisteholtaan 63MW tuulivoimapuisto Victorian osavaltiossa Australiassa, joka työllisti rakennusvaiheessaan yhteensä 599 työntekijää, joista 517 oli kotoisin Victorian osavaltion alueelta ja joista 156 oli kotoisin rakennusalueen lähiseudulta (SKM, Nahn ym. 2012:6). Suoraan rakennusprojektiin liittyvistä työntekijöistä 69 % työskenteli erilaisissa rakennustöissä, 14 % projektinhallinnan toimissa, 9 % huoltotehtävissä, 5 % markkinointi ja henkilöstöhallinnan toimissa ja 2 % suunnittelutehtävissä (SKM, Nahn ym. 2012:49).

Tuulivoimapuiston valmistuttua työvoimatarve pienenee. Oakland Hills:in tuulivoimapuiston vaatima työvoimatarve ylläpitoon ja huoltotoimiin on 35 henkilöä, joista suoraan voimalaitoksiin liittyviä työpaikkoja on 9. Muu lisääntynyt työvoimatarve koostuu epäsuorasti tuulivoimaloihin kohdistuviin työpaikkoihin, kuten varaosatoimituksiin ja erityishuoltotoimiin. (SKM, Nahn ym. 2012:6)

### 3 MENETELMÄ

Tutkimuksen lähdeaineisto koostuu pääosin tuulienergiantuotannosta kirjoitetusta kirjallisuudesta, aiheesta laadituista tieteellisistä artikkeleista sekä eri valtiollisten toimijoiden asettamista säädöksistä ja ohjeista. Tutkimuksen osatarkoituksena on selvittää tuulivoiman rakentamisprojektin eri vaiheet ja niihin liittyvät eri sidosryhmät. Tutkielman lopputulosten pääasiallisen päämääränä on selvittää eri tekijöiden vaikutus rakennusprojektin kestoon sekä kartoittaa, mihin eri tuulivoimarakentamisen osavaiheisiin erilaisten toimijoiden on mahdollista ottaa osaa niin kansainvälisellä, kansallisella ja paikallisella tasolla. Tutkimusosa rakentuu kolmeen osaan, joista ensimmäisessä kartoitetaan tuulivoimarakentamisen ja tuulienergiantuotannon tämänhetkinen vaihe Suomessa. Toisessa vaiheessa selvitetään, miten tuulivoimarakentamisen edellyttämät kaavoitus- ja lupamenettelyt vaikuttavat eri vaiheissa tuulivoiman rakennusprojektiin. Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa selvitetään tuulivoimalan perusrakenne sekä tuulivoimaloiden rakentamiseen liittyvät työvaiheet sekä erilaisten alihankintana teetettävien rakennusvaiheiden osuus koko rakennusprojektista.

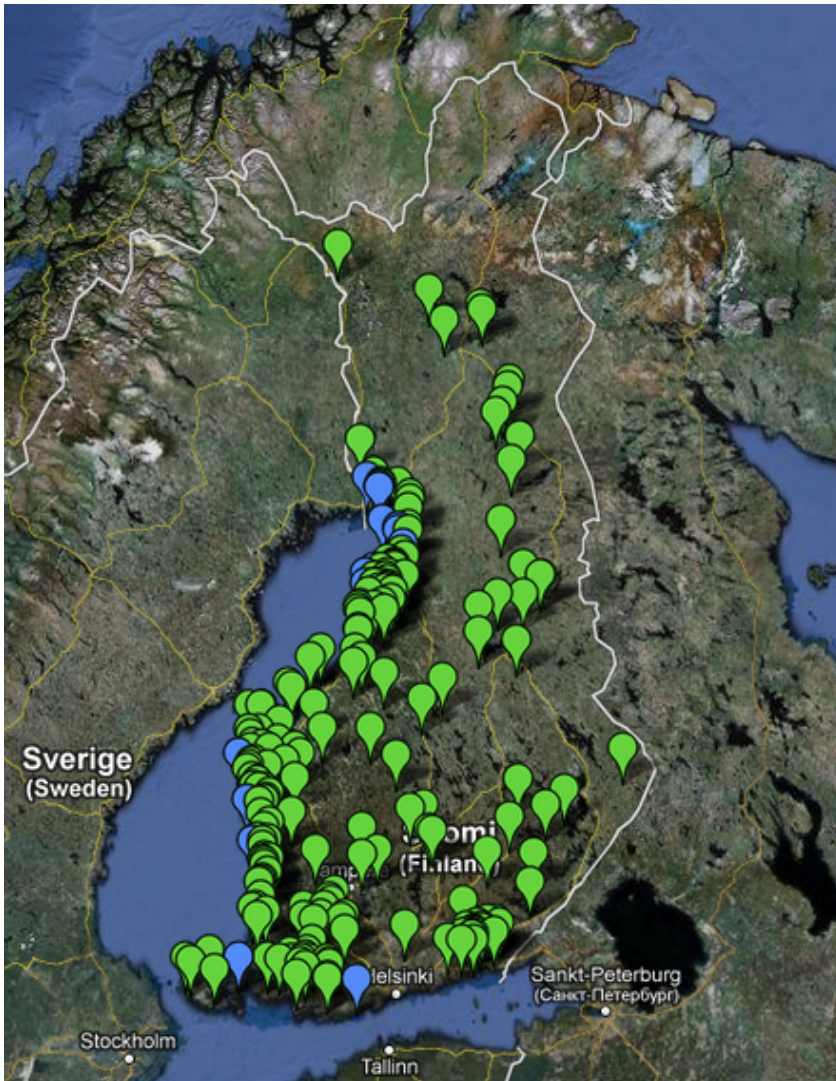
## 4 TULOKSET

### 4.1 Tuulivoimarakentaminen Suomessa

Tuulivoimarakentamisen yleistyminen Suomessa on osa maailmanlaajuisia kehitystä, jonka päämääränä on vähentää ihmiskunnan riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Luopumalla fossiilisista polttoaineista tai vähentämällä niiden käyttöä kyetään merkittävästi vähentämään ilmakehään vapautuvien kasvihuonekaasujen määrää ja täten vähentämään ilmansaasteita ja hillitsemään ilmastonmuutosta.

Suomessa siirtymistä kohti päästövapaata energiantuotantoa ohjaavat vahvasti Euroopan unionin ilmasto- ja energiapaketissa vuonna 2008 asetetut tavoitteet ja toimenpiteet, joiden tarkoituksena on lisätä Euroopan unionia alueella uusiutuvien energianlähteiden osuutta energian loppukulutuksesta siten, että vuonna 2020 energian loppukulutuksesta 20 % on tuotettu uusiutuvien energiantuotantomenetelmien avulla. Jo päätetyillä toimilla Suomen oma tavoite, jossa 38 % energian loppukulutuksesta on uusiutuvaa, kyetään Suomen energia- ja ilmastostrategian mukaan saavuttamaan vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013:11–12).

Tuulivoimaloiden rakentaminen on lisääntynyt merkittävästi 2010-luvulla. Vuoden 2010 lopussa Suomessa oli toiminnassa 130 tuulivoimalaa ja niiden yhteenlaskettu teho oli 197MW. Vuoden 2012 lopussa toiminnassa olevia tuulivoimaloita oli jo 163 ja niiden yhteenlaskettu teho oli 288MW. Lokakuussa 2012 tuulivoiman rakennusprojekteja oli käynnissä yhteensä 8900MW edestä, joista merelle rakennettavien tuulivoimaloiden osuus oli noin 3000MW. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2013)



Kuva : Käynnissä olevat tuulivoimahankkeet Suomessa lokakuussa 2012 (Suomen Tuulivoimayhdistys , Google maps)

Tuulivoimapuiston perustaminen kestää Suomessa keskimäärin 6 – 7 vuotta. Suurin osa perustamisajasta kuluu eri kaavoitus- ja lupaprosesseihin, joiden yhteenlaskettu kesto käsittely- ja valitusaikoihin on jopa 6 vuotta. Ennakoivalla kaavoituksella ja suunnittelulla kaavoitusprosessia on kuitenkin mahdollista lyhentää. Lupa- ja kaavoitusprosessi edellyttää eri julkishallinnollisten toimijoiden välistä yhteistyötä. Lupa- ja kaavoitusprosessin kannalta tärkeimmät toimijat ovat kunnat, ELY-keskukset, maakuntaliitot, puolustusvoimat, liikennevirasto ja liikenteen turvallisuusvirasto Trafi.

## 4.2 Tuulivoimarakentamisen suunnittelu

Tuulivoimarakentamiseen sovelletaan pääsääntöisesti samoja säännöksiä kuin muuhunkin rakentamistoimintaan. Tuulivoimarakentaminen edellyttää aina rakennuslupaa tai toimenpidelupaa, ja tuulivoimaloiden toteutuksen tulee lähtökohtaisesti perustua maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaiseen kaavoitukseen, jossa määritellään tuulivoimarakentamiseen soveltuvat alueet.

1. huhtikuuta 2011 voimaantulleen tuulivoimarakentamista koskevan maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen myötä yleiskaavaa on mahdollista käyttää aiempaa useammin tuulivoimarakentamisen suunnitteluvälineenä. Lakimuutos mahdollistaa tietyin edellytyksin rakennusluvan myöntämisen tuulivoimaloille suoraan yleiskaavan perusteella. Asutuksen, lentoliikenteen ja puolustusvoimien vaatimusten asettamien rajoitusten lisäksi tuulivoimarakentamiseen soveltumattomia alueita ovat valtakunnallisesti ja maakunnallisesti arvokkaat maisema-alueet ja merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt, luonnonsuojelualueet, erämaa-alueet sekä kansainvälisesti tärkeät linnuston IBA (Important Bird Area)-alueet.

(Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012, 11)

### 4.2.1 Kaava- ja lupajärjestelmä

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999, MRL) sekä maankäyttö- ja rakennusasetuksen (895/1999, MRA) asettamat puitteet kaikelle rakentamiselle koskevat myös tuulivoimarakentamista. Maankäyttö- ja rakennuslain alueiden käyttöä koskeva suunnittelujärjestelmä muodostuu valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista sekä yleispiirteisistä ja yksityiskohtaisista kaavoista. Yleispiirteisiä kaavoja ovat maakunnan liiton laatima maakuntakaava ja kunnan laatima yleiskaava. Yksityiskohtaisempi kaavamuoto on kunnan laatima asemakaava. Kunnat voivat myös laatia yhteistyönä yhteisen yleiskaavan, joka voidaan MRL 77a§:n mukaan laatia myös siten, että se ohjaa suoraan tuulivoimarakentamista.

