

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Energiatekniikka / Automaatio- ja prosessitekniikka

Salla Mikkonen

TUULIVOIMALAITOSHANKKEEN VAIHEET

Opinnäytetyö 2014

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Energiatekniikka

MIKKONEN, SALLA

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Toukokuu 2014

Avainsanat

Tuulivoimalaitoshankkeen vaiheet

58 sivua + 1 liitesivu

Pt. tuntiopettaja, Hannu Sarvelainen

Projekti-insinööri, Hannu Suortti

Kotkan Energia Oy/Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

tuulivoima, uusiutuva energia, voimalaitoshanke, selvitys

Työn tarkoituksena on laatia ohjeistus tuulivoimarakentamisesta kiinnostuneille sekä kertoa yleisesti tuulivoimasta. Tuulivoimarakentamiseen ja tuulivoimaloiden koko sijoitusprosessiin kuuluu monia vaiheita, jotka usein kohdistuvat päällekkäin.

Prosessin hahmottaminen voi olla vaikeaa, joten työn tarkoituksena on laatia selkeä ohje jokaisesta prosessin vaiheesta ja niihin kuuluvista selvityksistä.

Työ jakautuu yleisen tiedon osioon ja hankeosioon. Yleisen tiedon osiossa selvitetään perusasioita tuulesta ja tuulivoimasta, tuulivoimalatyypeistä sekä tuulivoimalan rakenteesta. Työn pääpaino on hankeosiossa, jossa lähdetään liikkeelle ideasta ja päädytään hankkeen toteuttamiseen ja tuulivoimalan käyttöönottoon. Ideasta syntyy hankkeen esiselvitystyö, jossa selvitetään, mitä tuulivoimahankkeen aloittaminen vaatii ja edellyttää. Alueen kaavoitus ja lupamenettelyissä selvitetään hankkeeseen vaikuttavat kaavat ja vaadittavat luvat. Tuulivoimatuotannon rakentaminen vaatii monenlaisia lupia, joiden edellytyksiä on syytä tarkentaa ja selvittää. Hankkeen toteutuksessa selvennetään konkreettisia toimia hankkeen sijoitusalueella, maanrakentamisesta loppumittauksiin.

Tuulivoimalaitoshankkeen suunnittelussa on tärkeintä esiselvitystyö, sillä se ratkaisee kannattaako hanketta jatkaa. Ohje on perusrunko tuulivoimalaitoshankkeen toteuttamiseen.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Technology

MIKKONEN, SALLA

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

May 2014

Keywords

Wind power plant process phases

58 pages + 1 pages of appendices

Hannu Sarvelainen, Lecturer

Hannu Suortti, Project engineer

Kotkan Energia Oy/ Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

wind energy, wind power plants, wind power plants projects, renewable energy

The object of the thesis was to prepare instruction of a wind farm and generally describe wind power. The whole placement process of a wind farm contains many phases which usually overlap. It may be difficult to conceive the whole process, so the purpose of this study was to draft a conducting survey and make an explicit instruction about each phase of the process.

The study was divided into the general knowledge part and the project part. In the general knowledge part, we clarify essentials about wind, wind power, wind power plant types and also about structure of the wind power plant. The project part starts with an idea about constructing a wind farm and ends with implementing and commissioning a wind farm. The project idea includes project feasibility study where the main object was to study what it takes to build a wind farm. The location area planning and permission procedure included a research of what effects the plans and permissions possessed in the project. The project requires many different permissions which' prerequisites are strictly determined. The project implementation clarified concrete operations in placement area of the wind farm's from earthmoving to ending measurements.

In planning of a wind power plant project the most important part is the feasibility study, because it determines; is the project worth to be continued. Instructions are main part when carrying out a wind power plant project.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	KOTKA ENERGIA OY	7
3	TUULIVOIMALAITOKSET	8
	3.1 Tuuli ja tuulivoima	8
	3.2 Tuulivoimalatyypit	11
	3.2.1 Pystyakseliset tuuliturbiinit	13
	3.2.2 Vaaka-akseliset tuuliturbiinit	14
	3.3 Rakenne ja toiminta	15
	3.4 Tuuliluokat	17
4	TUULIVOIMALAHANKKEEN ESISELVITYS	18
	4.1 Sijoitusalueen valinta	19
	4.2 Maanhankinta	20
	4.3 Alustavat neuvottelut verkon haltijan ja sähkön ostajan kanssa	21
	4.4 Tuulivoiman tuet ja syöttötariffijärjestelmä	22
	4.5 Tuulimittaukset	22
	4.6 Ympäristövaikutukset	26
	4.7 Ympäristövaikutusten arviointi	27
	4.8 Tutkavaikutukset	29
	4.9 Lopulliset neuvottelut verkonhaltijan ja sähkönostajan kanssa	30
	4.10 Laskelmia	31
5	ALUEEN KAAVOITUS	32
	5.1 Sijaintialueen kaavoituksen periaatteita	32
	5.2 Kaavoitus	32
	5.3 Maakuntakaava	33

5.4	Yleiskaava	33
5.5	Asemakaava	34
5.6	Suunnittelutarveratkaisu	34
5.7	Kaavamuutokset	35
5.8	Maankäytön suunnittelua	35
6	TUULIVOIMAN RAKENTAMISEEN VAADITTAVAT LUVAT	37
6.1	Lupien hakeminen	38
6.2	Poikkeaminen	39
6.3	Milloin tarvitaan vesilupaa?	41
6.4	Milloin tarvitaan ympäristölupaa?	42
7	HANKKEEN TOTEUTUS	43
7.1	Maanrakennus	43
7.2	Turbiinien tilaaminen	45
7.3	Sähköverkkoliitännät ja kaapelointi	45
7.4	Pystytys	45
7.5	Käyttöönotto testaus	46
7.6	Rahoitus	46
7.7	Tiedottaminen	47
7.8	Vakuuttaminen	48
7.9	Takuu & huolto	48
7.10	Loppumittaukset	49
8	YHTEENVETO	50

## LIITTEET

Liite 1. Tuulivoimalan sijoitusprosessi

## 1 JOHDANTO

Tuulivoima on uusiutuvaa ja ehtymätön energiavara. Tuulivoimaa pyritään lisäämään koko ajan Suomessa EU:n laatimien päästörajoitusten myötä. Tällä hetkellä Suomeen on rakennettu noin 200 MW:n verran tuulivoimaa. Uusiutuvien energioiden lisääminen tuli aiheelliseksi, kun maailmalla herättiin perinteisten, fossiilisten energialähteiden rajallisuuteen, niiden ehtymiseen ja päästö-ongelmiin. Tuulen, kuten muidenkin uusiutuvien energialähteiden tarkoituksena on luoda kestävä pohja energiantuotannon jatkuvuudelle.

Opinnäytetyön tarkoituksena on laatia ohje tuulivoimarakentamisesta ja tuulivoimaloiden sijoittamisesta. Ohjeessa selvitetään tuulivoimaloiden sijoittaminen vaihe vaiheelta, vaikka käytännössä monet asiat joudutaan hoitamaan päällekkäin. Aiemmin tuulivoimarakentamisesta ja sijoittamisesta ei ole ollut yhtenäistä tietolähdettä, joten opinnäytetyöni koostaa erilähteistä tuulivoiman sijoittamiseen tarvittavia selvityksiä, lupia ja kaavoituksia, muun muassa Kotka Energia Oy:n tarpeisiin.

Sijoitusprosessi etenee esiselvityksestä aina loppumittauksiin ja voimalan käyttöönottotestauksiin. Esiselvityksen tarkoituksena on arvioida ympäristövaikutuksia ja muita rakentamisesta aiheutuvia vaikutuksia ja löytää sopiva sijoituspaikka tuulimittauksien avulla. Alueen kaavoittaminen on koettu yleisesti ongelmalliseksi, joten opinnäytetyössä selvennetään kaavatasojen eroja ja riittävyttä. Työssä selvitetään myös tuulivoimarakentamiseen vaadittavia lupia ja niiden käsittelyä. Hankkeen toteutuksessa perehdytään yleispiirteisesti maanrakentamiseen, turbiinien tilaamiseen ja voimaloiden pystyttämiseen sekä vakuutus-, rahoitus- ja tiedottamisasioihin. Tärkeänä osana hankkeen toteutusta ovat myös loppumittaukset sekä käyttöönottotestaus.

## 2 KOTKA ENERGIA OY

Kotkan Energia Oy on suurin Kotkan seudulla toimiva energialaitos, joka vastaa koko alueella energian tuotannosta sekä yritys- ja kaukolämpöpalveluista. Kotkan Energia Oy:n päätuotteita ovat kaukolämpö Kotkan seudun asukkaille sekä teollisuudelle, että teollisuussähkön ja –höyryn tuotanto sekä maakaasun myynti teollisuuden tarpeisiin ja jätteiden hyödyntäminen hyötyvoimalaitoksella. (1.)

Kotkan Energia Oy:n yhtenä visiona vuodelle 2015 on:

”Olemme johtava uusiutuvan energian ja jätteiden hyödyntäjä suurten kaupunkien energiayhtiöiden joukossa, yhdessä paikallisen teollisuuden kanssa.” –vuosikertomus 2011 (2.)

Kotkan Energia Oy:llä on useita tuotantolaitoksia, joista suurimmat ovat Hovinsaaren voimalaitos sekä Korkeakosken hyötyvoimalaitos. Muita pienempiä tuotantolaitoksia ympäri Kotkaa ovat Vaasan Oy:n lämpökattila, Suomen Rehun lämpökeskus, kaukolämpökeskukset ja -pumppaamot sekä tuulivoimalat. (1.)

Kotkan alue on merellisen sijaintinsa vuoksi hyvin otollinen tuulivoiman käyttöön. Kotkan Energia Oy:lla onkin yksi vanha 1 MW:n tuulivoimala sekä joulukuussa 2013 käyttöön otetut kaksi uutta E-92 2,35 MW:n voimalaa, jotka sijaitsevat Mussalon satama-alueella. Lisäksi suunnitteilla on yksi vastaavan kokoinen merituulivoimala Kotkan edustalle. Nämä uudet tuulivoimalat ovat suunniteltu mataliin tuuliin soveltuvaksi ja niiden napakorkeudet ovat 98 m ja roottorin halkaisijat 92 m. (3.)

Kotka Energia Oy:n mukaan joulukuussa 2013 käyttöön otettujen uusien tuulivoimaloiden on arvioitu tuottavan noin 17 000 MWh vuodessa, mikä vastaisi noin 950 omakotitalon vuosikulutusta. Kahden tuulivoimalan ja sähköaseman kokonaisinvestointi on noin 8 miljoonaa euroa.(3.)

### 3 TUULIVOIMALAITOKSET

Tässä luvussa tarkastellaan yleisesti tuulta, mistä se syntyy, sekä tuulivoimatuotannon rakennetta ja toimintaa. Lisäksi tarkastellaan tuulivoimalatyyppejä, niiden heikkouksia ja hyviä puolia, mutta pääpaino on vaaka-akselisissa, kolmilapaisissa tuuliturbiineissa.

#### 3.1 Tuuli ja tuulivoima

Kaikkien uusiutuvien energioiden ja luonnonvarojen taustalla on aurinko. Aurinko tuottaa maapallolle säteilyenergiaa, jonka tehon suuruus on ilmakehän ulkorajalla noin  $1\,370\text{ W/m}^2$ . Maapallolle tulevasta säteilyenergiasta noin kolme prosenttia muuttuu liike-energiaksi eli tuuleksi. (4.)

Tuulilla tarkoitetaan yleisesti maanpinnan suuntaisia ilmamassojen liikkeitä, jotka muodostuvat paine-erojen tasoittumisesta. Tuuli syntyy, kun ilmakehä pyrkii pitämään lämpötasapainon maapallolla. Lämpötilaerot syntyvät, kun aurinko lämmittää maapallon pintaa epätasaisesti, niin että päiväntasaajan alue saa enemmän säteilyenergiaa kuin napa-alueet ja tästä syystä syntyy maanpinnalle paine-eroja. Maanpinnan epätasainen lämpeneminen johtuu siitä, että auringon säteilyenergia joutuu kulkemaan maan ilmakehässä pidemmän matkan napa-alueilla, joten siellä säteily- ja lämmitysteho pienenee. Siksi maapallo toimii lämpöpumpun lailla, joka pyrkii liikuttelemaan meri- ja ilmavirtoja niin, että pohjoisilta- ja eteläisiltä napa-alueilta virtaa kylmiä ilmavirtoja päiväntasaajan seutujen kuumille alueille ja lämpövirtoja siirtyy takaisin kylmille napa-alueille. Tuulten osuus lämmön siirrosta maapallolla on noin 70 %. (5.)

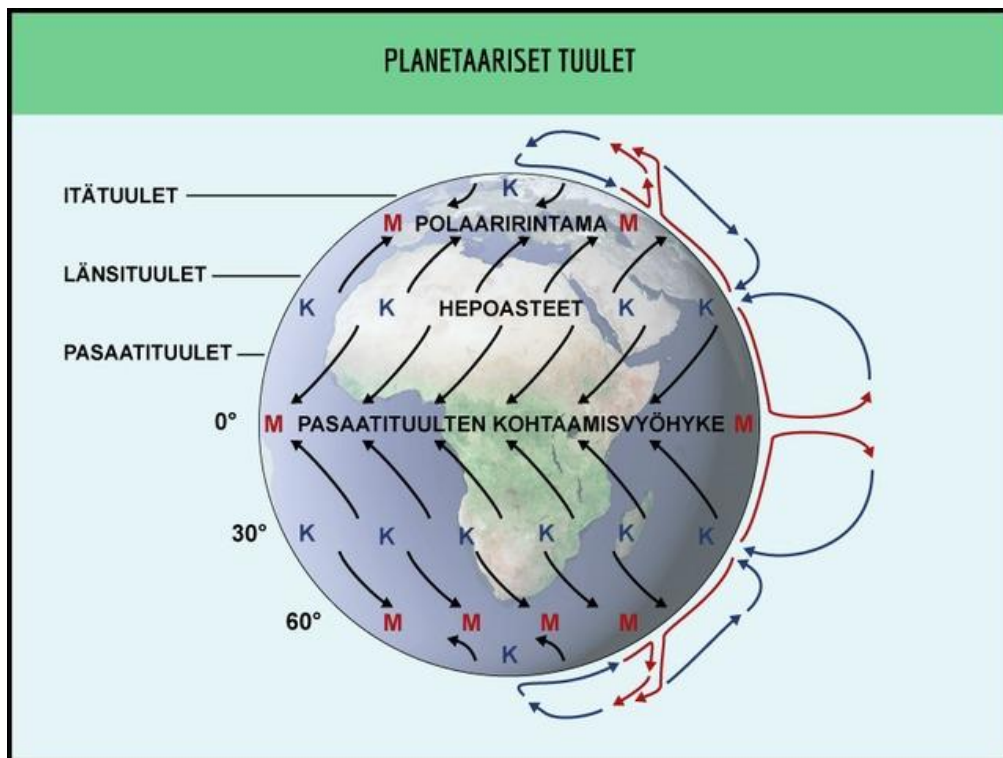
Maapallolla vaikuttaa kolme eri tuulivyöhykettä. Nämä ovat napa-alueilta päiväntasaajalle järjestyksessä lueteltuna: itätuulten vyöhykkeet, länsituulten vyöhykkeet ja trooppiset pasaatituulet eli koillis-pasaati pohjoisella- ja kaakkois-pasaati eteläisellä pallonpuolella. Nämä planetaariset ilmanpaine- ja tuulivyöhykkeet liikkuvat auringon zeniittiaseman mukaan ja vaikuttavat vuodenaikojen vaihteluun sekä sade- ja kuviin kausiin. (5.)

Päiväntasaajan alue saa runsaasti enemmän aurinkoenergiaa, joten kevyempi lämmin ilma nousee ylöspäin ilmakehässä muodostaen päiväntasaajan matalapaineen. Yläilmakehässä lämpötila putoaa ja ilmavirtaus jäähtyy. Kuvan 1. mukaisesti



ilmamassavirtaukset kääntyvät pohjoisen- ja etelän suuntiin. Maapallon kääntöpiirien kohdilla kylmä ja raskas ilmavirtaus palaa takaisin maanpinnalle muodostaen siihen korkeapaineen alueen eli ”hepoasteiden korkeat”. Kylmät ilmavirtaukset suuntaavat takaisin kohti kuumaa päiväntasaajan matalapaineen aluetta. (5.)

Maapallon pyöriminen vaikuttaa tuuliin. Tätä ilmiötä kutsutaan Coriolis-ilmiöksi ja tämä kääntää trooppisia pasaatituulia pohjoisella pallonpuoliskolla tuulen kulkusuuntaan nähden oikealle ja eteläisellä pallonpuoliskolla vasemmalle. (5.)



Kuva 1. Tuulivyöhykkeet (6.)

Kääntöpiirien korkeapainealueilta lämmin ilma virtaa länsituulina kohti napa-alueita ja vastaavasti napa-alueiden kylmyyden aiheuttamalta pysyvältä korkeapaineenalueelta kylmät ilmavirrat virtaavat itätuulina kohti polaaririntamaa. Polaaririntamassa napa-alueiden kylmät ja kuivat ilmavirrat törmäävät lämpimiin ja kosteisiin trooppisiin ilmavirtoihin, noin 60 leveyspiirin tienoilla. Tästä törmäyksestä syntyvät niin sanotut liikkuvat matalapaineet eli syklonit. (5.); (7.)

Tuulesta syntyy tuulivoima, joka on uusiutuvaa energiaa. Se on ikivanha ja loputon energianlähde, eikä sen valjastamiseen tuuliturbiineilla tarvita polttoainetta. Polttoaine vapaasta tuotannosta ei synny lainkaan päästöjä luontoon. Tuulivoiman tarkoituksena

on tuulen liike-energian hyödyntäminen ja sen muuttaminen turbiinin akselin pyörimisliikkeeksi ja sitä kautta generaattorissa sähköksi. (9.)

Tuulivoimalan tuottaman energian määrä riippuu oleellisesti voimalan lapojen pyörähdyspinta-alan tuulenopeudesta ja nopeuden jakaumasta. Tuulen keskimääräinen nopeus kasvaa korkeammalle mentäessä, sillä maan pinnalla tuulee heikommin maan aiheuttaman kitkan vuoksi. Tämän vuoksi tuulivoimalan maston korkeutta kasvattamalla voidaan hyödyntää suurempia tuulen nopeuksia. (17.)

Huhtinen, Korhonen, Pimiä sekä Urpalainen kirjassaan voimalaitostekniikka ovat todenneet, että tuulivoimalaitos itsessään pystyy tuottamaan takaisin kaiken sen rakentamiseen, kuljettamiseen ja pystytykseen tarvittavan energian noin kolmesta yhdeksään kuukauteen. Lisäksi luonnonvarojen kuluttaminen on vähäistä, sillä lähes kaikki tuulivoimalaan käytettävät materiaalit voidaan uusiokäyttää. (10.)

Tuulivoimarakentamisessa on merkittäviä ympäristövaikutuksia, kuten maisemalliset, kasvillisuuteen ja eläimistöön vaikuttavat sekä turvallisuus- ja elinkeinovaikutukset. Ympäristövaikutusten laajuus riippuu täysin sijainnista ja ympäristön käytöstä. (11.)

Ympäristövaikutusten lisäksi on syytä ottaa huomioon tuulivoimarakentamisessa myös tutkavaikutukset ja muut puolustusvoimien toimet, erilaiset luvat, kuten lentoesteluvat, vesilupa, rakennuslupa sekä kaavoitukset, tuulisuus sekä linnustovaikutukset. Tuulivoimaloiden on todettu aiheuttavan häiriötä etenkin ilmavalvonnalle, koska tuulivoimalat edustavat tutkille suuria kohteita. (12.)

Merkittävänä erityispiirteenä tuulivoimatuotannossa on sen ajallinen vaihtelu. Tuulivoimalla tuotetun sähkön tuotanto vaihtelee tuulisuuden mukaan, päivittäin ja tunneittain. Tämän takia sähköverkon vakaus pitää varmistaa säätämällä muiden voimalaitoksien tehoja. Tämän voi ajatella joko negatiivisena puolena, mutta myös positiivisena, sillä tuulivoima lisää sähköntoimitusvarmuutta. Tulevaisuuden älykkäät sähköverkot voivat mahdollistaa tuulivoiman osuuden lisäämisen uusiutuvien energioiden tuotannon joukossa. (9.)

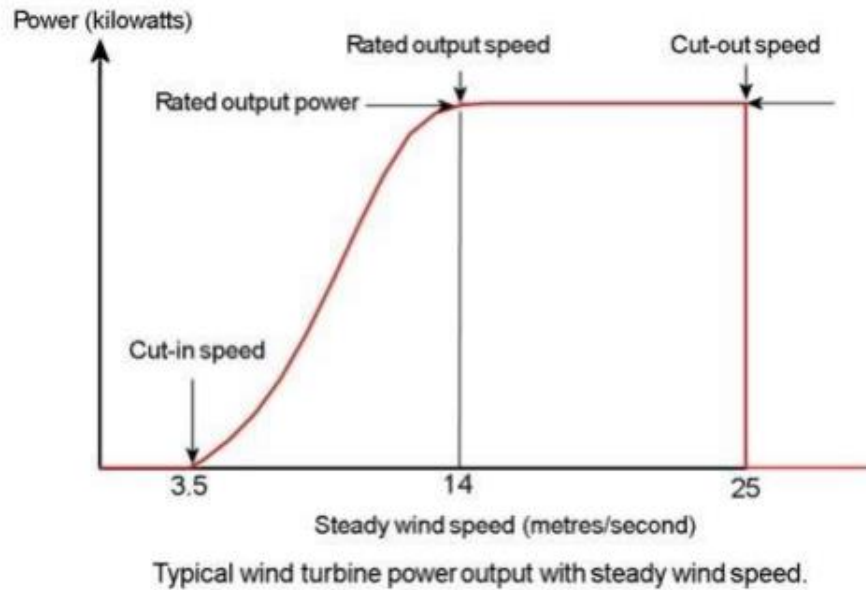
### 3.2 Tuulivoimalatyypit

Tuulivoimalatyyppejä on erilaisia, mutta selkein tapa on jakaa ne pystyakselisiin tai vaaka-akselisiin tuulivoimaloihin sekä yksi-, kaksi-, kolmi- tai monilapaisiin. Lisäksi voimme jaotella tuulivoimalat niiden toiminta- tai säätötavan mukaan. (13.)

Ennen vanhaan, kun tuulimyllyillä kuivatettiin viljaa tai jauhettiin jauhoja, tuulimyllyjen neljän lavan pyöriminen perustui tuulesta aiheutuvaan painevoimaan, mutta nykyään lavat ovat niin muotoiltuja, että roottorin saa liikkeelle tuulen nostevoima. (13.)

Nykyiset tuulivoimalat eivät pysty hyödyntämään tuulen koko nopeusalueita, sillä voimalaitoksilla on ominaiskäynnistymis- ja pysäytystuulennopeudet. Isot MW-luokan voimalaitokset käynnistyvät yleensä 3 - 4 metriä sekunnissa olevasta tuulen nopeudesta ja pysähtyvät viimeistään 25 m/s nopeudesta. Tuulen ollessa noin 12 - 25 m/s tuuliturbiini tuottaa nimellistehonsa suuruisen tehon. Alle käynnistymistuulennopeuden ja yli pysähtymistuulennopeuden laitokset ovat pysähdyksissä eivätkä tuota mitään. (10.); (13.)

Kuvassa 2 esitetään tuulen nopeus ja tyypillisen tuuliturbiinin käynnistymis- ja pysähtymistuulennopeudet.



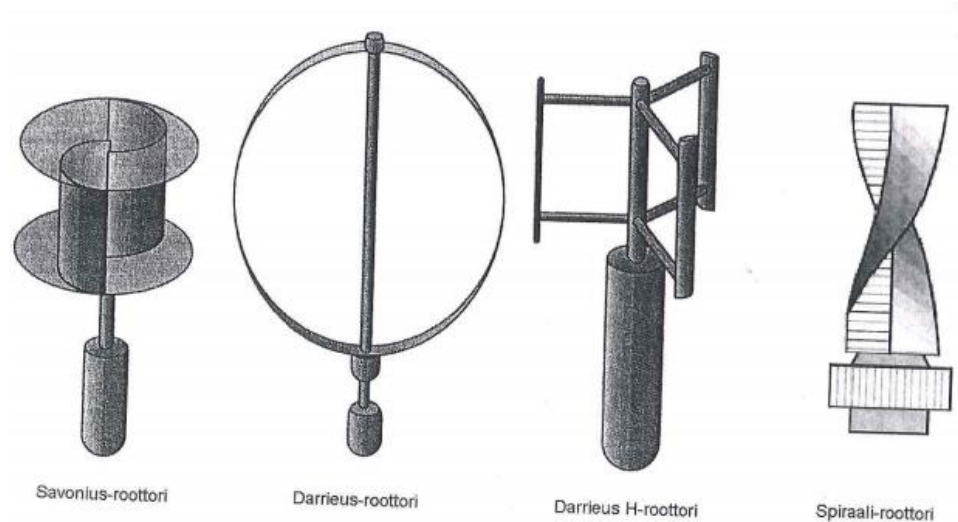
Kuva 2. Ominaispyörimisnopeudet (14.)

Nykyään sähköntuotannossa käytetään eniten pitkälti automatisoituja ja etä-ohjattuja kolmilapaisia, potkurimallisia laitoksia, koska nämä ovat tehokkaimpia suhteessa kustannuksiin. Useampi lapaiset turbiinit maksavat aina enemmän eivätkä kykene tuottamaan suhteessa enempää tehoa kuin kolmilapaisetkaan. Yksi- ja kaksilapaiset turbiinit perustuvat vastapaineeseen ja ovat siten heikkoja ja aiheuttavat epätasapainoista pyörimistä. Se kohdistaa rakenteisiin suuria haitallisia voimia, etenkin koneistoa rasittavaa tärinää. (15.); (10.)

Kiinteistöjen katoille tai mökkikäyttöön soveltuvat hyvin pienet kaksi- tai kolmilapaiset vaaka-akseliset turbiinit tai pystyakseliset mallit, kuten Savonius-turbiini, joka on suunniteltu Suomessa. (10.)

### 3.2.1 Pysty akseliset tuuliturbiinit

Kuvassa 3. on esitelty erilaisia pysty akselisiä tuuliturbiineja, joita ovat kuppuroottori, Savonius-roottori, spiraaliroottori sekä Darrieus-roottori. (10.)



Kuva 3. Pysty akselisiä tuuliturbiineja (10.)

Näiden pysty akselisten tuuliroottoreiden eli tuuliturbiinien etuja ovat hyvä hyötysuhde ja riippumattomuus tuulen suunnasta. Lisäksi ne soveltuvat myös turbulenttiseen ja puuskittaiseen tuuleen, joten niiden sijoitusmahdollisuudet ovat paremmat kuin vaakamallien. Pystymallinen tuuliturbiini ei vaadi erillistä tuulen suuntausta, sillä ne toimivat yhtäläillä kaikilla tuulen suunnilla. (16.)