*Rakennuslupa tuulivoimalan rakentamiseen voidaan 137 §:n 1 momentin estämättä myöntää, jos oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa on erityisesti määrätty kaavan tai sen osan käyttämisestä rakennusluvan myöntämisen perusteena. (MRL 77a §)*

(Ympäristöministeriö 2012:15)

#### 4.2.2 Alueiden käytön suunnittelujärjestelmä

Alueiden käytön suunnittelujärjestelmä on kokonaisuus, jossa eri kaavatasoilla on omat tehtävänsä. Keskeisenä periaatteena suunnittelujärjestelmässä on se että yleispiirteisempi kaava toimii ohjeena laadittaessa ja muunneltaessa yksityiskohtaisempaa kaavaa. Kaavan laadinta on monivaiheinen suunnittelu-, vuorovaikutus- ja päätöksentekoprosessi, joka jaetaan aloitus-, valmistelu-, ehdotus- ja hyväksymisvaiheisiin. Maankäyttö- ja rakennuslaki antaa puitteet kaavan laadinnalle. (Ympäristöministeriö 2012:15)

Kaavoituksen suunnitteluvaihe pitää sisällään suunnittelutyön ohjelmoinnin ja osallistumis- ja arviointisuunnitelman (OAS) laatimisen. Suunnitteluvaiheessa määritellään kaavan alustavat tavoitteet, selvitystarpeet, vaikutusten arvioinnin laajuus sekä suunnitellaan osallistumisen järjestäminen. Kaavoituksen alkamisesta sekä osallistumis- ja arviointisuunnitelmasta tiedotetaan. (Ympäristöministeriö 2012:15)

Valmisteluvaiheessa tehdään tärkeimmät kaavan sisältöä koskevat ratkaisut. Tarkennetaan suunnitteluvaiheen tavoitteita, laaditaan ja täydennetään selvityksiä, suunnitellaan kaavaratkaisun periaatteet ja vaihtoehdot sekä selvitetään eri vaihtoehtojen vaikutuksia. Valmisteluvaiheen kaavaluonnos ja valmisteluaineisto voidaan asettaa nähtäväksi. Tällä tavalla asianosaisille ja kunnan jäsenille tarjoutuu mahdollisuus esittää oman mielipiteensä valmisteilla olevasta kaavoituksesta. Omat lausuntonsa kaavaluonnoksesta antavat viranomaiset ja yhteisöt. Saatu palaute käytetään hyödyksi laadittaessa kaavaehdotusta. (Ympäristöministeriö 2012:15)

Valmisteluvaiheen lopussa laaditaan kaavaehdotus, joka asetetaan julkisesti nähtäville. Tällöin asianosaiset ja kunnan jäsenet voivat tehdä siitä muistutuksen. Ehdotusvaiheessa kaavan laatija pyytää tarvittavat lausunnot viranomaisilta ja yhteisöilta ja laatii saamiensa lausuntojen ja muistutusten perusteella yhteenvedon siitä, onko kaavaehdotusta syytä niiden johdosta tarkistaa. Tarvittaessa järjestetään aiheeseen liittyvä viranomaisneuvottelu. Mikäli tässä vaiheessa kaavaehdotukseen tulee merkittäviä muutoksia, on kaavaehdotus asetettava uudelleen esille. (Ympäristöministeriö 2012:15–16)

Kaavoituksen viimeinen vaihe pitää sisällään kaavan hyväksymisen. Maakuntakaavan hyväksyy maakuntavaltuusto, yhteisen yleiskaavan hyväksyy kuntien yhteinen toimielin ja asemakaavan hyväksyy kunnanvaltuusto. Hyväksymisen jälkeen kaavan hyväksymisestä tiedotetaan. Maakuntakaava ja kuntien yhteinen yleiskaava vahvistetaan lisäksi vielä ympäristöministeriössä. (Ympäristöministeriö 2012:16)

#### 4.2.3 Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet

Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet ovat osa MRL:n mukaista alueidenkäytön suunnittelujärjestelmää. Alueidenkäytön tavoitteista päättävä valtioneuvosto on 13.11.2008 antamassaan päätöksessä todennut alueidenkäyttösuunnittelussa tuulivoimarakentamisen osalta, että tuulivoiman hyödyntämiseen parhaiten soveltuvat alueet on osoitettava maakuntakaavoituksessa ja tuulivoimalat on ensisijaisesti sijoitettava keskitetysti useamman voimalan yksiköihin. Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet korostavat tuulivoimarakentamisessa pyrkimystä keskitettyihin ratkaisuihin sekä tuulivoimarakentamisen ja muiden alueidenkäyttötarpeiden yhtensovittamista. Keskittämällä tuulivoimaloiden rakentaminen pyritään taloudelliseen ympäristön kannalta edulliseen ratkaisuun. Maisemavaikutuksen minimoinnissa on otettava huomioon myös muiden kuin varsinaisten tuulivoimaloiden aiheuttama vaikutus ympäristöön, maisemaan ja luonnonarvoihin. Erityisesti rakennettavat sähkölinjat ja tiestö on otettava huomioon. (Ympäristöministeriö 2012: 16)

Tuulivoimama-alueiden suunnittelussa on otettava huomioon muutkin valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet. On kyettävä varmistamaan, että valtakunnallisesti merkittävät kulttuuriympäristöjen ja luonnonperinnön arvot säilyvät ja, että näillä alueilla alueidenkäyttö soveltuu niiden historialliseen kehitykseen. Maanpuolustuksen ja rajavalvonnan tarpeet on myös otettava huomioon ja turvattava riittävät alueelliset edellytykset varuskunnille, ampuma- ja harjoitusalueille, varikkotoiminnalle sekä muille maanpuolustuksen ja rajavalvonnan toimintamahdollisuuksille. Lentoliikenteen turvallisuuden kannalta oleelliset tekijät on otettava huomioon lentoasemien ympäristön maankäytössä. Erityisesti lentoesteiden korkeusrajoitukset, varalaskupaikat ja lennonvarmistusjärjestelmien kehittämismahdollisuudet sekä sotilasilmailun tarpeen ovat niitä tekijöitä, joihin on erityisesti kiinnitettävä huomiota. Suomen pohjoisosissa omat erityistarpeensa alueidenkäytön suunnittelussa asettavat saamelaisille alkuperäiskansana kuuluva oikeus ylläpitää ja kehittää kulttuuriaan. Tuulivoimarakentamisen suunnittelun kannalta merkitsevää on turvata poronhoitoalueella poronhoidon alueidenkäytön edellytykset. (Ympäristöministeriö 2012:16–17)

#### 4.2.4 Maakuntakaavan merkitys tuulivoimarakentamiselle

Maakuntakaavoituksen tehtävän on tuulivoimarakentamisen kokonaisuuden ohjaaminen. Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden toteutumisen edistämiseksi tuulivoimarakentamiselle on maakuntakaavassa osoitettuna tuulivoimarakentamiselle varatut alueet. Samalla tuulivoimarakentamisen ympäristövaikutuksia on mahdollista rajata, ja samalla helpotetaan tuulivoimarakentamisen ja muiden alueidenkäyttötavoitteiden yhteensovittamista. Maakuntakaavassa voidaan myös rajoittaa tuulivoimarakentamista osoittamalla alueita, joille tuulivoimarakentamista ei tulisi suunnitella.

Tuulivoimarakentamiselle varattujen alueiden vähimmäiskoko vaihtelee alueellisesti ja vaikuttavina tekijöinä ovat alueen ominaispiirteet ja seudullisen ohjauksen tarve. Maakuntakaavoissa ei osoiteta paikallisia alueenkäyttötarpeita. Tuulivoimatuotanto-alueiden osoittamista maakuntakaavoissa edellytetään pääsääntöisesti silloin, kun tuulivoimaloiden lukumäärä alueelle ylittää 8–10 yksikköä, jolloin voidaan katsoa tuulivoima-alueella olevan seudullista merkitystä. (Ympäristöministeriö 2012:17–18)

Tuulivoimaloiden liittämiseksi sähköverkkoon rakennettavat suurjännitevoimajohdot osoitetaan maakuntakaavassa. Mikäli voimalinjan linjaus ei ole tiedossa, mutta tuulivoima-alueesta on tehty verkkoselvitys ja liityntäpiste sähköverkkoon on tiedossa, merkitään liityntäjohto maakuntakaavaan yhteystarvetta osoittavalla merkinnällä. Mikäli liityntäpiste sähköverkkoon ei ole tiedossa, ei maakuntakaavalle ole tarvetta osoittaa yhteystarvemerkinä, vaan asiaa käsitellään vain kaavaselostuksessa, jossa tulee mainita tuulivoima-alueen läheisyyteen sijoittuvat lähimmät sähköasemat, joihin tuulivoima-alueen liittäminen sähköverkkoon on mahdollista. (Ympäristöministeriö 2012:19)

Maakuntakaavassa tuulivoimarakentamista voidaan rajoittaa kaavamääräyksillä. Suunnittelumääräyksillä annetaan esimerkiksi luontoarvoihin, maisemaan tai kulttuuriympäristöön liittyviä rajoituksia ja reunaehtoja tuulivoimarakentamisen yksityiskohtaisemmalle suunnittelulle. Rakentamismääräyksillä voidaan tarvittaessa määritellä myös tuulivoimaloiden lukumäärä, suurin sallittu korkeus tai tuulivoimaloiden sijoittelun periaatteet alueella. Suojelumääräyksiä maakuntakaavassa voidaan antaa, mikäli tuulivoima-alueen läheisyydessä on erityisiä ympäristöarvoja. (Ympäristöministeriö 2012:19)

#### 4.2.5 Yleiskaavan merkitys tuulivoimarakentamiselle

Yleiskaavan tarkoituksena on kunnan tai sen osan yhdyskuntarakentamisen ja maankäytön yleispiirteinen ohjaaminen sekä toimintojen yhteensovittaminen.

Yleiskaavan päätehtävänä on siten kunnan alueidenkäyttötavoitteiden ja osoittaminen ja asemakaavoituksen ohjaaminen. Yleiskaavoituksessa kunnat voivat osoittaa tuulivoimatuotantoon alueet kunnan alueella. Yleiskaavan merkitys korostuu kunnissa, joissa tuulivoiman tuotantopotentiaali on suuri sekä alueilla, joilla alueiden käytön yhteensovittamistarve on suuri. Tällaisia alueita ovat taajamat ja niiden lähialueet sekä alueet, joilla on erityisiä luonnon-, ja kulttuuriarvoja joiden säilyttäminen edellyttää laajemman alueen yleispiirteistä suunnittelua. (Ympäristöministeriö 2012:20)

Maankäyttö- ja rakennuslain 1.4.2011 voimaantulleen muutoksen, koskien yleiskaavan käyttöä tuulivoimarakentamisessa, perusteella voidaan laatia tuulivoimarakentamista suoraan ohjaava yleiskaava, jonka perusteella voidaan tietyin edellytyksin myöntää suoraan rakennusluvut tuulivoimaloille. Tällainen tuulivoimarakentamista ohjaava yleiskaava voi olla koko kunnan aluetta koskeva yleiskaava, osayleiskaava tai kuntien yhteinen yleiskaava.

Tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavaan yleiskaavaan tulee aina ottaa rakennuslupien myöntämistä tuulivoimaloille koskeva erityinen määräys. Määräystä voidaan käyttää tilanteissa, joissa asemakaavatasoista suunnittelua vaativaa yhteensovittamistarvetta muun maankäytön kanssa ei ole. Maakuntakaavassa osoitetun tuulivoima-alueen raja-alue voi täsmentyä tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavassa yleiskaavassa ja sen sijaintia voidaan muuttaa, jos siihen on esimerkiksi tarkemmasta selvityksestä johtuva perusteltu syy. Tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavassa yleiskaavassa osoitettu ratkaisu ei kuitenkaan voi olla ristiriidassa maakuntakaavan kanssa. Mikäli kyseessä on vaikutuksiltaan paikallinen tuulivoima-alue, voidaan tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavaa yleiskaavaa käyttää tuulivoimarakentamisen ohjaamiseen ilman maakuntakaavassa olevaa merkintää. Tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavan yleiskaavan laatimiselle on edellytyksenä, että alueella ei ole sellaista maankäyttöä, jonka yhteensovittaminen tuulivoimarakentamisen kanssa vaatisi asemakaavoitusta. Tuulivoimarakentamista suoraan ohjaava yleiskaava soveltuu siten tuulivoimarakentamisen ohjaamiseen vesialueilla ja sellaisilla maa-alueilla,

jotka sijaitsevat riittävän etäällä taajama-asutuksesta ja muusta siihen rinnasteisesta tai muita erityispiirteitä omaavasta maankäytöstä. (Ympäristöministeriö 2012:21–22)

#### 4.2.6 Asemakaavan merkitys tuulivoimarakentamisessa

Asemakaava laaditaan alueiden käytön yksityiskohtaista rakentamista, järjestämistä ja kehittämistä varten. Tuulivoimarakentamisessa asemakaavan laadinta on tarpeen tapauksissa, joissa tuulivoimarakentamisen ja muun maankäytön yhteensovittaminen sitä edellyttää. MRL (132/1999) 58 § kieltää rakentamisen vastoin asemakaavaa (rakentamisrajoitus) sekä rajoittaa asemakaava-alueelle sijoitettavia toimintoja.

Asemakaava-alueelle ei saa sijoittaa toimintoja, jotka aiheuttavat haittaa kaavassa osoitetulle muiden alueiden käytölle. Asemakaava-alueelle ei saa myöskään sijoittaa toimintoja, jotka ovat haitallisten tai häiriöitä aiheuttavien ympäristövaikutusten estämistä tai rajoittamista koskevien asemakaavamääräysten vastaisia. (MRL 132/1999 58§)

Asemakaavan laadintaa ohjaavat yleispiirteisemmät kaavat. Mikäli asemakaava laaditaan alueelle, jolla ei ole voimassa yleiskaavaa, ohjaa asemakaavan laadintaa maakuntakaava. Tuulivoimarakentamisessa asemakaavaa tulee käyttää tilanteissa, joissa tuulivoimarakentaminen on tarpeen määritellä tarkasti suhteessa alueen muuhun maankäyttöön ja kaavan vaikutusten arviointi edellyttää tarkkaa sijainnin ohjausta esimerkiksi meluvaikutusten vuoksi. Asemakaavaa käytetään tyypillisesti tapauksissa joissa tuulivoimarakentaminen kohdistuu taajamien läheisille alueille sekä satama- ja teollisuusalueille. (Ympäristöministeriö 2012:25)

#### 4.2.7 Suunnittelutarvealue ja suunnittelutarveratkaisu

Suunnittelutarvealueella tarkoitetaan maankäyttö- ja rakennuslain 16 §:n mukaan aluetta, jonka käyttöön liittyvien tarpeiden tyydyttämiseksi on syytä

ryhtyä erityisiin toimenpiteisiin, kuten teiden, vesijohdon tai viemärin rakentamiseen taikka vapaa-alueiden järjestämiseen. Suunnittelutarvealuetta koskevia säännöksiä sovelletaan myös sellaiseen rakentamiseen, joka ympäristövaikutusten merkittävyyden vuoksi edellyttää tavanomaista lupamenettelyä laajempaa harkintaa. Kunta voi oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa tai rakennusjärjestyksessä osoittaa suunnittelutarvealueeksi myös alueen, jolla sen sijainnin vuoksi on odotettavissa suunnittelua edellyttävää yhdyskuntakehitystä tai, jolla erityisten ympäristöarvojen tai ympäristöhaittojen vuoksi on tarpeen suunnitella maankäyttöä. (MRL 16§)

Suunnittelutarvealuejärjestelmän tehtävänä on kaavan puuttuessa pyrkiä ohjaamaan rakentamista ja muuta maankäyttöä maankäyttöpaineen kohteena olevalla alueella. Suunnittelutarvealuetta koskevia säännöksiä sovelletaan hankkeisiin, joiden synnyttämien ympäristövaikutusten merkittävyyden vuoksi edellytetään tavanomaista lupamenettelyä laajempaa harkintaa. Osana maankäytön suunnittelua voi kunta nimetä tietyn alueen suunnittelutarvealueeksi. Tällöin suunnittelutarvealueeksi suunniteltu alue tulee osoittaa oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa tai rakennusjärjestyksessä. Suunnittelutarvealueen tehtävänä on vaikeuttaa rakennusluvan myöntämistä eli asettaa sille lisäedellytyksiä. Maankäytön näkökulmasta suunnittelutarvealueen keskeisin merkitys on siinä, että alueelle rakennettaessa rakennusluvan myöntämistä koskevat erityiset maankäyttö- ja rakennuslain 137 §:n mukaiset lisäedellytykset. (Hollo 2009:370–371)

Tuulivoiman rakennushankkeen sijoituessa suunnittelutarvealueelle hankkeen toteuttaminen edellyttää sen laadusta ja sijaintipaikasta riippuen joko kaavallista suunnittelua tai suunnittelutarveratkaisua. Tuulivoimarakentamisen kannalta olennainen on MRL 16 §:n säännös, jonka mukaan suunnittelutarvealuetta koskevia säännöksiä sovelletaan myös muuhun sellaiseen rakentamiseen, joka ympäristövaikutustensa merkittävyyden vuoksi edellyttää tavanomaista lupamenettelyä laajempaa harkintaa. Tällaisissa tapauksissa suunnittelutarpeen osoittajaksi riittää siten pelkästään

rakennushankkeen ympäristövaikutusten merkittävyys. (Ympäristöministeriö 2012:26)

#### 4.2.8 Rakennuslupa

Tuulivoimalan rakentaminen vaatii aina joko MRL 125 §:n mukaisen rakennusluvan tai MRL 126 §:n mukaisen toimenpideluvan. Tuulivoimalat rinnastetaan useimmiten rakennuslupaa edellyttäviin rakennuksiin, ja MRL126 §:n mukaisella toimenpideluvalla on mahdollista toteuttaa lähinnä vain pientuulivoimaloita kotitarvekäyttöön. (Ympäristöministeriö 2012:28)

Kunnan rakennusvalvontaviranomainen ratkaisee sekä rakennusluvan että toimenpideluvan. Lupahakemukseen tulee liittää myös selvitys hankkeen vaikutuksista maisemaan ja naapureihin sekä selvitys hakijan lähimmistä suunnitelluista muista tuulivoimaloista. Mikäli tuulivoimahankkeeseen on sovellettu ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA-menettelyä) tulee lupahakemukseen liittää YVA-lain (468/1994) mukainen arviointiselostus ja yhteysviranomaisen siitä antama lausunto. Hakemukseen voidaan liittää myös lentoeste-, vesi- tai ympäristölupa, mikäli sellaiset on tuulivoimalalle myönnetty. (Ympäristöministeriö 2012:28)

Rakennuslupahankkeen vireilletulosta on ilmoitettava naapureille ja samanaikaisesti lupahankkeen vireilläolosta tulee tiedottaa myös rakennuspaikalla. Rakennuspaikalla on tarvittaessa suoritettava katselmus rakennuksen ympäristöön soveltuvuuden selvittämiseksi, naapurien kuulemiseksi sekä rakentamisen vaikutusten arvioimiseksi. Jos rakennuslupaa haetaan luonnonsuojelulain mukaiselle luonnonsuojelun kannalta merkittävälle alueelle tai alueelle, joka maakuntakaavassa on varattu virkistys- tai suojelualueeksi, hakemuksesta on pyydettävä elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen lausunto (Maankäyttö- ja rakennuslaki 133/1999:133§)

#### 4.2.9 YVA-menettely

Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn tarkoituksena on edistää ympäristövaikutusten arviointia ja yhtenäistä huomioon ottamista suunnittelussa ja päätöksenteossa sekä samalla lisätä kansalaisten tiedonsaantia ja osallistumismahdollisuuksia. (YVAL 468/1994:1§)

YVA-menettely koostuu kahdesta vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa hankkeesta vastaava taho toimittaa arviointiohjelman yhteysviranomaiselle, joka tuulivoimahankkeissa on paikallinen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Arviointiohjelmassa selvitetään muun muassa mitä hankkeen toteuttamisvaihtoehtoja ja hankkeen vaikutuksia suunnittelun aikana tullaan selvittämään, ja miten arviointi tehdään ja kuinka osallistumien järjestetään. Hankkeesta vastaava taho selvittää rakennushankkeen ja sen vaihtoehtojen vaikutukset arviointiohjelman ja ELY-keskuksen yhteyshenkilön lausunnon pohjalta ja laatii ympäristövaikutusten arviointiselostuksen. YVA-menettely päättyy, kun yhteysviranomainen antaa lausuntonsa laaditusta ympäristövaikutusten arviointiselostuksesta ja sen riittävydestä. (Ympäristöministeriö 2012:33)