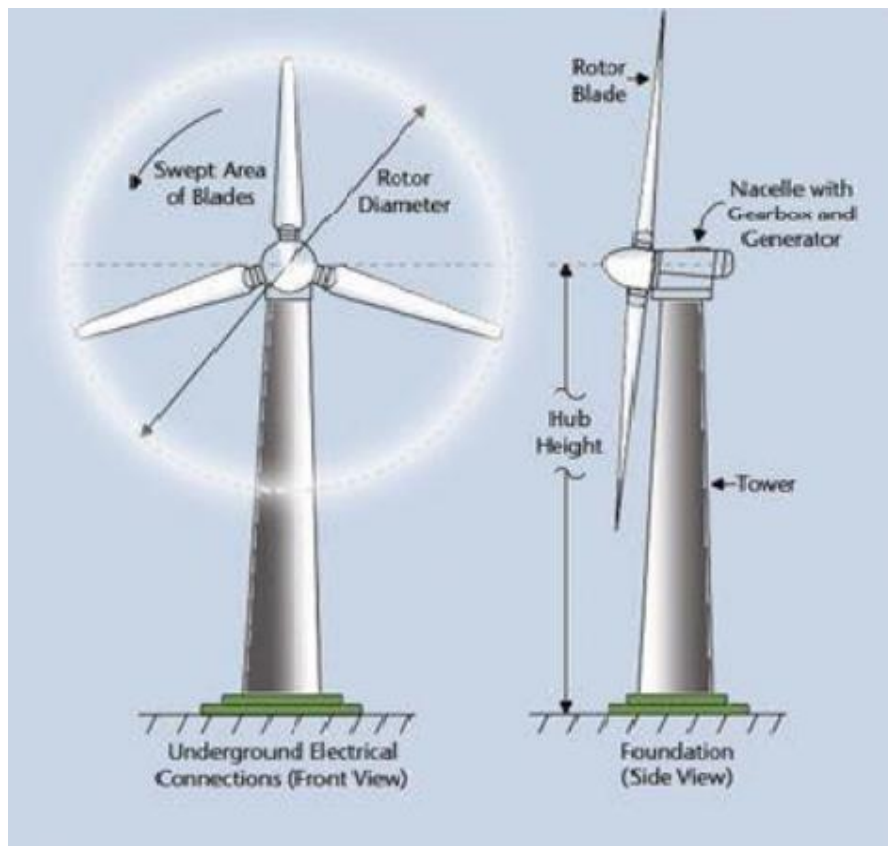
Savonius-roottori on suomalainen keksintö. Se on suunniteltu arktisiin olosuhteisiin, muun muassa tutkimusasemille. Savonius on kuitenkin melko harvinainen korkean hintansa vuoksi. Savoniuksen ongelmana on nykivä käynti ja roottorin asennosta riippuvainen käynnistysmomentti. (10.)

Spiraaliroottorit ovat usein Savonius-roottoreita, jotka ovat vain kierremallisia. Näissä roottoreissa ei ole käyntiinlähtö ongelmia, koska tuuli osuu lapoihin mistä suunnasta hyvänsä. Darrieus-roottorista ei ole enää kaupallisia sovelluksia, sillä ne osoittautuvat mekaanisesti epäluotettaviksi ja tarvitsivat aina alkuvauhdin käynnistykseen. (10.)

### 3.2.2 Vaaka-akseliset tuuliturbiinit

Vaaka-akseliset tuulivoimalat, eli potkurimalliset laitokset, ovat suurimmaksi osaksi syrjäyttäneet muut laitostyytit tuulivoimantuotannossa. Muilla tuuliturbiinityypeillä ei ole juurikaan merkitystä kaupallisessa sähköntuotannossa. (10.)

Potkurimallisissa turbiineissa potkurin pyörimisen peittämä pinta-ala on suurempi lapojen pinta-alaan nähden. Kuvassa 4 esitetään kuinka vaaka-akselisen tuuliturbiinin tuottama teho on suoraan verrannollinen sen lapojen pyyhkäisyypinta-alaan. (14.) Eli mitä suurempi tuulivoimalan pyyhkäisyypinta-ala on, sitä suuremman tehon tuulivoimala tuottaa. Tuulivoimalan pyyhkäisyypinta-alalla tarkoitetaan sitä aluetta, jonka lavat pyöriessään muodostavat.



Kuva 4. Lajojen pyörähdyspinta-alan suhde tuotettuun tehoon (14.)

Vaakamallisilla tuulivoimaloilla saavutetaan korkeampi hyötysuhde laajemmalla tuulennopeuden alueella kuin pystymallisilla, sillä näissä käytetään roottorin kääntöjärjestelmää, minkä tehtävä on huolehtia, että roottori on jatkuvasti oikeassa suunnassa, suunnattuna tuulta vasten. (10.)

Haittana vaaka-akselisissa tuuliturbiineissa on potkurin, konehuoneen ja generaattorin sijainti. Ne sijaitsevat noin sadan metrin korkeudessa, tornin huipulla, jossa tuulen nopeus on huomattavasti suurempi kuin maanpinnalla. (10.)

### 3.3 Rakenne ja toiminta

Tuulivoimaloita on monia erityyppisiä ja –mallisia, joten selvyuden kannalta käsittelem vain yleisimmin käytetyn tuulivoimalatyypin eli kolmilapaisen, vaaka-akselisen voimalan rakennetta ja toimintaa.

Tuulivoimalan pääkomponentteja ovat roottori, konehuone eli naselli, joka sisältää vaihteet ja generaattorin, torni tai masto ja perustukset. (18.)



Kuva 5. Tuulivoimalan rakenne (18.)

Tuulivoimalan roottorilla tarkoitetaan napaa ja siihen kiinnitettyjä lapoja eli siipiä. Roottorin tarkoituksena on pyörittää konehuoneessa sijaitsevaa generaattoria, joka

muuttaa pyörimisenergian sähköksi. Nykyään pyritään mahdollisimman tehokkaasti käyttämään koko tuulen potentiaali hyödyksi, joten sitä varten siipien on oltava säädettäviä sekä mahdollisimman kevyitä ja herkästi pyöriviä. Siipiin kohdistuvien suurien rasitusten vuoksi siipien materiaaleina käytetään useimmiten komposiittimateriaaleja, joihin yhdistetään lasikuitua, polyesteriä tai epoksia. (18.)

Konehuone, jota kutsutaan myös naselliksi, on tuulivoimalan sydän. Siellä on pääosa koko tuulivoimalan tekniikasta. Nasellissa sijaitsee vaihdelaatikko, generaattori, jarrut sekä säätö- ja ohjausjärjestelmä. Vaihteiston tehtävänä on muuttaa roottorin matalat kierrosnopeudet, jotka ovat noin luokkaa 10 - 40 rpm eli kierrosta per minuutti, generaattorille sopivalle nopeudelle, eli noin 1 000-1 500 rpm. Lisäksi on olemassa myös suoravetoisia generaattoreita, joissa ei ole vaihteistoa, mikä tarkoittaa parempaa hyötysuhdetta ja luotettavuutta sekä pienempää huollon tarvetta. Suoravetoisissa generaattoreissa vaihteiston pois jättämisen takia akseli on suoraan kiinni generaattorissa, jolloin huollon tarve pienenee kun vaihteistoa ei ole. (18.)

Hallintajärjestelmän tehtävänä on valvoa tuulivoimalan toimintaa, muun muassa jarruja, joiden tarkoituksena on pysäyttää lapojen pyöriminen kovassa tuulella, niin ettei voimalaitos pääse riistäytymään käsistä. Hallintajärjestelmä siis vastaanottaa tuulen nopeus- ja suuntatietoja, ja vastaa siten turbiinin käynnistämisestä, pysäyttämistä ja kääntää sen oikeaan suuntaan. (18.)

Tuulivoimala pystyy toimimaan, jos roottori on käännetty tuulen suuntaan. Suuntaus tapahtuu tuulen suunta-antureiden ja säätölaitteiden avulla. Ne ovat liitettynä erillisiin moottoreihin, jotka kääntävät turbiinin oikeaan suuntaan. (18.)

Perustuksilla on hyvin tärkeä rooli, sillä niiden täytyy kantatella tuulivoimalan ja tornin paino sekä kestää tuulen aiheuttama vaakasuuntainen rasitus. Perustuksen rakentamisvaiheessa on syytä huomioida maaperän ominaisuudet, sillä rasitukset ovat suuret ja maan on kestävä ne. Betonisen perustuksen päälle rakennetaan sokkeli, johon tuulivoimalan torni voidaan pystyttää. Jos haluamme tuottaa sähköä valtakunnanverkkoon, on perustuksen juurelle rakennettava vielä liitännät sähköverkkoon. (18.)

Tuulivoimalan torni on yleensä valmistettu teräksestä, ja sen korkeus vaihtelee noin 80 – 140 m. Teräs valmistusmateriaalina kestää tuulesta aiheutuvan rasituksen ja on



kuljetuksen kannalta parempi materiaali, sillä tornit valmistetaan ja kuljetetaan yleensä pituutensa vuoksi useassa osassa ja kootaan vasta asennuspaikalla. Tornin korkeus vaikuttaa voimalan toimintaan. Saimaa Gardens services:n esittämän arvioin mukaan maston korkeutta kasvattamalla kaksinkertaiseksi, kasvaa tuulen nopeus kymmenen prosenttia ja odotettu sähköntuotanto 35 %. (18.); (19.)

### 3.4 Tuuliluokat

Tuuliluokat ovat tuuliturbiinien suunnittelun lähtökohtana ja niiden tarkoituksena on määrittellä millainen tuuliturbiini on sopiva tietylle alueelle. (72.)

IEC standardi määrittää tuulille kolme tuuliluokkaa.

I = 10 m/s

II = 8,5 m/s

III = 7,5 m/s

S = paikan päällä mitattu tuulisuusmittauksella. (14.)

Luokan yksi tuuliturbiinit ovat suunniteltu koville tuuliolosuhteille (avomeriturbiinit), ja ovat yleisesti suurimpia kooltaan ja tehoiltaan. (14.)

Luokan kaksi tuuliturbiinit ovat suunniteltu keskisuurille tuulille ja luokan kolme turbiinit ovat suunniteltu alhaisille tuuliolosuhteille. Yleisesti suurin osa Suomen rannikolla nähtävistä tuulivoimaloista on luokan kolme tuulivoimaloita. (14.)

Turbiinit ovat samanlaisia kaikissa tuuliluokissa mutta ne on suunniteltu vain erilaisille tuulille, tämä tarkoittaa, että turbiinin lapojen muotoilu on hiukan erilainen erilaisille tuulille. Useimmat lavat suunnitellaan ja rakennetaan laitekohtaisiksi, tietyn paikan tuuliolosuhteille. (14.)

#### 4 TUULIVOIMALAHANKKEEN ESISELVITYS

Seuraavissa luvuissa käyn läpi kaikki tuulivoimalan sijoittamiseen vaadittavat vaiheet ja niihin vaikuttavat tekijät. Työn tarkoituksena on antaa ohje niille jotka harkitsevat tuulivoimalan hankintaa, sijoittamista ja siihen liittyviä ongelmia.

Tuulivoimaloiden sijoitusprosessilla tarkoitetaan kaikkea sitä, mitä vaaditaan tuulivoimalan tai tuulipuiston rakentamiseen sekä paikan valintaan. Idean tai aloitteen tuulivoimalan tarpeesta voi tehdä moni eri taho, mutta suurten kokoluokan hankkeisiin tarvitaan paremmat taloudelliset ja organisatoriset valmiudet kuin pieniin hankkeisiin. Energiayhtiöt ja suuret yritykset voivat lähtökohtaisesti suunnitella suuriakin tuulivoimapuistoja, kun yleensä yksityiset henkilöt tai kunnat käynnistävät yhden tai muutaman voimalaitoksen hankkeen. Hankkeen koko sekä sijainti ratkaisevat tarvittavat lupa- ja kaavoitusmenettelyt. (24.); (70.)

Pelkästään hankkeen käyntiin saaminen, ideasta esiselvityksen aloittamiseen, vie muutamasta kuukaudesta jopa useaan vuoteen. Yleensä hankkeen toteutumiseen kuluu 1,5 – 3 vuotta, mutta minimitoteutusaika on vuoden verran. (24.)

Tuulivoimarakentamiseen liittyy useita eri vaiheita, joita joudutaan tekemään päällekkäin, mikä monimutkaistaa hankkeen etenemistä. Hankkeen sujuvan etenemisen vuoksi on syytä suunnitella huolella jokainen vaihe ja tehdä tarvittavat selvitykset.

Tuulivoimalan sijoitusprosessin vaiheita ovat:

- ”1. Esiselvitys
2. Sopivan alueen etsintä
3. Neuvottelut alueen maanomistajan kanssa ja vuokrasopimusten laatiminen
4. Alustavat neuvottelut verkon haltijan ja sähkön ostajan kanssa
5. Tuulimittausten aloittaminen

6. Yhteislupaviranomaiselta (ELY-keskus) päätös sovelletaanko ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA)
7. Tarvittaessa YVA-selvitysten aloittaminen
8. Alueen kaavoitus tuulivoimalle sopivaksi
9. Lopulliset neuvottelut verkonhaltijan ja sähkönostajan kanssa
10. Lupien hakeminen
11. Maanrakennustyöt (vaikutukset ja suunnitelmat sisällytettävä YVA-selvityksiin)
12. Turbiinien tilaus ja rakentamisen aloitus” (24.)

Esiselvityksen ensisijaisena tarkoituksena on löytää sopivin sijoitusalue perustuen paikan päällä mitattaviin tuulisuusmittauksiin sekä tuulisuusarvioihin. Esiselvityksen aikana käydään läpi kevyt lupaprosessi voimalaitoksen rakentamisesta, eli saako suunnitellulle paikalle rakentaa ja millaisia lupia rakentaminen vaatii. Esiselvitykseen kuuluu hankkeen kustannusarviointi. Kustannusarviossa lasketaan investointikustannukset, käyttö- ja ylläpitokustannukset sekä tuotantokustannuksia. (70.); (25.) Koska päätös hankkeen jatkuvuudesta perustuu esiselvitykseen, on esiselvityksen oltava riittävän kattava, jotta hankkeeseen liittyvät mahdolliset riskit voidaan eliminoida mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. (70.)

#### 4.1 Sijoitusalueen valinta

Tuulivoimahankkeen suunnittelun ja toteutumisen pohjana on sijoitusalueen valinta. Sijoitusalueella tarkoitetaan maa-alueita, joka muutetaan tuulivoimakäyttöön. Sijoitusalueen valintaan ja kannattavuuden perustaan vaikuttavat monet tekijät, kuten tekniset, taloudelliset ja toteutumisedellytykset ja niiden arviointi. Toteutumisedellytyksien arviointiin kuuluu tuulisuuden sekä laitoksen tuotannon arviointi. (70.); (25.)

Kannattavimman paikan valinnan yhteydessä joudutaan tekemään kompromisseja monien eri tekijöiden välillä. Apuna alue-etsinnöissä voidaan hyödyntää tietokone

avusteisia tuulisuusarvioita, kuten Suomen Tuuliatlas. Se on tuulienergiakartasto, joka sisältää tuulisuustietoja vuosikymmenten ajalta ja näiden tietojen avulla arvioidaan tuulivoimalan toiminta-aikana vallitsevia keskimääräisiä tuulioloja ja tuotettavan energian määrää sijaintialueella. (28.); (29.); (30.)

Ensimmäisen mahdollisen sijoitusalue suunnitelman lisäksi on syytä vertailla muutamia muitakin paikkaehdokkaita, siltä varalta ettei ensimmäiseksi suunnitellulle alueelle voidakkaan rakentaa tai se ei ole kannattavaa. Kaikkissa tuulivoimahankkeissa sijainnilla on erityisen suuri vaikutus, sillä pienetkin tuulennopeus erot vaikuttavat merkittävästi tuulivoimalan tuottamaan tehoon. Joissakin tapauksissa sijoituspaikka on päätetty etukäteen, esimerkiksi omalle tontille, jolloin edetään suoraan tuulisuusmittauksiin.

Ohessa on lista tuulivoima-alueen valintaan vaikuttavista ensisijaisista tekijöistä:

- ”- Tuuliolosuhteet
- Liityntä sähköverkkoon
- Rakentamista ja huoltoa tukeva infrastruktuuri
- Rakenteiden perustamisolosuhteet” (27.)

Suomessa on paljon tuulivoimatuotantoon sopivia alueita, joista parhaimmat paikat sijaitsevat useasti rannikolla. Voimaloita onkin tästä syystä rakennettu pitkälti vain rannikoiden tuntumaan, mutta tulevaisuudessa tuulivoimarakentaminen tulee myös levittäytymään sisämaan tuulisiin kolkkiin tekniikan kehittyessä. Pitää silti muistaa, että myös muut edellytykset kuin hyvä tuulisuus yksistään ratkaisevat lopullisen sijoituspaikan. (30.)

## 4.2 Maanhankinta

Todellisuudessa hankkeen toteuttaminen aloitetaan maanhankinnalla tai alueneuvotteluista maanomistajan kanssa ja vuokrasopimusten laatimisesta eli maanvuokraamisesta. Suomen lainsäädännön mukaan alueelle, johon rakennuttajalla on hallintaoikeus, eli omaa maata, voi hakea rakennuslupaa ja rakentaa. Naapurit voivat tehdä halutessaan valituksen aiheutuvista haitoista, joita ovat muun muassa

ympäristöalueiden arvon laskeneminen tuulivoimatuotannon takia, välkkyminen, melu. Tällöin asia on käsiteltävä viranomaisten kanssa ja lopullisen päätöksen asiasta tekee hallinto-oikeus. Valtion maille kaavaillusta tuulivoimalaitoshankkeesta täytyy neuvotella ja sopia Metsähallituksen kanssa erikseen ennen hankkeen aloittamista. Maanvuokraussopimuksessa sovitaan vuokraustavasta, vuokra voidaan periä kiinteänä kertamaksuna tai vuosittaisena vuokrana tai sidotusti tuotetun energian määrään. Lisäksi sopimuksessa on syytä huomioida mahdolliset omistussuhteiden vaihdokset, kuten sukupolvenvaihdokset ym. (70.); (31.)

Suojelukohteille eikä sen läheisyyteen saa rakennuttaa tuulivoimalaitosta, ohessa lista muista tuulivoimatuotantoon soveltumattomista paikoista: (31.)

- ”• valtakunnallisesti ja maakunnallisesti arvokkaat maisema-alueet
- valtakunnallisesti ja maakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt
- luonnonsuojelualueet
- erämaa-alueet
- kansainvälisesti tärkeät linnuston IBA-alueet.” (26.)

Hankkeen epäonnistumisen syy on usein huonosti tehty esiselvitys, koska sen kustannukset ovat yleensä pienemmät kuin yhden kuukauden aikana syntyvä tulon menetys arviointivirheen takia. (32.)

#### 4.3 Alustavat neuvottelut verkon haltijan ja sähkön ostajan kanssa

Esiselvitysvaiheeseen kuuluu neuvotella sähköverkkoon liittymisestä ja sähkön siirrosta sen verkonhaltijan kanssa, jonka alueeseen sijaintipaikka kuuluu. Kannattavuuslaskelmien tueksi ja sijaintialueiden vertailemisen avuksi kannattaa selvittää syöttötariffi ja liittymismaksut. (33.)

#### 4.4 Tuulivoiman tuet ja syöttötariffijärjestelmä

Tuulivoimatuotannon ajallisten vaihteluiden vuoksi, se ei ole niin kilpailukykyinen verrattuna perinteisempiin sähköntuotantokeinoihin. Aiemmin Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) tuki uusia tuulivoimahankkeita investointiavustuksella, mutta vuoden 2011 alussa siirryttiin syöttötariffijärjestelmään.

Syöttötariffijärjestelmän perustana on laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. (34.)

Syöttötariffijärjestelmän tarkoituksena on tukea tuulivoimalla tuotetun sähkön kannattavuutta asettamalla sähkölle takuuhinta. Mikäli myydyn sähkön hinta, eli markkinahinta, jää alle takuuhinnan, maksetaan tuottajalle niiden erotus. Tukea on mahdollista saada enintään 12 vuoden ajan. Suomessa tuulivoimalla tuotetun sähkön takuuhinta on 83,50 €/ MWh, mutta loppuvuoteen 2015 asti on mahdollista saada korotettua takuuhintaa, joka on 105,30 €/ MWh , mutta enintään kolme vuotta per voimalaitos. Suomessa syöttötariffijärjestelmästä vastaa Energiamarkkinavirasto. (34.)

”Syöttötariffijärjestelmään hyväksyttävän tuulivoimalahankkeen edellytykset:

- 1) ei ole saanut valtiolta tukea
- 2) uusi laitos eikä sisällä käytettyjä osia
- 3) generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho on vähintään 500 kVA.” (34.)

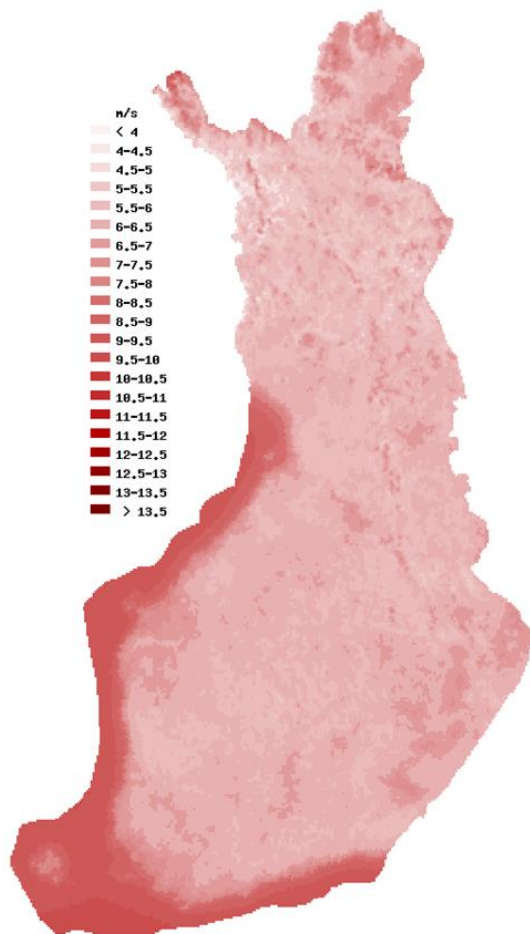
#### 4.5 Tuulimittaukset

Sijoitusalueen valinnan ja mahdollisten vuokrasopimusten laadinnan jälkeen, esiselvitykseen kuuluu paikan päällä tehtävät tuulimittaukset, näihin mittauksiin pohjautuu päätös hyvästä sijoituspaikasta. Tuulimittausten pohjalta voidaan arvioida vuotuiset energiantuotantomäärät ja siten laatia koko hankkeen teknisten ja taloudellisten toteutusedellysten arviointi. (32.)

Tuulimittausten perimmäisenä tarkoituksena on hakea kannattavuustasoa tuulivoimalalle ja sen perustamiselle. Tuulta on mitattava ennen hankkeen investointipäätöksen tekoa vähintään vuoden verran suunnitellulla paikalla. Suositeltavaa on jatkaa mittauksia, koska mitä pidemmän aikaa tuulimittauksia tehdään, sitä varmemmat tulokset saadaan. Kotkan Energia Oy:n projekti-insinöörin

Hannu Suorttin mukaan tuulimittaus keskimääräisesti maksaa 4 000 € / kuukausi, joka tekee melkein 50 000 € vuodessa. (21.) Tuulimittaukset antavat tietoa paikan tuulisuudesta; tuulen nopeudesta, turbulentsisyydestä, keskituulennopeuksista ja muun muassa tuuligradienttista eli tuulivoimalan lapojen pyörähdysalueen ylimmän ja alimman osien erotuksesta. Tuulimittaus tuloksia on aina verrattava lähimpien sääasemien sen aikajakson tuulennopeuksiin sekä vuosien keskiarvoihin, näin saamme mahdolliset virheet eliminoitua sekä laskettua mahdollisen takaisinmaksuajan vertailemalla omaa tuulisuusmittauskäyrää Suomen Tuuliatlaksesta löytyvään 10 vuoden tuulisuuskäyrään. (35.)

Kuvassa 7. on mittaustietoja Suomen tuulisuudesta. Suomen tuuliolot ovat parhaimmat lounais- ja etelä-suomessa sekä Ahvenanmaalla, mutta vähitellen tuulet heikkenevät itä- ja pohjois-suomeen mentäessä. Sisämaassa maantieteellinen sijainti ei ole niin ratkaiseva kuin korkeuserot, sillä parhaimmat tuulet saadaan korkeammilta alueilta muuhun ympäristöön nähden. (70.)



Kuva 7. Tuulisuus suomessa (8)

#### 4.5.1 Tuulimittaustekniikkaa

Tuulimittauskorkeuksista on hiukan erilaisia käsityksiä. Ilmatieteen laitos mittaa tuulta 10 metriä maston yläpuolelta, noin 10 minuutin välein. Toisen teorian mukaan tuulta mitattaisiin vain tuulivoimalan suunniteltuun napakorkeuteen. (35.)

Usein pienempiin tuulimittauksiin käytetään masto-mittausta ja anemometriä, mutta voimala kokojen kasvaessa käytetään kätevämpiä LIDAR- ja SODAR- mittauksia, jotka ovat etämittauksia. Pelkkä vuoden mittainen mastomittaus maksaa yli 100 000€. Kuppi-anemometri on laite, joka mittaa pienien kuppien pyörimisnopeuden avulla tuulennopeutta. (35.)

#### 4.5.2 SODAR-mittaukset

SODAR-mittaukset (Sound Detection And Ranging) toimivat paluukaikujärjestelmänä. Kuvassa 8 on ASC model 4000 SODAR- mittausjärjestelmä. Mittaus tapahtuu ääniaaltoja lähettämällä, eli SODAR-järjestelmä lähettää akustisen pulssin ja järjestelmän vastaanotin, analysoi paluusignaalit, selventää Vaasan Energy Institute. Järjestelmän pulssin lähettämisestä syntyy melko voimakas ääni, joka voi haitata lähellä asuvia tai työskenteleviä. (35.)

SODAR-järjestelmässä on se etu, että se pystyy mittaamaan luotettavasti tuulitietoa noin 200 metriin saakka, joko eri korkeuksilta tai aina 200 metrin korkeudesta. SODAR-mittauksella voidaan mitata tuulta koko tuulivoimalan lapojen pyörimisalueelta, kun masto-mittauksella vain yhdestä pisteestä. (35.) Lisäksi SODAR-järjestelmä on helppo sijoittaa ja asentaa suhteellisen pienen kokonsa vuoksi uuteen mittauspaikkaan.

Vaasan Energy Institute:n tuulivoima tietopakettin mukaan, vaarana SODAR-mittauksessa on se, että mikä vain ”tausta-ääni voi vaikuttaa paluusignaaliin ja vääristää tuloksia. Parhaimmat ja luotettavimmat tulokset saavutetaan silloin kuin koko järjestelmän ympärillä on vähintään 200 metriä avointa tilaa.” (35.)





Kuva 8. ASC model 4000 SODAR (36.)

#### 4.5.3 LIDAR-mittaukset

LIDAR-järjestelmä (Light Detection And Ranging) on samantyyppinen etäjärjestelmä kuin SODAR, mutta äänen sijaan LIDAR-järjestelmä perustuu valoon. Tämä tekniikka perustuu Dopplerilmiöön eli järjestelmä lähettää laser-valosignaalin ja paluuvalosta, joka heijastuu ilmassa liikkuvista aerosolihiukkasista, saadaan tuulennopeus- ja suuntatiedot määrättyltä korkeudelta. (35.) Kuvassa 9 on esitelty LIDAR-järjestelmä.



Kuva 9. LIDAR-tuulimittausjärjestelmä (37.)

#### 4.6 Ympäristövaikutukset

Kuten kaikista energiantuotantomuodoista, on myös tuulivoimatuotannosta monia ympäristövaikutuksia, niin positiivisia kuin negatiivisiakin. Negatiivisista vaikutuksista suurimpana pidetään tuulivoimaloista aiheutuvia maisemallisia haittoja. Suuret tuulivoimalat erottuvat hyvin maisemasta, minkä vuoksi niitä sijoitetaan merelle ja sellaisiin paikkoihin, joissa on jo valmiiksi suuria rakennuksia, kuten teollisuuden liepeille, jossa ne eivät aiheuta suurempia maisemallisia haittoja. (9.)

Lisäksi tuulivoimalat aiheuttavat melua. Tuulivoimalan meluvaikutusten arviointi on hankalaa, sillä äänen voimakkuus ei useinkaan ole olennaista vaan sen häiritsevyys. Tuulivoimalan sijoittelua mietittäessä suhteessa asutuksen etäisyyteen, voidaan hyödyntää taulukkoa 1 (71.):

Taulukko 1. Tuulivoimalan aiheuttaman äänen vaimeneminen (71.)