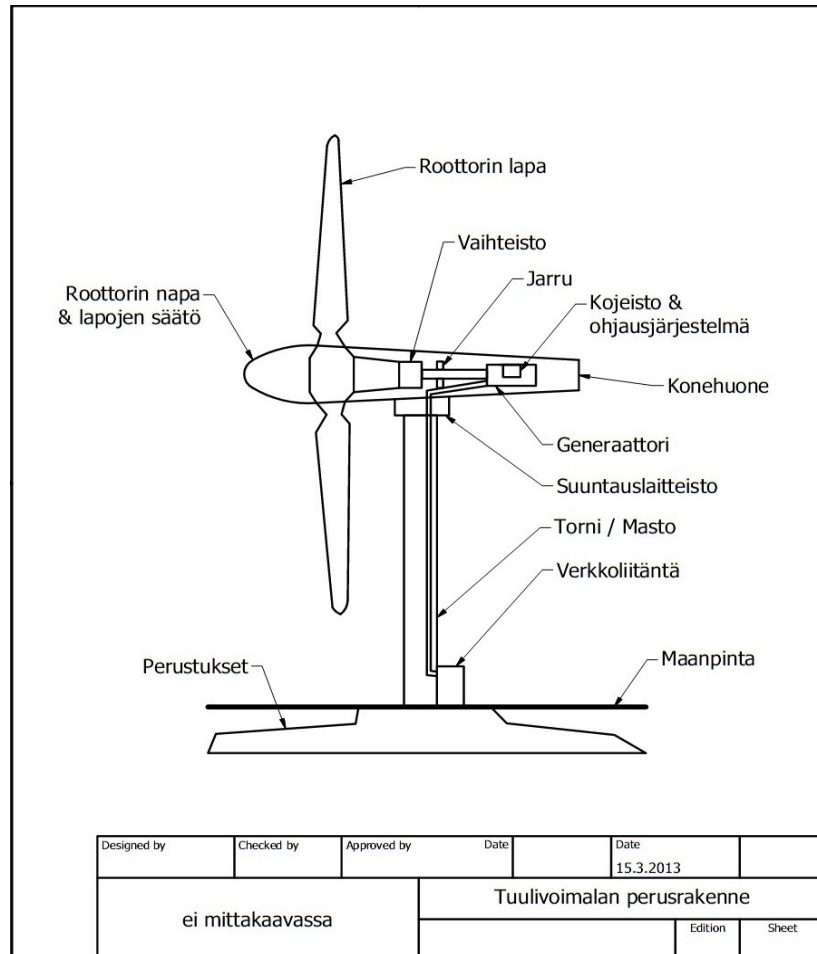
Tuulivoiman rakennushankkeissa YVA-lain mukaista arviointimenettelyä vaaditaan aina, kun yksittäisten voimalaitosten luumäärä on vähintään kymmenen kappaletta tai yhteenlaskettu kokonaisteho on vähintään 30MW. Yksittäistapauksissa ELY-keskus voi päättää, että myös pienempien hankkeiden ympäristövaikutukset on arvioitava YVA-menettelyssä, jos hanke todennäköisesti aiheuttaa laadultaan tai laajuudeltaan, myös eri hankkeiden yhteisvaikutukset huomioon ottaen, merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia. Arviointimenettelyn soveltamista koskevan asian paikallisen ELY-keskuksen harkittavaksi voi saattaa myös kansalainen, kansalaisjärjestö tai muu viranomainen. (Ympäristöministeriö 2012:33–34)

#### 4.2.10 Lentoesterajoitukset

Ilmailulain (1194/2009) 165 §:n mukainen velvoitus kaikille yli 60 metriä korkeille rakennelmille määrätyn lentoesteluvan hakuvelvoite koskee myös

rakennettavia tuulivoimaloita. Luvan myöntää liikenteen turvallisuusvirasto Trafi hakemuksen perusteella. Hakemukseen on liitettävä asiaa koskeva lausunto lentoasemia ylläpitävältä Finavia Oy:ltä. Luvan myöntämisperusteena on se, ettei lupaa koskeva rakennelma aiheuta vaaraa lentoliikenteelle. Lupa yleensä velvoittaa merkitsemään kohteen asianmukaisin lentoestevaloin. Lentoesterajoitukset ovat riippuvaisia siitä, millä etäisyydellä ja missä suunnassa rakennettava kohde on suhteessa ympäristön lentokenttiin ja lentopaikkoihin. (Ramboll Finland Oy 2011:1–4)

### 4.3 Tuulivoimalan rakenne



Kuva 3: Tuulivoimalan perusrakenne (Hallila 2013)

#### 4.3.1 Tuulivoimalan perustukset

Tuulivoimalan perustukset käsittävät ne kiinteät rakenteet, joilla tuulivoimalan torni on tuettuna maaperään. Yleisimmin perustusten rakennusmateriaalina käytetään teräksellä vahvistettua betonia, jolloin kyetään luomaan rakenne, joka kestää voimalaitoksen aiheuttamat rasitukset. Tuulivoimalan perustusten rakenne ja käytettävät materiaalit riippuvat suuresti tuulivoimalan rakennusalueen maaperän ominaisuuksista. Maaperän koostumus määrittää suurelta osin perustusten rakenteen. Kalliopohjalle perustettava tuulivoimala vaatii perustukset, jotka ovat helposti ankkuroitavissa peruskallioon ja toisena ääripäänä pehmeälle maaperälle, kuten esimerkiksi hiekka tai humusperäiselle

alueelle, rakennettava voimalaitos vaatii tukevan perustuksen, jolla on riittävä kyky kantaa voimalaitoksen aiheuttama kuorma. (Manwell ym. 2009:416)

Perustusten pääosa on betonilaatta, joka on joko maavarainen tai kallioon ankkuroitu. Maavarainen perustuslaatta on yleensä halkaisijaltaan noin 20 metriä ja korkeudeltaan 1 – 2 metriä. Maavarainen perustuslaatta sijoitetaan maahan noin 2 – 4 metrin syvyyteen ja peitetään maa-aineksella. Mikäli tuulivoimalan rakennusalueella on ehjä kallioperä riittää perustuslaataksi maavaraista perustuslaattaa pienempi, halkaisijaltaan 12–15 metrin levyinen betonilaatta, joka ankkuroidaan kallioperään betoni-injektoiduilla terästangoilla. (Lapin vesitutkimus Oy 2011:12)

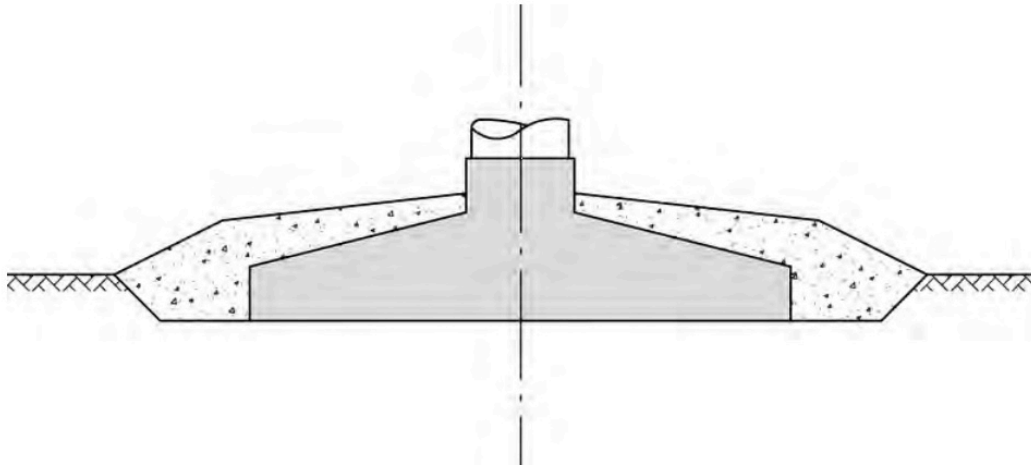
#### 4.3.1.1 Eri perustustyypit

Maaperän koostumus määrittää, millaisen perustuksen rakennettava tuulivoimala vaatii. Tuulivoimapuistoa suunniteltaessa on jokaisen yksittäisen voimalaitoksen suunnitteluvaiheessa suoritettava maaperän kartoitustutkimus, jolla kyetään selvittämään millaisen perustuksen kukin voimalaitos vaatii. Perustuksiin kohdistuvat vaatimukset saattavat vaihdella merkittävästikin tuulivoimapuiston eri kohdissa, ja useissa tapauksissa perustusten rakentamisen tekniset ja taloudelliset tekijät määrittelevät voimalaitoksen lopullisen sijainnin.

#### 4.3.1.2 Maavarainen teräsbetoniperustus

Maavaraista teräsbetoniperustusta voidaan käyttää, mikäli tuulivoimalan perustamispaikan maaperä on rakenteeltaan riittävän kantavaa kestääkseen tuulivoimalan aiheuttaman kuormituksen ilman painumista kaikissa kuormitusolosuhteissa. Maaperäisen teräsbetoniperustuksen soveltaminen tuulivoimalan perustusratkaisuna on mahdollista, jos maaperä on riittävän kantavaa. Soveltuvia maaperiä ovat esimerkiksi erilaiset moreenit ja luonnonsora. Maavarainen teräsbetoniperustus toteutetaan poistamalla maa-ainesta 3 – 4 metriä, jonka jälkeen kaivannon pohjalle levitetään ohut

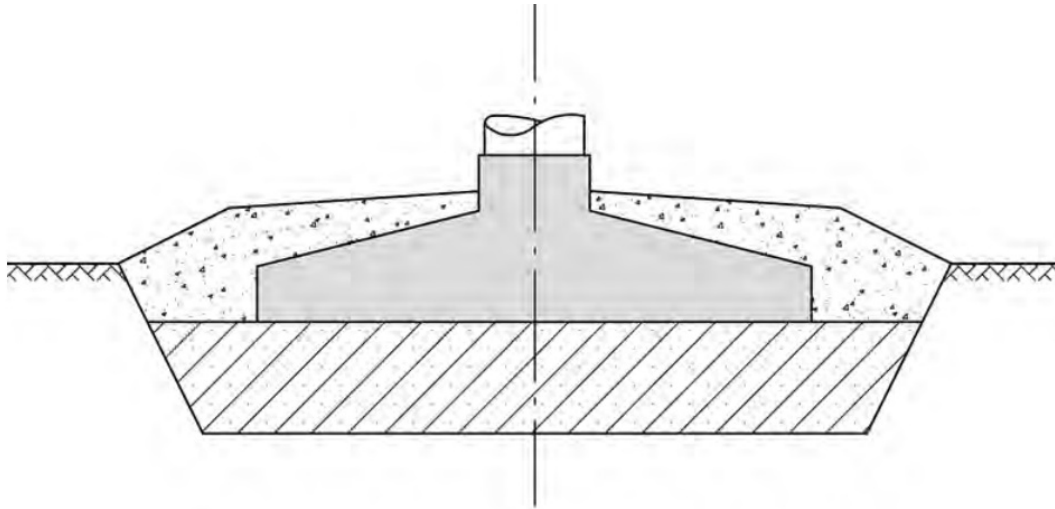
rakenteellinen soratäyttö, jonka päälle teräsbetoni-laatta valetaan muottiin. Tämän jälkeen valettu perustus peitetään maa-aineksella. Maavaraisen teräsbetoniperustuksen koko riippuu turbiinitoimittajan asettamista vaatimuksista ja on halkaisijaltaan yleensä noin 20–25 metriä ja korkeudeltaan 1–3 metriä. (EPV Tuulivoima 2011:42 ; Lapin vesitutkimus Oy 2011:12)