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

Taulukossa 1 on esitetty äänen lähtötaso konehuoneen korkeudella ja etäisyys laitoksesta ja äänen vaimeneminen maanpinnalla. Äänen voimakkuuteen vaikuttaa niin voimaloiden lukumäärä sekä maaston muodot ja kasvillisuus. (71.)

Tuulivoiman negatiivisia ympäristövaikutuksia voidaan lieventää hyvin suunnitellulla sijoittamisella. Suositeltavaa olisikin välttää herkkiä ympäristöjä ja luonto-alueita, kuten tuntureita tai ulkosaaristoa. Sellaisilla alueilla joudutaan tuulivoimantuotannon suunnitteluvaiheessa tekemään tarkat YVA-selvitykset ja lupaprosessit. (9.); (38.)

Positiivisista vaikutuksista huomattavin on tuulivoiman päästöttömyys, se on täysin polttoaine vapaata energiantuotantoa ja ainoat päästöt syntyvät tuulivoimalan kuljettamisesta, rakentamisesta, huollosta. Tuulivoiman päästöttömyys ja se, kuinka paljon hiilidioksidi- ja hiukkaspäästöjä tuulivoima vähentää, riippuu minkä toisen energiantuotantomuodon se korvaa. (38.)

#### 4.7 Ympäristövaikutusten arviointi

Ympäristövaikutusten arviointi eli YVA-menettely osana kaavoittamista, maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti, on tärkeä osa tuulivoimarakentamissuunnitelmaa ja sen arviointivelvollisuus kuuluu kaavoittajalle. Vaikutuksia arvioidaan kaavoituksen lisäksi myös erilaisissa lupamenettelyissä. (39.)

Ympäristöministeriö on laatinut kokorajan (vähintään kymmenen yksittäistä voimalaitosta tai kokonaisteho 30 MW) tuulivoimalahankkeille, jonka mukaan suuren kokoluokan tuulivoimalahankkeet kuuluvat nykyään (vuoden 2011 jälkeen) YVA-asetuksen piiriin, jolloin näihin hankkeisiin sovelletaan automaattisesti YVA-menettelyä. Mutta riippumatta suunnitellun voimalan koosta, voidaan aina hyvänä perussääntönä pitää, että hanke edellyttää YVA-menettelyä, jos se aiheuttaa minkäänlaisia haitallisia ympäristövaikutuksia (direktiivi 97/11/EY). Pienempiäkin ympäristöhaittoja aiheuttavia hankkeita edellyttää vähintään YVA-lain mukainen selvilläolovelvollisuus (YVA-laki 25 §). Ympäristöselvitys helpottaa yhteistyötä viranomaisten ja muiden tahojen kanssa. YVA-menettelyn soveltamisesta vastaa nykyään kunnan ELY-keskuksen yhteysviranomaisen eli elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (40.); (70.)

Toki pitää muistaa se, että viranomaistoiminnassa on joskus huomattaviakin alueellisia eroja, joten YVA-menettelyn tapauskohtaisuutta ja siihen edellytettäviä selvityksiä on määrä selventää. (39.) YVA-menettely alkaa arviointiohjelman toimittamisesta ELY-keskukselle. Siinä selvitetään, hankkeen eri toteuttamisvaihtoehtoja ja vaikutuksia, joita suunnittelun aikana tullaan selvittämään. Kun kaikki mahdolliset vaihtoehdot ja vaikutukset ovat selvitetty, laaditaan niistä arviointiselostus. Yhteysviranomaisen laatii arviointiohjelmasta ja –selostuksesta annettujen mielipiteiden ja lausuntojen ja oman ammattitaitonsa pohjalta lausuntonsa, jolloin YVA-menettely on loppuun käsitelty. (41.)

Tuulivoimantietopakettin mukaan: ”Selvityksien tarkkuuteen ja laajuuteen vaikuttavat niin sijaintialueen luontoarvot kuin muukin maankäyttö, kaavataso sekä rakentamisen mitoitus. Eli mitä suuremmasta muutoksesta ja herkemmästä alueesta on kyse, sitä yksityiskohtaisempia selvitysten tulee olla. Näillä keinoilla varmistetaan tuulivoimaloiden rakentamisen ympäristöllinen hyväksyttävyys sekä toteuttamiskelpoisuus tietyille paikalle.” (39.);(41.)

”YVA-menettelyssä arvioidaan ainakin seuraavat asiat:

- Visuaaliset eli maisemalliset vaikutukset
- Käyntiääni (meluohjearvot)
- Vaikutukset eläimiin, pääasiassa lintuihin (selvitysten tekemisen ajankohta otettava huomioon muuttolintujen laskennan takia!)
- Mahdolliset vaikutukset viestintäyhteyksiin (mm. teleliikenne, tutkasignaalit)
- Erilaiset maankäyttövaikutukset
- Turvallisuus (esim. irtoilevat jäät)
- Rakentamisen aikaiset vaikutukset
- Merelle rakennettaessa veden alaiset vaikutukset (mm. sameneneminen, virtausten muutokset, vedenalainen melu, kaapeleiden sähkömagneettiset kentät)” (41.)

Lisäksi ympäristövaikutusten arviointimenettelyn aikana tulee arvioida myös ihmisiin kohdistuvat vaikutukset eli IVA, joka tarkoittaa ihmisten terveyttä, viihtyvyyttä sekä elinolojen vaikutuksia (YVA-asetuksen 713/2006 määrätyissä hankkeissa). Lisäksi NATURA- vaikutuksia voidaan arvioida luonnonsuojelulain mukaisessa arvioinnissa. Näiden arviointivelvollisuudesta vastaa toiminnanharjoittaja. (39.); (42.)

## 4.8 Tutkavaikutukset

Tutkavaikutusselvitys tulee aina laatia tuulivoimaloita suunniteltaessa, hyvissä ajoin tehdyt perusteelliset tutkimukset ehkäisevät ylimääräisiltä ongelmilta ja kustannuksilta. Voit pyytää lausuntoa tarkempien selvitysten varalta pääesikunnalta hankkeellesi sähköpostitse (kirjaamo.pe(at)mil.fi). (43.)

Hankkeesta vaadittavia tietoja ovat:

- tarkka sijaintialue
- voimaloiden lukumäärä
- voimaloiden maksimikorkeus

Tuulivoimaloiden tarkkoja sijaintipaikkoja alueella ei tarvitse vielä tietää, mutta mikäli ne ovat tiedossa, kannattaa myös ne toimittaa. (44.)

VTT on jakanut luettelon tutkavaikutusten selvittämiseen vaadittavista tiedoista kahteen ryhmään: välttämättömiin ja hyödyllisiin tietoihin. Välttämättömät tiedot lähetetään aina. Hyödyllisten tietojen puuttuessa, VTT arvioi ne ”tyypillisen tuulivoimalan ominaisuuksien perusteella”. Täydellisten tietojen puuttuessa, VTT:lle riittää parhain/pahin arvaus. (39.)

”Välttämättömät tiedot:

- Tiedot siitä, mitkä muut yritykset mahdollisesti suunnittelevat (tai joilla jo on) tuulivoimaa samalle alueelle.
- Kartta (sähköisessä muodossa, ei pdf), josta käyvät ilmi voimaloiden suunnitellut (ja olemassa olevat) sijoituspaikat. Jos ne eivät ole tarkasti tiedossa, niin alueen rajat ja sille suunniteltujen voimaloiden lukumäärä.
- Voimaloiden koordinaatit.
- Voimaloiden alapään korkeus meren pinnasta.
- Voimaloiden tornin korkeus pyörimisakseliin asti.
- Voimaloiden tornin halkaisija ylä- ja alapäässä.

- Roottorin lavan kokonaispituus (kärjen etäisyys pyörimisakselista).
- Roottorin lavan kärjen maksiminopeus ja keskimääräinen nopeus.
- Yleisin tuulensuunta.

Hyödylliset tiedot:

- Tornin materiaali.
- Tarkempi muototieto lavoista.” (39.)

Tuulivoimahankkeen tutkavaikutuksia Puolustusvoimien toiminnassa ei tarvitse selvittää, mikäli voimala on rakennettu laissa (laki tuulivoiman kompensatioalueista 490/2013 pykälä 4 §) määrätylelle kompensatio-alueelle. Kompensatioalueella aluevalvontajärjestelmää on kehitetty teknisesti niin, ettei tuulivoimalan rakentaminen ja käyttö vaikuta järjestelmään eikä puolusvoimien alueellisiin toimintaedellytyksiin tai sotilasilmailuun. Lain mukaan: ”Perämeren tuulivoima-alue on tässä laissa tarkoitettu tuulivoiman kompensatioalue.” (45.)

#### 4.9 Lopulliset neuvottelut verkonhaltijan ja sähkönostajan kanssa

Lopullisissa neuvotteluissa päätetään viimeistään sähköverkkoon liittymisestä ja sähkönsiirrosta, maksuista ja muista edellytyksistä verkonhaltijan kanssa.

Verkonhaltija veloittaa tuulivoimantuottajalta liittymismaksun, jolle on jokaisella yhtiöllä omat perusteensa. Lisäksi täytyy laatia verkkopalvelusopimus, jossa määritetään sähkön siirtoon liittyvistä asioista. (46.)

Sähköntuottajaa veloitetaan sähkönsiirtotariffilla. Thermopolis Oy:n laatiman selvityksen mukaan sähkönsiirtotariffi ”muodostuu kiinteästä maksusta, oman tuotannon kulutusmaksusta (yli 1 MWA tuotanto) ja energiamaksusta, joka vaihtelee ajallisesti vuorokauden ja vuoden ajan mukaan.” Sijoitusalueita vertailtaessa kannattaa selvittää paikallisen jakeluverkonhaltijan siirtotariffit, jotka saa selvitettyä Sähkömarkkinakeskuksesta tai suoraan jakeluverkonhaltijalta. (46.); (47.)

Kaikille jakeluverkkoon liittyville tuotannoille on Energiateollisuus ry:n laatinut sovellettavaksi suosituksia sähköntuotannon verkkopalveluehdoista sekä

sähkötuotannon liittymisehdoista. Ohjeet voidaan liittää sopimusten liitteiksi, jolloin ne tukevat tuottajan toimintaa. Ohjeisiin kannattaa tutustua ennalta, mikä selkeyttää sopimusprosessia. Lisäksi ohjeet tarjoavat sähköntuottajalle käytännön tietoa (47.)

#### 4.10 Laskelmia

Tuulivoimarakentaminen ja -suunnittelu on kallista, sillä pelkkä perus- tai esiselvitys maksaa vähintään 30 000 €, jolloin on saatu pelkkä päätös rakentamisesta aikaiseksi. Ja mikäli ollaan päädytty jatkamaan suunnittelua, kuluu toiset, vähintään 30 000 € tuulisuusselvityksiin ym. Tuulisuusselvitysten jälkeen on hankittava erinäisiä lupia ja muita selvityksiä (vaikutukset linnustoon, ympäristöön (YVA)), jotka kokonaisuutena maksavat noin 50 000 €. Eikä tässä vaiheessa vielä omistajalla ole tuulivoimalaa tuottamassa, vaikka rahaa on kulunut noin reilu 100 000 €.

## 5 ALUEEN KAAVOITUS

Tässä kappaleessa tarkastellaan sijoitusalueen kaavoittamista. Tarkemmin perehdytään eri kaavatasoihin ja miten ne vaikuttavat tuulivoimarakentamiseen. Eri kaavatasoja ovat maakuntakaava, yleiskaava sekä asemakaava ja suunnittelutarveratkaisu.

### 5.1 Sijaintialueen kaavoituksen periaatteita

Varsinais- Suomen ELY-keskuksen tietopaketin tuulivoiman lupa- ja kaavoitusasioista perus sääntö on: ”Tuulivoimarakentamiseen sovelletaan samoja säännöksiä kuin muuhunkin rakentamiseen.” Tuulivoimarakentamiseen ei siis ole mitään erityislakeja tai sääntelyä, vaan siihen sovelletaan maankäyttö- ja rakentamislain rakentamiseen ohjaavia kaava- ja lupasäännöksiä. (48.)

### 5.2 Kaavoitus

Kaavassa määritellään sijoituspaikan soveltuvuus tuulivoimakäyttöön. Kaava voi olla maakunta-, yleis- tai asemakaava, riippuen alueen käyttötarkoituksesta sekä hankkeen laajuudesta. Kaava on tuulivoimalalle myönnettävän luvan antamisen perusta ja ympäristöministeriö on ohjeistanut yhden kaavatason riittävyteen. Kaikesta huolimatta, on ilmennyt epävarmuutta siitä, mikä kaavataso riittäisi luvan myöntämiseen, joten on paikallaan luoda selvät rajat: Pienien, yksittäisten tuulivoimalahankkeiden suunnitteluun ja rakentamiseen riittää yleensä yleis-, asemakaava tai jopa yksittäiset lupamenettelyt, mutta suurien tuulivoimalapuistojen rakennuttaminen vaatii maakuntakaavan. Kaavoituksesta riippuen, voidaan varmistaa riittävän kattava ympäristövaikutusten selvitys ja arviointi (YVA). (49.); (39.); (48.)

Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittelee sen, kaavoitetaanko suunniteltu sijoitusalue tuulivoimakäyttöön vai onko mahdollista edetä pelkkiin luparatkaisuihin perustuen. Mikäli alue on määritelty maakunta- tai yleiskaavassa tuulivoima-alueeksi, maankäyttö- ja rakennuslain (MRL 1999/132) 137 ja 172 §:n mukaan voidaan hanke ”toteuttaa luparatkaisuilla ilman yksityiskohtaista kaavaa, koska tällöin voidaan katsoa, ettei tuulivoimarakentamisesta aiheudu yksityiskohtaista kaavaa edellyttäviä vaikutuksia”. (49.); (39.)



### 5.3 Maakuntakaava

Maakuntakaavan tarkoituksena on selvittää maakunnan- tai sen osa-alueiden maan käyttötarkoitus, joko kokonaismaakuntakaavana tai osa-alueittais maakuntakaavana, ja ohjata siten kuntien kaavoitusta ja myös tuulivoimarakentamista.

Ympäristöministeriön maakuntakaavaa koskevan tietopaketin mukaan:

”maakuntakaavassa esitetään yhdyskuntarakenteen ja alueiden käytön perusratkaisut yleensä pitkällä aikavälillä.” Maakuntakaava voidaan laatia myös vaihemaakuntakaavana, jossa käsitellään yhtä tai useampaa hanketta. (50.)

Maakuntakaava on keskeinen tekijä tuulivoimatuotannon rakentamisen ohjaajana. Sisämaan tuuliolosuhteista kertova Suomen TuuliAtlas on pohjana maakuntakaavan tuulivoimarakentamisalueiden paikoituksessa. (50.)

Esiselvityksen yhteydessä tehtävässä sijoituspaikan etsinnässä kannattaa hyödyntää maakuntakaavaa tuulivoimakäyttöön kaavoitetuista alueista, mutta mikäli alue ei ole kaavoitettu tuulivoimakäyttöön, on haettava poikkeusta, jolla saataisiin oikeus rakentaa sijoitusalueelle.

### 5.4 Yleiskaava

Yleiskaava ei sisällä erityisiä tuulivoimasäännöksiä. Yleiskaavassa määrittyy yleispiirteisesti kunnan alueidenkäyttötavoitteet ja toimii siten ohjeistuksena tarkemmalle asemakaavoitukselle. Tuulivoiman tietopaketin mukaan: ”yleiskaava voidaan kuitenkin laatia myös rakentamisen ja muun maankäytön ohjaamiseksi määrättyllä alueella.” Yleiskaavat laatii kunta. Ongelmana onkin se, mikäli yleiskaava ei vastaakaan maakuntakaavaa (tuulivoima-alueiden osalta), on maakuntakaavaa muutettava, mikä pitkittää prosessia. (39.); (49.)

Yleiskaavaa tarvitsemme silloin, kun on kyse tuulivoimarakentamisesta sellaiselle alueelle, jossa ympäristön käyttötarkoituksen ja tuulivoimarakentamisen yhteensovittamistarve on suuri, kuten taajama-alueet tai sellaiset kunnan alueet, joissa on paljon muitakin tuulivoimahankkeita. Varsinais-Suomen ELY-keskuksen mukaan ”yleiskaava toimii siis suoraan rakentamista ohjaavana kaavana, laissa asetetuvin edellytyksin”. (48.)

Ranta-alueita koskevan yleiskaavan käyttöä suoraan rakennusluvan perusteena on merkittävää tuulivoimarakentamisen kannalta. Ympäristöministeriön maankäyttö- ja rakennuslain 5.2.1999/132 72 §:n mukaan tuulivoimatuotantoa voidaan rakentaa ranta-alueille pelkällä rakennusluvalla, mikäli se on rantayleiskaavassa osoitettu tuulivoimakäyttöön. Tuulivoiman tietopaketin mukaan ”yleiskaavaan voidaan ottaa erityinen määräys tuulivoimarakentamista koskien, jolloin sen vaikutus poistaa asemakaavan ja suunnittelutarveratkaisun tarpeen.” (49.)

## 5.5 Asemakaava

Asemakaava toimii yksityiskohtaisena rakentamista ja muuta maankäyttöä ohjaavana kaavana. Asemakaavan laatii kunta ja tällöin kunnalla on laaja päätäntävalta tietyn alueen asemakaavoituksesta. (49.) Asemakaava ei sisällä erityisiä tuulivoimasäännöksiä. (39.)

Yleiskaavassa määritetyt alueidenkäyttöratkaisut ovat asemakaavan perusta. Maankäyttö- ja rakennuslain 51 §:n mukaan: ”maanomistaja voi tehdä kunnalle esityksen asemakaavan laatimiseksi, mutta säännös ei luo maanomistajalle oikeutta saada asemakaavaa alueelleen.” (49.)

Tuulivoiman osalta asemakaavoituksessa on otettava huomioon sähköntuotannosta aiheutuva melu, turvallisuus, maisema-vaikutukset, kaupunkikuvan muutos sekä virkistyskäyttöön osoitetut alueet. Rakennusluvan myöntämisen perustaksi asemakaavassa on myös osoitettava rakennusala ja tietoja tuulivoimaloiden ulottuvuudesta. Tarkkoja sijaintipaikkoja ei tarvitse asemakaavassa tietää, mutta alueen liikennejärjestelyt ja sähköliittymät ovat esitettävä. (49.)

## 5.6 Suunnittelutarveratkaisu

Suunnittelutarveratkaisua voidaan käyttää alueilla, joihin tarvitaan laajennettua rakennuslupaharkintaa. Tämä korvaa asemakaavan. Tuulivoiman tietopaketin mukaan: ”suunnittelutarveratkaisun osoittajaksi riittää hankkeen ympäristövaikutusten merkittävyys”, jossa ratkaisee hankkeen laatu ja sijaintipaikka.

Suunnittelutarveratkaisua voidaan edellyttää myös yhdeltä tuulivoimalalta, riippuen sen sijainnista ja koosta. (49.)

”Rakennusluvan erityiset edellytykset suunnittelutarvealueella (MRL) 137§:

- 1) ei aiheuta haittaa kaavoitukselle tai alueiden käytön muulle järjestämiselle
- 2) ei aiheuta haitallista yhdyskuntakehitystä
- 3) on sopivaa maisemalliselta kannalta eikä vaikeuta erityisten luonnon- tai kulttuuriympäristön arvojen säilyttämistä eikä virkistystarpeiden turvaamista.” (49.)

## 5.7 Kaavamuutokset

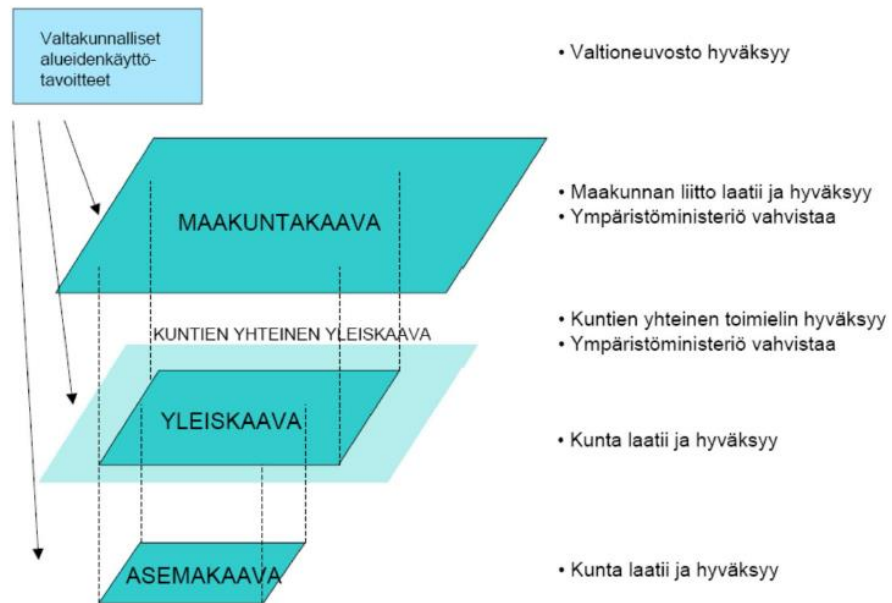
Kaavamuutos tulee kyseeseen esimerkiksi uuden maa-alueen osalla, johon ollaan suunnittelemassa tuulivoiman rakentamista. Kaavamuutosta edeltää kaavoitus selvityksen tekeminen ja poikkeaminen. Kunnes selvitykset ja poikkeaminen ovat hyväksytyt, voidaan hakea kaavamuutosta. Kaavamuutos edellyttää muun muassa ympäristövaikutusten arviointia (YVA) ja ympäristölupaa. Kaavamuutokset laaditaan vastaamaan siitä, mitä kaavoitetulle alueelle voidaan rakentaa, kehen ja mihin se vaikuttaa eli kaavamuutoksessa selvitetään uuden toiminnan edellytykset.

## 5.8 Maankäytön suunnittelua

Maan- tai alueenkäytön suunnittelujärjestelmä tuulivoiman rakentamisen osalta sisältää valtakunnallisten alueiden käyttötavoitteet, yleispiirteisen suunnittelun (kaavoitus) sekä lopuksi hankkeen toteuttamisen suunnittelun. (48.)

Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden pyrkimys on sijoittaa tuulivoimalat ensisijaisesti usean voimalan ”ryppäisiin” maakuntakaavan mukaisesti parhaimpiin tuulivoiman sijoituskohteisiin. (48.)

Kuvan 9. mukaisesti valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista vastaa valtioneuvosto. Maakuntakaavan laatii maakunnan liitto ja ympäristöministeriö vahvistaa sen. Yleis- sekä asemakaavan laatii ja hyväksyy itse kunta. (48.)



Kuva 9. Kaavatasot (48.)

## 6 TUULIVOIMAN RAKENTAMISEEN VAADITTAVAT LUVAT

Tuulivoimarakentaminen perustuen pelkkiin luparatkaisuihin voidaan toteuttaa alueella, jonka yhteensovittamistarve muun ympäristönkäytön kanssa on vähäistä eikä alueella ole huomattavia ympäristöarvoja, esimerkiksi teollisuusalueiden liepeillä.  
(70.)

Tuulivoimaloiden toteuttamiseen on kahdenlaisia lupia. Lupia, jotka vaaditaan aina, sekä niiden lisäksi sijoituspaikkakohtaisia lupia.

Tuulivoiman rakentamiseen AINA vaadittavia lupia ovat:

- ”Rakennuslupa
- Lentoestelupa (yli 30 metriä korkea tuulivoimala)
- Sähkömarkkinalain mukainen lupa yli 110 kV:n johdoille
- Lunastuslupa maa-alueita varten uuden sähkönsiirtoverkon rakentamiseksi”

Sijoituspaikasta riippuvat luvat:

- ”Vesilupa (jos rakennetaan vesistöön tai vaikutusta vesistöön)
- Ympäristölupa” (mikäli haittaa naapureille tai ympäristölle, aiheuttaa melua tai vilkkumista) (39.)

Ympäristölainsäädäntö määrittelee maankäyttö- ja rakennuslaissa kaksi tuulivoimarakentamista koskevaa säännöstä:

- 1) Maankäyttö- ja rakennusasetus (126 a §, 5.2.1999/132) käsittelee tuulivoimalaitoksen toimenpideluvanvaraisuudesta. Tämän asetuksen mukaan tuulivoimala tarvitsee toimenpideluvan sen rakentamiseen.

2) maankäyttö- ja rakennusasetuksen (895/1999, MRA) 64 §:ssä säädetään tuulivoimalan rakennus- ja toimenpidelupahakemukseen liitettävistä selvityksistä. (49.)

Asetus toimenpidelupahakemuksen selvityksistä 64 § (895/1999, MRA) kuuluu seuraavasti:

”Jos rakennuslupaa tai toimenpidelupaa haetaan maston rakentamiseen, lupahakemukseen on liitettävä:

- 1) selvitys hankkeen vaikutuksista maisemaan ja naapureihin
- 2) selvitys hakijan lähimmistä suunnitelluista muista mastoista
- 3) selvitys siitä, onko maston tarkoitusta palvelevia yleiseen televerkkoon jo kuuluvan maston vapaita antennipaikkoja käytettävissä.

Mitä 1 momentin 1 ja 2 kohdassa säädetään, koskee soveltuvin osin lupahakemusta tuulivoimalan rakentamiseen.” (51.)

## 6.1 Lupien hakeminen

Kun mahdolliselle kaavamuutokselle ja YVA- selvitykselle on saatu hyväksyminen ja alueen omistus pohja on selvitetty, voidaan sen jälkeen hakea vaadittavia lupia paikalliselta rakennusvalvontaviranomaiselta. (52.) Paikallinen rakennusvalvontaviranomainen hoitaa vaadittavat lupamenettelyt ja sieltä selviää hankkeen luvanvaraisuus ja muut reunaehdot. (53.) Yleisesti lupamenettelyt on koettu melko sujuviksi. (39.)

Rakennuslupa vai toimenpidelupa?

Maankäyttö- ja rakennuslain 125 ja 126 §:n mukaan tuulivoimarakentaminen edellyttää aina lakiinperustuvan rakennusluvan tai vähintäänkin toimenpideluvan, riippuen paikasta. Tuulivoimaloiden rakentamisprosessissa sovelletaan samoja säännöksiä kuin muunkin rakentamisen osalla. Rakennusluvan keskimääräinen käsittelyaika on noin 2 kuukautta. (52.); (48.) Rakennuslupa myönnetään vasta kun kaikki muut luvat on kunnossa, kuten mahdolliset ympäristöluvut, vesiluvat, maanvuokraussopimukset. (21.)

MRL 126 § käsittelee toimenpideluvanvaraisuutta. Toimenpideluvalla voidaan toteuttaa ainoastaan pieniä yksityiskäyttöön osoitettuja tuulivoimahankkeita. Mikäli pieni tuulivoimala aiheuttaa huomattavia ympäristövaikutuksia, vaaditaan silloin rakennuslupa. Maankäyttö- ja rakennuslain 5.2.1999/132 mukaan toimenpideluvanvaraisuus koskee sellaisia tuulivoimaloita, ”joiden osalta lupa-asian ratkaiseminen ei kaikilta osin edellytä rakentamisessa muutoin tarvittavaa ohjausta.” (54.)

Toimenpidelupa riittää siinä tapauksessa, mikäli alue on suunniteltu tuulivoimakäyttöön maakuntakaavassa tai yleiskaavassa ja toimenpiteellä ole huomattavaa vaikutusta luontoon, ympäristön maankäyttöön tai merkittävää muutosta maisemakuvaan. Toimenpidelupaa vaaditaan, jopa rakennuksen julkisivun muuttamiseen sekä teknisen järjestelmän vaihtamiseen, mikäli se tehostaa energiatehokkuutta. (54.)