Kuva 4: Maavarainen teräsbetoniperustus (EPV tuulivoima 2011:43)

#### 4.3.1.3 Teräsbetoniperustus ja massanvaihto

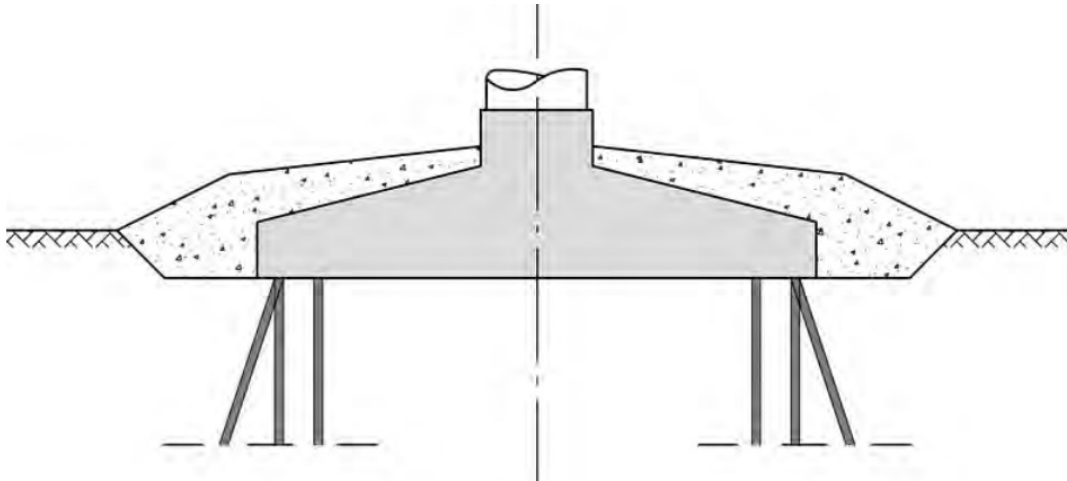
Mikäli maaperän kantavuus ei ole riittävää tavanomaisen maavaraisen teräsbetoniperustuksen rakentamiseen, valitaan perusratkaisuksi teräsbetoniperustus massanvaihdolla. Tällaisissa tapauksissa maa-ainesta poistetaan sellainen määrä, että löyhät pintamaakerrokset saadaan pois ja saavutetaan riittävän tiiviit ja kantavat maakerrokset. Yleensä kaivussyvyys tällaisissa tapauksissa on noin 5–8 metriä. Kaivun jälkeen kaivanto täytetään karkearakeisilla ja painumattomilla materiaaleilla, yleensä soralla ja murskeella, jotka tiivistetään kerroksittain riittävän kantavuuden saavuttamiseksi. Täytön jälkeen rakennetaan teräsbetoniperustukset, kuten maavaraisessakin teräsbetoniperustuksissa. ( EPV Tuulivoima 2011:42 )



Kuva 5: Teräsbetoniperustus massanvaihdolla (EPV tuulivoima 2011:43)

#### 4.3.1.4 Teräsbetoniperustus paalujen varassa

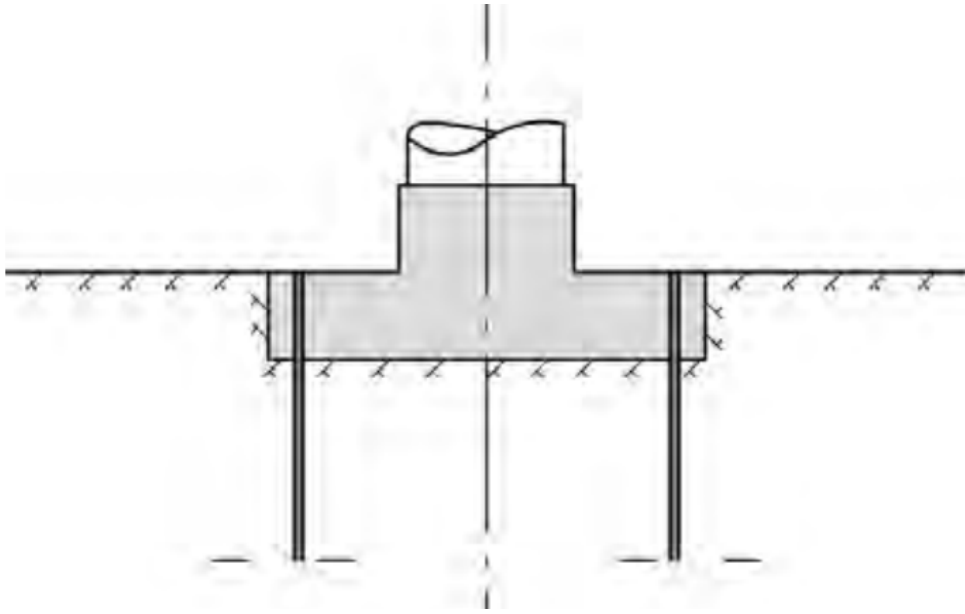
Mikäli tuulivoimalan rakennusalueen maaperän on lajiltaan sellaista että kantavat maakerrokset sijaitsevat niin syvällä, ettei massanvaihto ole teknisesti ja taloudellisesti kannattavaa tai mahdollista, voidaan teräsbetoniperustus tukea paalutuksella kantaviin maakerrokseen. Paalujen varaan rakennettaessa poistetaan orgaaninen maakerros ja soratasoituserroksen päältä asennetaan paalutus niin syvälle, että kantavat maakerrokset saavutetaan. Paalutuksen koko ja paalujen tyyppi riippuvat maaperän rakenteesta. Maaperätutkimuksen tulosten perusteella voidaan selvittää, millainen paalutus vaaditaan riittävän kantavuuden saavuttamiseksi. Kuitenkin useimmissa tapauksissa vaadittava paalutus on järeää, ja vaatii järeää kalustoa toteutukseen. Kun paalutustyöt on suoritettu, valmistellaan paalujen päät, jotka yhdistetään mursketäytön päälle rakennettavaan teräsbetoniperustukseen. Joissain tapauksissa teräsbetoniperustuksen koko voi olla pienempi kuin maavaraissa teräsbetoniperustuksessa, mikäli paalutuksella on kyetty aikaansaamaan riittävän tukeva ja kantava perustusratkaisu. ( EPV Tuulivoima 2011:42 )



Kuva 6: Paalutettu teräsbetoniperustus (EPV tuulivoima 2011:43)

#### 4.3.1.5 Kallioankkuroitu teräsbetoniperustus

Tuulivoimalan rakennuspaikan sijaitessa paikassa, jossa kalliopinta on näkyvässä tai lähellä maanpintaa, voidaan teräsbetoniperustus ankkuroida kallioon. Tällaisissa tapauksissa kallioon louhitaan varaus teräsbetoniperustukselle, ja ankkurointia varten kallioon porataan tuulivoimalan koosta ja arvioidusta kuormasta riippuen riittävän syvät reiät teräsankkureita varten. Kun ankkurointi on suoritettu, valetaan louhittuun kalliovaraukseen teräsbetoniperustus, jonka koko on yleisesti pienempi kuin muissa perustusmuodoissa. ( EPV Tuulivoima 2011:42 )



Kuva 7: Kallioon ankkuroitu teräsbetoniperustus (EPV tuulivoima 2011:43)

#### 4.3.2 Tuulivoimalan torni

Tuulivoimalan tornin tehtävänä on saada tuulivoimalan roottori sellaiselle korkeustasolle, jolla tuulen voimakkuus ja tasaisuus on energiantuotannon kannalta optimaalisella tasolla. Tornin korkeuteen vaikuttavat paikalliset tuuliolosuhteet, voimalan koko, sekä maantieteelliset tekijät. Merkittävän rajoitteen tuulivoimalan korkeudelle aiheuttaa myös pystyttämisen aiheuttamat rajoitukset, sillä voimalan roottorin ja nasellin nostaminen tornin huippuun on niiden koosta johtuen haastavaa ja vaatii erityiskalustoa nostotyön suorittamiseksi. Rakennuskustannuksiltaan tuulivoimalan torni on yksittäisenä komponenttina arvokkain ja sen osuus tuulivoimalan rakennuskustannuksista on noin 12 % (Burton ym. 2011:334).

Tornin on myös kyettävä kestämään sille aiheutuvat kuormitukset. Tornin kokonaiskuormitus koostuu aerodynaamisen ja maan painovoimasta aiheutuvien kuormitusten ohella myös liikkuvien komponenttien aiheuttamista hitaudesta (inertia) sekä käytön aiheuttamista kuormituksista. (Burton ym. 2011:194–195)

#### 4.3.2.1 Teräsrakenteinen putkitorni (Tubular tower)

Putkitornit ovat yleisimmin käytetty tornien muoto tuulivoimaloissa. Putkitornit rakennetaan yleisimmin teräksestä, joka on kestävä ja rakennusmateriaalin käytön kannalta edullista. Putkitornien perusmuoto on ylöspäin kapeneva kartio, jonka tyviosa on paksumpi ja yläosa kapeampi. Tällä tavalla saavutetaan rakenne, joka kestää siihen kohdistuvan kuormituksen. Teräsrakenteinen putkitorni voi olla joko vapaasti seisova tai harustettu.



Kuva 8: Vapaasti seisova teräspuutkirakenteinen tuulivoimala (Winwind)



Kuva 9: Harustettu putkitorni Vaasassa. (Norja 2012)

#### 4.3.2.2 Betonirakenteinen torni

Putkitorni voidaan valmistaa myös kokonaan teräsbetonista, jolloin saavutetaan erittäin tukeva rakenne. Perusmuodoltaan teräsbetonitorni vastaa teräsrakenteista putkitornia. Teräsbetonirakenteinen torni mahdollistaa tuulivoimalalle pitkän käyttöiän, mutta rakentamisvaiheen kustannukset ja haasteet eivät ole tehneet siitä kovinkaan yleistä.