## 6.2 Poikkeaminen

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan nykyään käytetään poikkeusluvista nimitystä poikkeaminen. Lailla pyritään lisäämään kuntien harkintaa ja päätäntävaltaa ja vähentämään valtion valvontaa. (55.)

Tuulivoimarakentamisen lupaprosessit ovat yksinkertaisia kaavoitetuilla alueilla, jos suunnittelu tehdään kaavan mukaisesti. Poikkeusluvan saanti on hyvin riippuvaista sijoituspaikasta. Mikäli tuulivoimahankkeen sijoituspaikkaa ei ole määritelty yleispiirteisessä kaavoituksessa tuulivoimakäyttöön sopivaksi, vaatii hanke poikkeusta. Pääsääntöisesti poikkeusasioista ratkaisee kunta. (56.)

Poikkeusta ei myönnetä, eikä siten saa hankkeelle rakennuslupaa, mikäli hankkeella on merkittävää vaikutusta alueen luontoon tai ympäristöön sekä muuhun rakentamiseen. Yleensä tuulivoimarakentamisella on todettu olevan merkittäviä vaikutuksia ja siten vaativan asemakaavamuutoksen. (55.); (57.)

Kunnan on kuitenkin mahdollista myöntää poikkeus erityisistä syistä. Mutta poikkeuksen myöntäminen edellyttää maankäyttö ja rakennuslain 171.1 §:n mukaista tarkoituksenmukaisuus-harkintaa. Poikkeuksen voi ratkaista kunnanhallitus,

rakennusvalvontaviranomainen tai kunnallinen lautakunta tai kunnanvaltuusto, riippuen kunnasta. (55.)

Poikkeamiselle on edellytykset maankäyttö- ja rakennuslain 172 § mukaan:

”Poikkeaminen ei saa:

- 1) aiheuttaa haittaa kaavoitukselle, kaavan toteuttamiselle tai alueiden käytön muulle järjestämiselle
- 2) vaikeuttaa luonnonsuojelun tavoitteiden saavuttamista
- 3) vaikeuttaa rakennetun ympäristön suojelemista koskevien tavoitteiden saavuttamista.” (54.)

Maankäyttö- ja rakennuslain 171.2 §:n mukaan seuraavissa tapauksissa poikkeuksista ratkaisee alueellinen ympäristökeskus:

”1) uuden rakennuksen rakentaminen ranta-alueelle, jolla ei ole voimassa ranta-  
asemakaavaa,

2) vähäistä suuremmasta poikkeamisesta asemakaavassa osoitetusta rakennusoikeudesta (vähäisenä voitaneen pitää enintään 5 %:n rakennusoikeuden lisäystä, joka ei siten vaadi poikkeusta).

3) poikkeaminen rakennuksen suojelua koskevasta kaavamääräyksestä ja

4) poikkeaminen MRL 53.3 §:n mukaisesta asemakaavan hyväksymis- ja lainvoimaisuusajan välisestä rakennuskiellosta.” (55.)



### 6.3 Milloin tarvitaan vesilupaa?

Yleensä merelle tai vesistöön rakennettavien tuulivoimaloiden hankkeen toteuttajalla ei ole omistusoikeutta tai hallinto-oikeutta sijoituspaikkaan. Vesilain 2 luvun 7 §:n nojalla hakijalla täytyisi olla oikeus ainakin ”suurimmaksi osaksi”. Mutta käytännössä asia etenee, jos hakijan on mahdollista saada omistusoikeus tai mieluiten pysyvä hallintaoikeus alueeseen. Lisäksi hakijalta vaaditaan oikeus kaapelien sijoittamiseen, mikäli ei ole pysyvää hallintaoikeutta.

Vesilupaa tarvitaan käytännössä aina, kun ollaan rakentamassa suoraan vesialueelle tai mikäli rakentamisella ja toiminnalla on vaikutusta vesistöön. Vesilupaa koskevat asiat käsittelee aluehallintovirasto eli AVI ja käsittely kestää keskimäärin 2 kuukautta. (58.) Hakemuksessa on ilmoitettava vähintään hakijan ja tarkan paikan lisäksi perustelut toiminnan aloittamiselle sekä oltava liitteenä vesilain mukainen hakemussuunnitelma liiteasiakirjoineen. (39.)

Tuulivoimalan vesilupa perustuu vesilain 2:6.2 §:n mukaiseen intressivertailuun. Vesiluvan myöntämisen edellytyksenä on tuulivoimarakentamisesta koituvan hyödyn olevan siitä johtuvaan edunmenetykseen, vahinkoon tai haittaan nähden suurempi. Intressivertailussa huomioidaan hyötyinä taloudellisen hyödyn lisäksi myös päästöttömän energiantuotannon lisääntyminen. (58.)

Vesiluvan myöntämistä harkitessa otetaan huomioon haitat kalastukselle, lähialueiden asukkaille sekä mahdolliset ympäristöhaitat. Lisäksi on otettava huomioon alueen kaavoitus tai mahdollisesti laadittava kaava. (58.)

Miksi tuulivoimaloita ei rakennettaisi merelle? Tuulivoimaloiden sijoittaminen kauas merelle ei aiheuttaisi ympäristölle suurta häiriötä, kuten melua tai välkehdintää. Merituulivoimarakentaminen yksittäisinä hankkeina on huomattavasti kalliimpaa kuin maatuulivoimaloiden. Jo pelkästään rakennuskustannukset ovat niin suuret yksittäisten laitosten osalta, ettei se välttämättä pysty kattamaan kaikkia rakennuskuluja. Merituulivoimaloiden idea perustuukin suuriin merituulipuistoihin. Näin ollen, niiden tuottamalla sähköllä saataisiin katettua huomattavasti helpommin rakennuskustannukset. Merituulivoimaloiden rakentamista mietittäessä on otettava huomioon perustuksien rakentaminen sekä erityisesti kaapelien linjaukset, jotka voivat haitata muunmuassa laivaliikennettä. Kaapelit tulisivat vetää mahdollisimman kauaksi

laivareiteiltä ja suojattava talven kovilta kulutuksilta, kuten jäältä.

Merituulivoimaloiden tuottama teho on kyllä suurempi kuin maavoimaloilla, koska merellä on paremmat tuuliolosuhteet.

#### 6.4 Milloin tarvitaan ympäristölupaa?

Tuulivoimatuotanto ei kuulu ympäristönsuojelulain mukaisiin ympäristöluvanvaraisiin hankkeisiin, mutta ympäristölupaa vaaditaan tuulivoimahankkeilta silloin, jos tuulivoimatuotannosta voi olla haittaa muulle ympäristölle, kuten naapureille.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, jos sijaintialueen lähialueilla on pysyvää asutusta tai edes loma-asutusta, pitää ympäristölupaa hakea. Tämä perustuu naapuruussuhdelakiin (26/1920, pykälä 17§), jonka mukaan tuulivoimantuotannosta saattaa koitua kohtuutonta rasisusta, kuten melua (käyntiääni) tai lapojen pyörimisestä aiheutuvaa vilkkumista. Kunnan ympäristösuojeluviranomainen käsittelee lupa-asian. (59.)

## 7 HANKKEEN TOTEUTUS

Hankkeen toteuttamiskappaleessa käsitellään toimia, jotka kuuluvat tuulivoimalan rakentamiseen ja pystyttämiseen sekä osien hankintaan. Hankkeen toteuttamiseen kuuluu monia rakennusvaiheita, jotka ilmenevät liitteen 1 ajatuskaaviossa. Näitä työvaiheita ovat muun muassa maanrakennus, sähköverkkoliityntöjen ja kaapelointien asennukset sekä perustuksien rakentaminen. Lisäksi muita työvaiheita on turbiinien tilaaminen, käyttöönotto testaukset ja loppumittaukset, tiedottamiset ja vakuuttaminen sekä ukkossuojaus eli maadoittaminen ja mahdollista kaukokäyttöä varten järjestetty datayhteys. (60.)

Hanketta lähdetään toteuttamaan valitsemalla laitostoimittaja. Suomen lainsäädännön mukaan kaikkia julkisia hankintoja koskee tasapuolinen, syrjimätön kilpailutus, joka puolestaan toteutuu parhaiten julkaisemalla hankintailmoitus EU:n virallisessa lehdessä ennen tarjousten pyytämistä. Kustannuksia karsiessa kilpailuttaminen kannattaa. (60.)

### 7.1 Maanrakennus

Voimalaitosalueen sekä maanrakennustöiden suunnittelu aloitetaan usein jo esiselvitysvaiheessa. Esiselvityksen yhteydessä tehdyistä pohjatutkimuksista selviää sijoitusalueen maaperä- sekä korkeusero tietoja, joita hyödynnetään laitostyyppien sekä turbiinien tilaamisessa.

”Maanrakennustyövaiheeseen kuuluu seuraavia osatehtäviä:

- Laitosten tarkkojen sijoituspaikkojen valinta
- Maaperätutkimukset
- Maa-alueen raivaus-, täyttö- ja tasoitustarpeiden arviointi
- Perustustavan valinta, perustussuunnittelu
- Kuljetus- ja nostosuunnitelma (yleensä laitostoimittajan vastuulla)
- Laitosten pystytysalueen koko ja muoto (määräytyy kuljetus- ja pystytysvaatimusten mukaan)
- Teiden linjaus ja suunnittelu
- Ilma- ja maajohtojen linjaus, muuntamoiden sijoittelu” (62.)

Voimalaitosten tarkat sijoituspaikat ovat tärkeitä dokumentoida, jotta urakoitsijat ja suunnittelijat pystyvät edetä töissään. Suunnitteludokumentteja tarvitaan muun muassa eri lupahakemusten liitteiksi. (62.)

Pelkästään tuulivoimalan rakennuskustannukset ovat korkeat ja ne nousevat entisestään, mikäli voimalaitos ei ole helposti liitettävissä sähköverkkoon ja infrastruktuuriin. Näin ollen olennaisena osana tuulivoimarakentamista ovat sähkönsiirtoon vaadittavien voimalinjojen ja huolto sekä rakentamiseen vaadittavien liikenneväylien järkevä suunnittelu. (26.); (27.)

Konkreettiset työt sijaintialueella alkavat maan raivauksella sekä –muokkauksella, jonka jälkeen rakennetaan tiet, ojat ja perustat tuulivoimaloille. Teiden suunnittelussa on otettava huomioon niiden riittävä leveys sekä kantavuus. Yleensä riittää päällystämätön soratie. Rakennusvaiheessa teiden pitää kantaa painaviakin lasteja ja olla elementtien ja rungon toimituksen helpottamiseksi riittävän leveitä. Tien rakentamisesta ja käytöstä omalla maalla ei saa aiheutua haittaa ympäristölle eikä luonnolle. Teiden liittäminen yleiseen tiehen vaatii liittymisluvan, jota voi hakea tiehallinnon paikalliselta tiepiiriltä. (56.); (70.); (47.)

Jos kuljetaan hankealueelle naapurin tietä hyödyntäen, määrää yksityistielaki ettei siitä saa aiheutua huomattavaa haittaa. Yleensäkin hyvän rakennuskohteen vaatimuksena on riittävän laaja maapinta-ala sekä kuljetukseen ja pystyttämiseen soveltuva maapohja. (47.); (39.)

Maatuulivoimalan perustusta suunniteltaessa on tehtävä maaperätutkimus, jossa selviää onko peruskallio riittävän lähellä ja onko siihen mahdollista porata tuulivoimalalle perustukset. Mikäli peruskallio on liian syvällä, käytetään perustuksena yleensä paikan päällä valettua betonista peruslaattaa, joka kaivetaan syvälle maahan ja kuoppa täytetään louheella ja murskeella. (39.)

Merituulivoimaloiden perustuksina käytetään myös kallioporausta tai erikseen rakennettavaa saarekettä. Merituulivoimaloilla on oltava suojainen paikka veneille, jonne pääsee säällä kuin säällä. Lisäksi sijoitusalueen maan on oltava maisemoinnin jälkeen helposti muokattavissa uudelleen rakennusvaiheeseen, tuulivoimaloiden mahdollisen uusimisen takia. (39.)

## 7.2 Turbiinien tilaaminen

Tuulivoimalan turbiinien valinta ja tilaaminen voidaan aloittaa esiselvityksen ja tuulimittauksien jälkeen, ja kunnes tiedetään voimaloiden tarkat sijainnit sekä tuulisuudesta tarvittavat tiedot, kuten yleisin tuulen suunta sekä voimakkuus, pyörteisyys yms. Mittaustulosten perusteella voimalaitosvalmistajat voivat laatia oman esityksensä sijoituspaikalle ja niihin olosuhteisiin sopivimmasta ratkaisusta. Hannu Suortti toteaa: ”loppu on neuvottelutekniikkaa, millä turvataan ne mahdollisesti syntyvät epäkohdat, jotka vaikuttavat investoinnin ”hyvyyteen”, esimerkiksi huolto ja kunnossapito, takuut yms.” (21.)

## 7.3 Sähköverkkoliitännät ja kaapelointi

Sijoitusaluetta suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon sähköverkkoon liittyminen, jolla on tarvittava vahvuus, eli kyky vastaanottaa tuotettu teho ja tasoittaa tehovaihtelut. Sähköverkon rakennuttaminen tai sen vahvistaminen tuulivoimalaa varten nostaa huomattavasti hankkeen kokonaiskustannuksia. Suuret tuulivoimalahankkeet vaativat 110 kV syöttöaseman. (47.); (39.)

Merituulivoimaloiden osalta on mietittävä myös kaapelien turvallinen sijoittaminen tarpeeksi kauas laivaväylistä sekä kaapelien suojaus aalto- tai jäävoimilta. (39.)

Tavallisimpien maatuulivoimaloiden osalla kaapelit kaivetaan normaalisti maahan.

## 7.4 Pystytys

Kuljetus ja pystytystyöt kuuluvat yleensä aina laitostoimittajan vastuulle ja mikäli näin ei ole, kannattaa niistä erikseen sopia. Suomen rakennuslainsäädäntö on asettanut pätevyysvaatimukset laitostoimittajaa vastaavalle ”mestarille”, joka käytännössä valvoo kuljetus- ja pystytystyöt. Mahdollisten vaurioiden korvausvelvollisuuksien todentamiseen kannattaa tilaajalla olla omasta takaa pätevä rakennusvalvoja, joka valvoo pystytys- ja asennustöitä. (60.)