Kuva 10: Betonirakenteinen torni. (Lance Cheung)

#### 4.3.2.3 Hybridirakenteinen putkitorni

Hybridirakenteinen putkitorni koostuu kahdesta eri rakennusmateriaalista siten, että tornin tyviosa on teräsbetonia, ja yläosa teräsrakennetta. Eri komponenttien suhde vaihtelee eri tuulivoimaloissa.

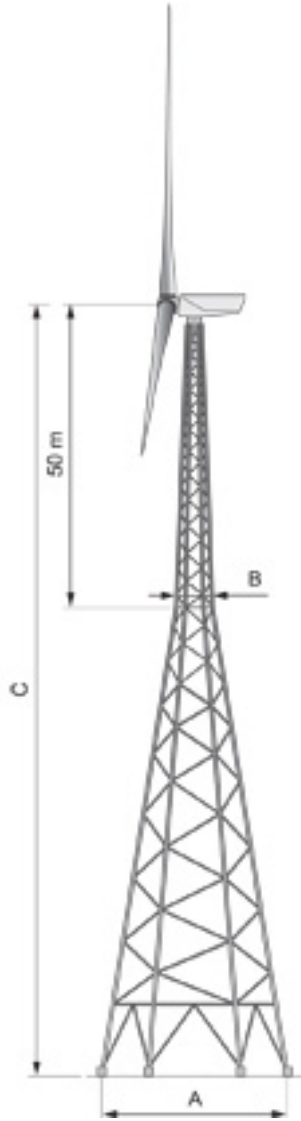


Kuva 11: hybriditorni (<http://raduvoinescu.wordpress.com/tag/turbine/>)

#### 4.3.2.4 Ristikkotorni

Ristikkotorni aiheuttaa putkitornia pienemmän tuulivarjon, mikä on tuulivoimalan tehon ja lapoihin kohdistuvan kuorman kannalta edullista. Ristikkotorni vaatii putkitornia suuremman maa-alan, sillä tyviosan leveys on suurempi. Kustannuksiltaan ristikkotorni on putkitornia edullisempi ja se on mahdollista kuljettaa pienemmissä osissa kohdealueelle. Lisäksi ristikkorakenteisen tornin rakennusmateriaali on helpompaa pintakäsitellä

teollisesti sekä voimalan elinkaaren lopussa materiaalin kierrättäminen on putkitornia helpompaa.



Kuva 12: Ristikkorakenteinen torni: (Ruukki Oyj)

#### 4.3.3 Konehuone

Tuulivoimalan konehuone, eli naselli, sijaitsee voimalaitoksen tornin huipulla tehtävänänsä suojata säävaikutuksilta sen sisältämää laitteistoa. Konehuoneessa sijaitsevat voimalan generaattori ja vaihteisto sekä säätö- ja ohjausjärjestelmä. Säätö ja ohjausjärjestelmä käsittää jarrujärjestelmän, ohjaukseen ja ylläpitoon

tarvittavat hydraulikka- ja jäähdytysjärjestelmät sekä tuulen nopeuden ja suunnan mittausjärjestelmät. (EPV Tuulivoima 2011:39)

Konehuoneen rakenne voi koostua joko erillisistä komponenteista tai se voi olla osittain tai kokonaan integroitu rakenne. Integroidussa rakenteessa vaihteisto ja generaattori kantavat osan roottorin kuormasta. Integroitua rakennetta käytettäessä saavutetaan säästöä konehuoneen massassa, mutta menetetään mahdollisuus vaihtaa tiettyjä koneiston osia, esimerkiksi vaihteistoa, laskematta konehuonetta tai turbiinia alas. (Lehtonen & Vihriälä 2003:162–163)

#### 4.3.4 Roottori

Roottori koostuu roottorin navasta ja komposiittivalmisteisista lavoista. Roottorin napa sisältää säätölaitteiston, jolla lapojen lapakulmaa voidaan. Lapakulmaa muuttamalla voidaan optimoida energiantuotto erilaisissa tuuliolosuhteissa. Lapakulman muuttaminen tapahtuu yleisimmin hydraulisesti joko siten että vipuvarsien avulla yksi hydraulisylinteri kääntää kaikkia lapoja yhdenaikaisesti tai niin että jokaiselle lavalle on oma hydraulinen ohjausjärjestelmä. Toinen käytetty järjestelmä lapakulman muuttamiseen perustuu sähkömoottoreihin ja niihin liitettyihin hammaspyöräjärjestelmiin, joiden avulla lapakulmaa muutetaan. (Burton ym. 2011:351–353)

Roottorin lapojen rakennusaineena käytetään useimmiten lasikuitua, jonka sidosaineena käytetään nykyisin useimmiten epoksihartsia. Myös hiilikuitua voidaan käyttää osana komposiittirakennetta, jolloin lavan massaa saadaan pienennettyä. Lavat valmistetaan latomalla lasikuitumatot siiven puolikkaan muottiin, jonka jälkeen muotti alipaineistetaan ja muotin lämpötila saatetaan kovettumisreaktion onnistumisen kannalta optimaaliselle tasolle. Lapojen kokoonpano tapahtuu liimaamalla ja samalla niihin kiinnitetään tarvittavat tuki ja kiinnitysrakenteet. (Lehtonen J, Vihriälä H., Aurinkosähkö ja tuulivoima, 2003:160)

#### 4.4 Sähköverkon vaatimukset ja rakenne

Tuulivoimaloiden liittäminen valtakunnalliseen sähköverkkoon tapahtuu liittymispisteen kautta. Järjestelmätekniset vaatimukset perustuvat pohjoismaiseen Nordic Grid Code –säännöstyön, jossa on määritelty yhteiset toimintaperiaatteet, jotka koskevat pohjoismaisia järjestelmävastaavia sekä pohjoismaiseen voimajärjestelmään liitettyjä voimalaitoksia. Sääntelyn tarkoituksena on varmistaa pohjoismaisen voimajärjestelmän turvallinen käyttö ja luotettavuus. (Fingrid 2011:2)

Tuulivoimapuiston yhteyteen perustetaan useimmiten oma sähköasema, jonka kautta liitäntä valtakunnalliseen sähköverkkoon rakennetaan. Suomen kantaverkkoa hallinnoivan Fingridin suositusten mukaan yli 250MW tuulivoimapuistot tulee liittää 400kV kantaverkkoon ja 100–250 MW tuulivoimapuistot joko 400kV, 220kV tai 110kV sähköverkkoon. Alle 100MW tuulivoimapuistot voidaan pääsääntöisesti liittää 110kV sähköverkkoon. (Fingrid 2010:3, Suomen tuulivoimayhdistys: tuulivoimaopas)

Fingrid asettaa myös voimalaitoksille järjestelmäteknisiä vaatimuksia, jotka tulee ottaa huomioon voimalaitoksia ja tuulivoimapuistoja suunniteltaessa. Fingridin voimalaitosten järjestelmäteknisissä vaatimuksissa (VJV2007) määritellään, millä tavoin voimaloiden on täytettävä ehdot. (Fingrid 2011:2–4)

Tuulivoimalla tuotetun sähköenergian määrä ei ole täysin vakaata johtuen tuulenopeuden vaihteluista. Säätosähkön tarve 2000MW tuulivoimalle on Fingridin arvion mukaan noin 300–350MW. Tuulienergian tuntivaihtelu on keskimäärin  $\pm 5\text{--}10\%$  asennetusta tehosta ja vaihtelua tasoittaa tuulivoiman maantieteellinen hajauttaminen. Tuulivoiman keskittyminen yhdelle alueelle, esimerkiksi Perämerelle, lisää säätosähkön tarvetta. (Fingrid, VTT 2008:2–3).

Tuulivoimapuiston sijaitessa etäällä valtakunnallisesta sähköverkosta voidaan tuulivoimapuisto liittää sähköverkkoon myös käyttäen suurjännitteistä tasavirtatekniikkaa (High Voltage Direct Current, HVDC). Tasavirtatekniikan

käytön suurin etu perinteiseen vaihtovirtatekniikkaan verrattuna on pienemmät energiahäviöt. Tasavirtatekniikan käyttö edellyttää muuntolaitteistoa, jolla vaihtovirta muunnetaan tasavirraksi mikä taas lisää kustannuksia. Suurjännitteisen tasavirtatekniikan käyttö on edullista, mikäli etäisyydet ovat pitkiä. Ilmakaapeliyhteyksissä kannattava etäisyys on noin 600km ja merikaapeliyhteyksissä noin 50km.(Farret & Simões 2006:315, ABB 2013)

#### 4.5 Muut rakennukset

Riippuen alueelle rakennettavien tuulivoimaloiden lukumäärästä rakennetaan tuulivoimaloiden läheisyyteen yleensä yksi tai useampia huolto- ja laitesuojarakennuksia. Suurien tuulivoimapuistojen yhteyteen saatetaan myös perustaa muita erillisiä rakennuksia, joihin on keskitetty tuulivoimaloiden ylläpitoon tarvittavien toimien kannalta merkittäviä toimitiloja sekä muita tiloja joita voidaan käyttää muun muassa tuulivoimapuiston esittelyyn.

Riippuen voimalan rakenteesta voi osa tuulivoimalan sähkönsyöttöön liittyvistä laitteista sijaita myös erillään itse voimalaitoksesta, jolloin jokaisen tuulivoimalan yhteyteen perustetaan rakennus jossa kyseisen tuulivoimalan sähkönsyöttöön ja sähkön taajuushallintaan liittyvät laitteet sijaitsevat.

#### 4.6 Tuulivoimalan rakentamisen logistiikka

##### 4.6.1 Kuljetukset

Rakennettaessa tuulivoimalaa maalle voimalan eri peruskomponenttien kuljetukset tapahtuvat yleensä aina rekka-autolla sekä erityiskuljetusalustoilla. Torni, konehuone ja roottorin lavat kulkevat erikseen rakennusalueelle, jossa varsinainen loppukokoonpano suoritetaan. Kuljetuksen kannalta kriittisimpiä

osia ovat torni ja voimalaitoksen lavat niiden suuren pituutensa vuoksi sekä tuulivoimalan konehuone johtuen sen suuresta massasta.

Nykyaikaisten tuulivoimaloiden lapojen pituus on usein yli 50 metriä eikä niitä ole mahdollista toimittaa useammasta osasta koostuvana rakenteena. Tornin korkeus moderneissa tuulivoimaloissa on keskimäärin kaksi kertaa niin pitkä kuin on kyseisen voimalaitoksen lapojen pituus. Riippuen tornin tyypistä (putki-, hybridi- tai ristikkorakenne) ja valmistusmenetelmästä vaihtelevat tornin osien pituus ja massa tapauskohtaisesti. Konehuoneen suuri massa asettaa myös omat haasteensa kuljetustyölle, sillä nykyaikaisten tuulivoimaloiden konehuoneen massa on useita satoja tonneja. Esimerkiksi Mervento Oy:n Vaasaan pystyttämän Mervento 3.6-118 tuulivoimalan konehuoneen massa on 250 tonnia (The Wind Power 2012). (Motiva 1999:106)

Tiestöön kohdistuvat vaatimukset esittävät voimalaitostoimittajat tarjouksissaan. Vaatimukset koskevat teiden, siltojen ja mahdollisten lauttojen ja lossien kantavuutta ja leveyttä sekä mutkien kaarresäteitä ja teiden jyrkkyyksiä. Useissa tapauksissa olemassa olevaan tiestöön on tehtävä muutoksia kuljetusten onnistumiseksi. Näitä muutoksia ovat teiden tasoittaminen, vahvistaminen ja oikominen sekä puuston raivaaminen teiden varsilta. (Motiva 1999:106)

Maansiirtotöiden osuus kuljetuksista vaihtelee merkittävästi myös riippuen tarvittavien maa-ainesten ja erilaisten kalliomurskeiden saatavuudesta alueellisesti. Tuulivoimaloiden yleensä asutuskeskuksiin nähden etäisestä sijainnista johtuen joudutaan eri maanrakennukseen tarvittavia kuljettamaan hyvinkin suurten etäisyyksien päästä. Muun muassa tuulivoimalan perustusten vaatimat betonityöt edellyttävät tietyn laatuksen hiekan käyttöä, jonka saatavuus saattaa aiheuttaa pitkiäkin kuljetusmatkoja.

Tuulivoimalan varsinaisen rakennusvaiheen ollessa koko projektin keston nähden varsin lyhyt, ja useimmiten kun koko tuulivoimapuisto pyritään rakentamaan lähes yhtäaikaisesti, sitoo rakennusprojekti hetkellisesti useita

maa-aineksen kuljetusyksiköitä toimimaan rakennusprojektissa, mikä taas työllistää tuo paikallisille kuljetusyrityksille mahdollisuuden merkittäviinkin kuljetussopimuksiin.



Kuva 13: Winwind tuulivoimalan nasellin kuljetus Uljabuoudassa ( Winwind)

#### 4.6.2 Pystyttäminen

Voimalaitoksen pystytysmenetelmä riippuu voimalaitoksen koosta ja tyypistä. Yleisin käytetty menetelmä on osittainen kokoonpano nostureilla, jossa osat kiinnitetään toisiinsa pystytyksen yhteydessä. Tuulivoimalan osien suuresta koosta ja massasta johtuen nosturityö on rakennushankkeen kriittisin vaihe. Koska voimalan pystyttämiseen vaaditaan yleensä kaksi erityisen suurta nosturia, asettavat pelkästään nostureiden paikalle saanti erityisiä haasteita rakennusalueen tiestölle. Lisäksi nostureiden vaatima alue voimalaitoksen ympäristössä on oltava riittävän suuri ja kantavuudeltaan riittävä. Nostotyön asettamat haasteet on kyettävä ottamaan huomioon jo voimalaitoksen sijoituspaikkaa valittaessa. Nosturityö on myös erittäin kallista ja johtuen

tuulivoimalapystytykseen soveltuvien nostureiden vähäisestä lukumäärästä aikataulutuksen tulee olla tarkkaa, sillä nosturin seisottaminen rakennuspaikalla useita päiviä aiheuttaa merkittäviä turhia kustannuksia. Säällä on merkittävä osa nosturityön onnistumisessa, sillä nosturityön onnistuminen vaatii suhteellisen tyynen sään, jonka on pysyttävä muuttumattomana koko nostotyön ajan ettei kokoamistyötä tarvitse säätilan muuttumisen vuoksi keskeyttää. (Motiva 1999:106–107)



Kuva 14: Roottorin asennus tuulivoimalaan Kemissä (Winwind)

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuulivoimalla tuotetun sähköenergian määrän kasvu on merkittävässä roolissa niin kansallisella, kuin myös Euroopan unionin tasolla asetettuihin energia ja ympäristönsuojelullisiin tavoitteisiin pääsemiseksi. Tavoitteiden täyttymisen edellytyksenä on kasvattaa uusiutuvan energian osuutta kaikesta tuotetusta energiasta ja samalla vähentää ilmakehään haitallisesti vaikuttavia kasvihuonekaasupäästöjä. Tuulivoima on osoittautunut nykyisten teknologioiden aikakautena kokonaistaloudellisesti kannattavimmaksi tavaksi saavuttaa Suomelle asetetut tavoitteet annettuun määräaikaan mennessä.

Tuulivoiman aiheuttamat vaikutukset alueen ympäristöön ovat suurimmilta osin maiseman muuttumiseen liittyviä vaikutuksia. Tutkimusten perusteella tuulivoimaloiden vaikutukset alueen linnustoon ja eläimistöön eivät ole merkittäviä. Tuulivoimalan käyttöikä on yleensä noin 20–40 vuotta, jonka jälkeen tuulivoimala joko uusitaan tai puretaan. Tuulivoimalan rakentaminen ei yleensä aiheuta pysyviä muutoksia alueen ympäristöön, ja mikäli tuulivoimala päätetään purkaa on alueen ennallistaminen hyvinkin yksinkertaista ja edullista.

Tuulivoimalla tuotetun energian kokonaiskustannuksista suurin osa liittyy tuulivoimatuotannon suunnitteluun ja voimalan rakentamiseen. Suurin yksittäinen kustannuserä on tuulivoimalan turbiini, jonka osuus rakennuskustannuksista on noin 64 % (IRENA 2012:18). Toiseksi merkittävin kustannuserä aiheutuu perustusten rakentamisesta. Perustusten rakentamiseen liittyvät kustannukset vaihtelevat riippuen siitä millaiselle maapohjalle voimala on tarkoitus rakentaa. Keskimääräisesti perustusten osuus rakennuskustannuksista on noin 6,5 – 16 % laskentatavasta riippuen (EWEA 2009:9, IRENA 2012:18). Maanmuokkaustöitä tarvitaan myös tiestön rakentamiseen alueelle sekä sähköverkon rakentamiseen tuulivoimaloiden liittämiseksi sähköverkkoon. Tuulivoimaloiden yksittäisten komponenttien suuri fyysinen koko ja massa aiheuttavat omat erityisvaatimuksensa teiden rakentamiselle. Tuulivoimalan kolmanneksi merkittävin eriteltävissä oleva

kuluerä koostuu sähköverkkoliitännän rakentamisesta, jonka suuruus vaihtelee sen perusteella, millä etäisyydellä liityntäpiste kantaverkkoon on, ja aiheuttaako alueen maasto ja kaavoitus rakentamiselle erityisvaatimuksia.

Tuulivoimaloiden keskimääräinen koko ja teho ovat kasvaneet jatkuvasti ja tyypillinen Suomeen maalle rakennettava tuulivoimala on teholtaan yli 3,5MW (tuulivoimayhdistys 2013). Tuulivoimaloiden koon kasvaminen on energiantuotantokustannusten kannalta edullista ja kannattavaa. Tuulivoiman rakennushankkeita oli lokakuun 2012 loppuun mennessä Suomessa käynnissä 8900MW edestä (Suomen tuulivoimayhdistys, tuulivoimahankkeet).

Tuulivoimaan perustuvan sähköenergiatuotannon perustamisaika on nykyisellään yli kuusi vuotta. Suurin osa tästä ajasta kuluu lupa- ja kaavoitusprosessiin, jonka osuus perustamisajasta on eri vaiheineen jopa viisi vuotta, jonka jälkeen on vasta mahdollista tehdä lopullisia investointipäätöksiä koskien tuulivoimaloiden hankkimista suunnitellulle alueelle. Viranomaisten yhteistyöllä sekä ennakoivalla suunnittelulla erityisesti kaavoituksen osa-alueilla lupa- ja kaavoitusprosessia sekä koko rakennushankkeeseen käytettävää aikaa on mahdollista lyhentää.

Tuulivoimarakentamisen työllistävä vaikutus on merkittävää tuulivoimaprojektin rakennusvaiheessa. Tuulivoiman rakennusprojekti voi hetkellisesti lisätä työvoiman tarvetta alueellisesti useilla sadoilla, mutta varsinaisen rakennusprojektin lyhyestä kestosta johtuen työllisyys alueella ei pysyvästi lisäännä merkittävästi. Työvoimaa tarvitaan kuitenkin ylläpito- ja huoltotehtäviin noin 0,4 henkilöä jokaista asennettua megawattia kohden. Tuulivoimaloiden huoltotoimenpiteet sekä asennustyöt edellyttävät henkilöstöltä erityisosaamista mikä taas lisää tarvetta tarjota kyseisiin toimiin tähtäävän koulutuksen määrää.

## LÄHTEET

ABB Oy (2013), *Mikä HVDC on?*. [siteerattu 26.3.2013] Saatavana World Wide Webistä:

<URL:<http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/edde51566582e2dbc1257291003ef780.aspx>>

Burton, Tony, Nick Jenkins, David Sharpe & Ervin Bossanyi (2011) *Wind energy handbook*. 2. Painos. West Sussex:Wiley. 742p. ISBN 978-0-470-69975-1

Fingrid Oyj (2010) *Tuulivoimapuiston liittäminen kantaverkkoon, Fingrid Oyj:n ohjeet ja vaatimukset*. 10p. [siteerattu 1.3.2013] Saatavana World Wide Webistä:

<URL:[http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/tuulipuiston\\_liittaminen.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/tuulipuiston_liittaminen.pdf)>

Fingrid Oyj (2011) *Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset tuulivoimalaitosprojektin yhteydessä*. 20p.[siteerattu 1.3.2013] Saatavana World Wide Webistä:

<URL:[http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/2011-12-21\\_fingridin\\_vjv2007\\_tuulivoimalaitosprojektissa.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/2011-12-21_fingridin_vjv2007_tuulivoimalaitosprojektissa.pdf)>

Fingrid Oyj (2011) *Tuulivoimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset*. 19p. [siteerattu 1.3.2013] Saatavana World Wide Webistä:

<URL:[http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/vjv2007\\_liite\\_2\\_-\\_tuulivoimalaitosten\\_jarjestelmatekniset\\_vaatimukset.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/vjv2007_liite_2_-_tuulivoimalaitosten_jarjestelmatekniset_vaatimukset.pdf)>

Farret Felix A., M. Godoy Simões (2006) *Integration of alternative sources of energy*. Hoboken:John Wiley & Sons. 471p. ISBN 978-0-471-71232-9

European Wind Energy Association (2011) *Wind in power, 2010 European statistics*. 11p. Saatavana World Wide Webistä: <URL:

[http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA\\_Annual\\_Statistics\\_2010.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA_Annual_Statistics_2010.pdf)>

European Wind Energy Association EWEA (2009) *The Economics of Wind Energy*. 155p. Saatavana World Wide Webistä <URL: [http://www.windenergie.nl/sites/windenergie.nl/files/documents/the\\_economics\\_of\\_windenergy\\_ewea.pdf](http://www.windenergie.nl/sites/windenergie.nl/files/documents/the_economics_of_windenergy_ewea.pdf)>

EPV Tuulivoima Oy, Ramboll Finland Oy (2011) *Teuvan tuulivoimapuisto , ympäristövaikutusten arviointiselostus*. 170p. Saatavana World Wide Webistä:  
<URL: [http://www.epvtuulivoima.fi/Dokumentit/Yhti%C3%B6t/Tuulivoima%202010/Hankkeet/Teuva\\_YVA-selostus\\_netti.pdf](http://www.epvtuulivoima.fi/Dokumentit/Yhti%C3%B6t/Tuulivoima%202010/Hankkeet/Teuva_YVA-selostus_netti.pdf)>

International Renewable Energy Agency (2012) *Renewable energy technologies: cost analysis series Volume 1 Power Sector, issue 5/5 Wind Power*. 56p. Saatavana World Wide Webistä: <URL: [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE\\_Technologies\\_Cost\\_Analysis-WIND\\_POWER.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf)>

Khaligh Alireza, Onar Omer C. (2010) *Energy harvesting : solar, wind and ocean energy conversion systems*. Boca Raton: CRC Press. 350p. ISBN 978-1-4398-1508-3

Koistinen, Jarmo (2004) *Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset*. Suomen ympäristö 721. Helsinki: Ympäristöministeriö. 42p. ISBN 952-11-1809-1

Lapin Vesitutkimus Oy, Metsähallitus, Fortum Power and Heat Oy (2011) *Joukhaiselän ja Tuore Kulvakkoselän Tuulipuistohanke, Ympäristövaikutusten arviointiohjelma Sodankylä ja Kittilä*. 52p. Saatavana World Wide Webistä <URL: <http://www.laatumaa.com/sivustot/Laatumaa/fi/tuulivoima/Documents/Joukhaiselk%C3%A4%20YVA-ohjelma.pdf>>

Lindell Ismo (2009) *Sähkön pitkä historia*. Otatieto sarja. Gaudeamus. 454p. ISBN 978-951-672-358-0

Manwell, James F., Jon G. McGovan & Anthony L. Rogers (2009) *Wind energy explained: theory, design and application*. 2. Painos. West Sussex:Wiley. 689p. ISBN 978-0-470-01500-1

Motivan julkaisuja 5/1999, Energia-Ekono (1999) *Tuulivoiman projektiopas*. 1. Painos. Helsinki:Motiva. 137p. ISBN 952-5304-04-3

Mäkipelto Tomi (2010) *The Competitive Priorities Affecting Energy Production Investments – Wind Power in Finland as a Special Issue*. Acta Wasaensia 231. 154p. ISBN 978-952-476-321-9

Ramboll Finland Oy, Hertteli Petri, Jouni Laitinen, Jutta Piispanen (2011) *Selvitys ilmailun asettamien rajoitusten vaikutuksesta tuulivoimahankkeiden toteuttamismahdollisuuksiin*. 33p. Saatavana World Wide Webistä: <URL: [http://energia.fi/sites/default/files/selvitys\\_lentopaikkojen\\_aiheuttamista\\_rajoituksista\\_tuulivoimalle.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/selvitys_lentopaikkojen_aiheuttamista_rajoituksista_tuulivoimalle.pdf)>

Sinclair Knight Merz PLC, Nahn Angella, David Cotterill, James Keating (2012) *Economic impact assessment of Oaklands Hill and Macarthur wind farms*. Rev D. 84p. Saatavana World Wide Webistä <URL: <http://www.agl.com.au/Downloads/SB19477AGLFinalReport.pdf>>

Suomen Tuulivoimayhdistys Ry (2013) *Tuulivoimalaitokset Suomessa*. [siteerattu 26.3.2013] Saatavana World Wide Webistä: <URL:<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoimalaitokset>>

Suomen Tuulivoimayhdistys Ry (2013) *Tuulivoimahankkeet*. [siteerattu 26.3.2013] Saatavana World Wide Webistä: <URL:<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/hankkeet>>

Suomen Tuulivoimayhdistys Ry *Tuulivoimatieto: Miksi tuulivoimaa?* [siteerattu 22.7.2012] Saatavana World Wide Webistä: <URL: [http://www.tuulivoimatieto.fi/miksi\\_tuulivoimaa](http://www.tuulivoimatieto.fi/miksi_tuulivoimaa)>

Suomen Tuuliatlas (2012) *Tuulisuus Suomessa*. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/>>

Tuulivoimaopas (2012) *Tuulisuus ei yksin ratkaise sijoituspaikkaa*. [siteerattu 22.8.2012] Saatavana World Wide Webistä <URL:[http://www.tuulivoimaopas.fi/yleista\\_tuulivoimasta/voimalan\\_sijoittaminen](http://www.tuulivoimaopas.fi/yleista_tuulivoimasta/voimalan_sijoittaminen)>

Työ- ja elinkeinoministeriö, Ilmatieteen laitos, Motiva Oy (2010) *Suomen Tuuliatlas: yhteenvetoraportti*. Helsinki. 32p. Saatavana World Wide Webistä: <URL: [www.tuuliatlas.fi/linked/fi/Tuuliatlas\\_yhteenvetoraportti.pdf](http://www.tuuliatlas.fi/linked/fi/Tuuliatlas_yhteenvetoraportti.pdf)>

Työ- ja elinkeinoministeriö (2012) *Energia*. [siteerattu 22.10.2012] Saatavana World Wide Webistä <URL: <http://www.tem.fi/index.phtml?s=2070>>

Työ- ja elinkeinoministeriö (2013) *Kansallinen energia- ja ilmastostrategia*. 55p. Edita publishing Oy. ISBN 978-952-227-750-3. Saatavana World Wide Webistä: <URL:[http://www.tem.fi/files/36266/Energia\\_ja\\_ilmastostrategia\\_nettiljulkaisu\\_suomenkielinen.pdf](http://www.tem.fi/files/36266/Energia_ja_ilmastostrategia_nettiljulkaisu_suomenkielinen.pdf)>

VTT, Anders Stenberg & Hannele Holttinen (2011) *Tuulivoiman tuotantotilastot vuosiraportti 2010*. VTT Working papers 178. 51p. ISBN 978-951-38-7520-6 Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W178.pdf>>

Wizelius Tore (2007) *Developing Wind Power Projects: theory and practice*. Lontoo:Earthscan. 290p. ISBN 978-1-84407-262-0

Ympäristöministeriö (2002) *Ympäristölainsäädännön soveltaminen tuulivoimarakentamisessa. Työryhmän mietintö.* Helsinki:Ympäristöministeriö. 62p. ISBN 952-11-1247-6

Ympäristöministeriö (2012) *Ympäristöhallinnon ohjeita 4 2012: Tuulivoimarakentamisen suunnittelu.* Helsinki. 92p. ISBN 978-952-11-4060-0  
 Saatavana World Wide Webistä: <URL:  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=138870&lan=fi>>

Energiateollisuus (2012) *Energiavuosi 2011, sähkö.* Microsoft Powerpoint- esitys 19.1.2012

The Wind Power, Wind turbines and wind farms database (2012) *Mervento 3.6-118.* [siteerattu 20.6.2012] Saatavana World Wide Webistä:  
 <URL:[http://www.thewindpower.net/turbine\\_technical\\_en\\_763\\_mervento\\_3.6-118.php](http://www.thewindpower.net/turbine_technical_en_763_mervento_3.6-118.php)>

Vauhkonen Timo (2012) haastattelu koskien tutkielman rakennetta ja sisältöä

Lait ja asetukset

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Maankäyttö- ja rakennusasetus 10.9.1999/895

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 10.6.1994/468

Ilmailulaki 22.12.2009/1194

Kuvat ja kaaviot

Kuva 1 : Tuulen nopeuden kuukausikeskiarvojen vaihtelu eräillä ilmatieteen laitoksen sääasemilla. (Suomen tuuliatlas: Tuulisuus Suomessa <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html#>)

Kuva 2: Käynnissä olevat tuulivoimahankkeet Suomessa lokakuussa 2012 (Suomen Tuulivoimayhdistys , Google maps)

Kuva 3: Tuulivoimalan perusrakenne (Timo Hallila 2013)

Kuva 4: Maavarainen teräsbetoniperustus (EPV tuulivoima 2011:43)

Kuva 5: Teräsbetoniperustus massanvaihdolla (EPV tuulivoima 2011:43)

Kuva 6: Paalutettu teräsbetoniperustus (EPV tuulivoima 2011:43)

Kuva 7: Kallioon ankkuroitu teräsbetoniperustus (EPV tuulivoima 2011:43)

Kuva 8: Vapaasti seisova teräspuutkirakenteinen tuulivoimala (Winwind, <http://www.winwind.com/media-images.aspx>)

Kuva 9: Harustettu putkitorni Vaasassa. (Lauri Norja 2012)

Kuva 10: Betonirakenteinen torni. (Lance Cheung, <http://www.flickr.com/photos/lancecheungmedia/3718985998/>)

Kuva 11: hybriditorni (<http://raduvoinescu.wordpress.com/tag/turbine/>)

Kuva 12: Ristikkorakenteinen torni: (Ruukki oyj, <http://www.ruukki.com/Products-and-solutions/Infrastructure-solutions/Wind-towers>)

Kuva 13: Winwind tuulivoimalan nasellin kuljetus Uljabuoudassa ( Winwind, Winwind kuvakokoelma)

Kuva 14: Roottorin asennus tuulivoimalaan Kemissä (Winwind, Winwind kuvakokoelma)

Kaavio 1: Sähkön hankinnan aikavaihtelu vuonna 2011 viikkokeskiteho. (Energiateollisuus 2012: Energiavuosi 2011, sähkö.)

Kaavio 2: Teollisuuden sähkönkulutus kuukausittain 2010 ja 2011. (Energiateollisuus ry 2012: Energiavuosi 2011, sähkö)

Kaavio 3 :Tyypillisen 2MW tuulivoimalan kustannusrakenne (EWEA 2009:9)