Laitoksen kuljettaminen asennus- ja sijoituspaikalle tapahtuu yleensä kuljettaen torni 2-4 osassa ja konehuone sekä lavat ja napa tulevat myös erillään. Pystyttämisessä

käytetään usein kahta nosturia, isompaa ja pienempää, joilla kootaan ensimmäiseksi torni ja sitten yleensä valmiiksi maassa koottu konehuone sekä roottori lapoineen viimeisenä. On myös mahdollista asentaa jokainen lapa erikseen tornin huipulle. (60.)

## 7.5 Käyttöönotto testaus

Käyttöönottotestaukseen lähtökohtaisesti kuuluu toimitusvalvonta. Tämä tarkoittaa toimituksen sisällöllisyyttä ja laitoksen toimivuuden varmistamista, että kaikki on saatu mitä on tilattu hankkeeseen sekä laitos toimii laitostoimittajan antamilla suoritusarvoilla. Laitostoimittaja on korvausvelvollinen, jos näin on hankintasopimuksessa määritely, mikäli laitos ei toimi luvattujen suoritusarvojen mukaisesti. (60.)

## 7.6 Rahoitus

Tuulivoima on hyvin investointivaltainen sähköntuotantomuoto, mikä tarkoittaa, että hankkeen onnistumisen edellytyksenä ovat rahoitusjärjestelyt. (63.)

Tuulivoimahankkeiden etuna on muun muassa se, että ne toimivat hyvänä investointikohteena rahoittajille. Niiden rakennusaika on huomattavan lyhyt, keskimäärin 1-1,5 vuotta, ja hankkeet ovat ns. modulaarisia, sillä tuulivoimalat valmistuvat vaiheittain ja näin ollen tuulivoimaloita saadaan sitä mukaan tuottamaan kun tuulipuiston loppuja voimaloita vasta rakennetaan. Lisäksi tuulivoimapuistoa on mahdollista laajentaa nopeasti kysynnän lisääntyessä, ilman suuria teknologisia riskejä. Merelle rakentaessa ovat riskit aina suuremmat. (63.)

Tuulivoiman tietopaketin mukaan: ”suurimpia tuulivoimahankkeiden rahoitusta hankaloittavia tekijöitä ovat:

- Korkea ominaisinvestointikustannus (€/kW)

- Pienillä hankkeilla korkeat rakennus- ja käyttökustannukset

- Tuotannon sääriskit

- Poliittiset riskit (tukipolitiikan muutokset)” (64.)

Yksi rahoitusratkaisu tuulivoimahankkeille on projektirahoitus. Hankkeen on rahoitettava itsensä, eikä esim. emoyhtiön taseesta. Projektirahoituksessa noin 20 – 30 % hankkeen investoinnista katetaan omalla pääomalla ja loput 70 – 80 % ovat yleensä lainaa. Lakiehdot tuulivoimalahankkeille ovat yleensä lähes samat kuin esimerkiksi normaalissa asuntolainassa, korko noin 7 – 8 %, laina-aika 15 vuotta, joka hoidetaan tasaerälyhennyksin. Tuottovaatimus (IRR eli Internal Rate of Return) yleensä on noin 10 – 15 % / 15 vuotta. Usein järjestetään pari ensimmäistä vuotta lyhennysvapaiksi, joka helpottaa taloudellisesti hankkeen alkuun pääsemistä. Lisäksi lainapaketti voidaan koostaa useasta osasta ja erilaisin maksuehdoin. Erityisesti erilaiset kehitys pankit myöntävät edullisia lainoja tuulivoimahankkeille. Kaikesta huolimatta, hankkeen suunnittelu- ja rakennusvaiheessa kannattaa varautua yllättäviin kustannuksiin, joiden kattamiseksi on hyvä olla väliaikaisia rahoitusratkaisuja. (65.)

## 7.7 Tiedottaminen

Julkinen tiedottaminen ja keskustelutilaisuudet tuulivoimahankkeesta paikallisen ympäristöviranomaisen ja voimalaitosalueen naapureiden kanssa on tärkeää, koska tiedottaminen hyvissä ajoin ja informatiivisesti auttaa hankkeeseen suhtautumisessa ja kaikki tahot saavat mahdollisuuden vaikuttaa hankkeeseen. Tuulivoimahankkeiden hyväksymisellä on suuri merkitys, riittävän suuri vastustava kanta voi jopa estää hankkeen toteutumisen. Julkinen tiedottaminen voidaan aloittaa vasta, kun hankkeen sijaintialueen maanomistajuus, eli ostosopimus tai vuokraussopimus, on kunnossa. (66.)

Hannu Suortti, Kotkan Energia Oy:stä selvensi asiaa: ”mikäli hankkeen toteuttajana on osakeyhtiö tai muu kuin kunnallinen tai valtion omistama yhtiö, silloin ei rajoita virallisia hankintoja koskeva lainsäädäntö, mutta kunnan tai valtion omistaman yhtiön on automaattisesti laitettava EU:n viralliseen lehteen ilmoitus hankkeesta.” (21.) Eli jos hanke kuuluu YVA-prosessin alaisuuteen, kuuluu siihen pakollisena osana julkinen tiedottaminen ja keskustelutilaisuudet. (66.)

## 7.8 Vakuuttaminen

Tuulivoimaloiden vakuuttaminen on suunniteltava täysin hankekohtaisesti, sillä siihen vaikuttavat omistajuus sekä kuinka suuria äkillisiä menoja laitoksen omistajan kassa ja tase kestävät. Vakuutusmaksujen osuus vuotuisista käyttökuluista on noin kolmasosa, riippuen vakuutuksien kattavuudesta. Viime vuosina vakuutusyhtiöt ovat tiukentaneet ehtoja ja vakuutusmaksut ovat nousseet laiterikkojen myötä. Vakuuttaminen on nykyään kallista, mutta kannattaa vertailla eri vakuutusyhtiöitä ja neuvotella ehdoista. Esimerkiksi, Tapiola ja saksalainen Gothaer ovat erikoistuneet tuulivoimaloiden vakuuttamiseen. (67.); (68.)

## 7.9 Takuu & huolto

Yleensä tuulivoimaloita koskeva materiaalitakuu (vähintään 2 vuotta) ja käytettävyystakuu, jolla taataan esimerkiksi 95 % käyttöaste, on sisällytetty hankintasopimukseen. Yleensä takuuajana edellytetään kunnossapitosopimuksen voimassaoloa laitostoimittajan kanssa ja ns. ”merkkihuoltoa”, jotta takuu astuu voimaan, mutta takuuajan umpeuduttua omistajalla on vaihtoehtoina hoitaa käyttö- ja kunnossapito itse tai ostaa alihankintana. (69.)

Säännöllinen ja toimiva huolto ja kunnossapito luovat vakaan pohjan hankkeen taloudelliselle onnistumiselle, tämän takia huoltosuunnitelma kannattaa laatia hyvissä ajoin ja huolellisesti. Huoltosuunnitelmaa on syytä noudattaa, jotta välttytään pahoilta seurauksilta. (69.)

Etenkin suuret riskit kohdistuvat tuulivoimalan lapoihin, jotka ovat suuren kulutuksen kohteena ja ne ovatkin syytä tarkastaa vähintään vuoden välein, ellei ole sattunut ulkoisista tekijöistä aiheutuvaa vahinkoa. Mikäli korjattavaa löytyy, tehdään siipien laminointi ja muut korjaustyöt paikan päällä tai vaihtoehtoisesti voidaan vaihtaa kaikki lavat. Lavat vaihdetaan aina kaikki kerralla, sillä ne valmistetaan identtisiksi tiettyihin tuuliolosuhteisiin, joten yksittäiskappaleita ei ole yleensä saatavilla. Lisäksi kannattaa huomioida voimalaitoksien huoltamisessa riittävä ja tasokas huoltohenkilökunta, joilla on sopiva koulutus ja saatavilla riittävät varaosajärjestelyt.



## 7.10 Loppumittaukset

Tuulivoimahankkeen viimeisenä vaiheena ovat loppumittaukset. Loppumittaukset voi suorittaa erillinen ja niihin erikoitunut yritys, joka toimii valtioneuvoston ohjeiden mukaisesti. (21.)

Loppumittauksen tarkoituksena on taata voimalaitoksen varma ja oikeanlainen toiminta jatkossa. Loppumittaukset suoritetaan yleensä kolmen viikon testijaksona, jolloin mitataan kaikenlaisia haittavaikutuksia, kuten välkettä ja melua (melukartoitus). Mikäli voimalaitos tuottaa joillakin kierrosnopeuksilla liiallista melua, on laitoksen käyttöä rajoitettava. Melukartoituksia tehdään tarpeen vaatiessa standardin IEC 61400-11 mukaisesti. Välkkeeseen vaikuttaa suuresti lapojen muotoilu, nykyään saatu välkehdintää huomattavasti pienemmäksi. Lisäksi loppumittauksissa tarkastetaan sähköverkon suojaukset, jotka ovat raportoitava sähköverkon haltijalle. (21.)

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia ohje tuulivoimarakentamisesta. Työssäni päädyin tulokseen, jossa tuulivoimahankkeen kaikki vaiheet ovat yhtä tärkeitä, eikä siten voida yhtäkään jaotella muita tärkeämmäksi. Hanke lähtee etenemään ideasta, jonka voi kuka vain yksityinen henkilö tai yritys osoittaa. Hankkeen toteutumista voidaan nopeuttaa aloittamalla vaiheet mahdollisimman varhaisessa vaiheessa sekä hoitamalla kunnolla mahdolliset selvitykset sekä luvat.

Tuulivoimahanke-idean jälkeen alkaa esiselvitys, jossa linjataan projektin vaatimukset ja tavoitteet sekä pohjatiedot ja yleensä parhain sijoituspaikka. Sijoitusalueen maa täytyy hankkia omistuskäyttöön tai aloittaa vuokraneuvottelut, jonka jälkeen on mahdollista aloittaa alustavat maanrakennus ja – muokkaustyöt. Tiedottaminen kannattaa aloittaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jolloin muun muassa naapureilla on mahdollisuus ottaa kantaa ja vaikuttaa hankkeeseen. Yleisten keskustelutilaisuuksien myötä hanke saa positiivisemmän kannatuksen.

Aluehankintojen jälkeen voidaan aloittaa noin vuoden mittaiset tuulisuusmittaukset, joista saadaan laskettua kannattavuuslaskelmat ja tehdään varsinainen päätös hankkeen toteutumisesta.

Päätös hankkeen jatkamisesta voi edellyttää YVA-menettelyä, kaavamuutoksia sekä erikoislupia, kuten vesilupa tai ympäristölupa. Hankkeen toteuttamispäätöksen jälkeen neuvotellaan lopullisista sopimuksista. Tuulivoimalan pystyttämisen jälkeen suoritetaan käyttöönottotestaukset sekä lopulliset mittaukset.

Opinnäytetyön on tarkastanut Hannu Suortti, Kotkan Energia Oy:stä sekä Hannu Sarvelainen ja Marko Piispa Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta Kotkasta. Saamani palautteen perusteella, opinnäytetyöni sisältää tarvittavat pääkohdat.

## LÄHTEET

1. Kotkan Energia Oy. Kotka Energia Oy:n internetsivut. Saatavissa: [http://www.kotkanenergia.fi/kotkan\\_energia](http://www.kotkanenergia.fi/kotkan_energia) [viitattu 1.11.2013]
2. Kotkan Energia Oy vuosikertomus 2011. Kotka Energia Oy:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.kotkanenergia.fi/vuosikertomus2011/web.html> [viitattu 1.11.2013]
3. Mussalon tuulipuistoon kaksi uutta tuulivoimalaa. Kotka Energia Oy:n internetsivut. Saatavissa: [http://www.kotkanenergia.fi/uutiset/mussalon\\_tuulipuistoon\\_kaksi\\_uutta\\_tuulivoimalaa](http://www.kotkanenergia.fi/uutiset/mussalon_tuulipuistoon_kaksi_uutta_tuulivoimalaa) [viitattu 1.11.2013]
4. Mitä tuuli on? Tuulivoimatietosivusto. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/tuuli> [viitattu 1.11.2013]
5. Mitä tuuli on? Suomen tuuliatlas internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus\\_2.html](http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_2.html), [viitattu 1.11.2013]
6. Google. Saatavissa: [https://www.google.fi/search?q=tuulivy%C3%B6hykkeet&espv=210&es\\_sm=122&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=UrRzUo9cp7PgBIL0gdAN&ved=0CAkQ\\_AUoAQ&biw=1920&bih=912#facrc=\\_&imgdii=drgDb4tQ9WEK5M%3A%3BxzTOxEwrBxgrwM%3BdrgDb4tQ9WEK5M%3A&imgrc=drgDb4tQ9WEK5M%3A%3BvtijWO8LlwNkiM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252Fcommons%252Fthumb%252F%252F7e%252FPlanetaarinen\\_tuulijarjestelma1.PNG%252F350px-Planetaarinen\\_tuulijarjestelma1.PNG%3Bhttp%253A%252F%252Ffi.wikipedia.org%252Fwiki%252FPlanetaariset\\_tuulet%3B350%3B348](https://www.google.fi/search?q=tuulivy%C3%B6hykkeet&espv=210&es_sm=122&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=UrRzUo9cp7PgBIL0gdAN&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1920&bih=912#facrc=_&imgdii=drgDb4tQ9WEK5M%3A%3BxzTOxEwrBxgrwM%3BdrgDb4tQ9WEK5M%3A&imgrc=drgDb4tQ9WEK5M%3A%3BvtijWO8LlwNkiM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252Fcommons%252Fthumb%252F%252F7e%252FPlanetaarinen_tuulijarjestelma1.PNG%252F350px-Planetaarinen_tuulijarjestelma1.PNG%3Bhttp%253A%252F%252Ffi.wikipedia.org%252Fwiki%252FPlanetaariset_tuulet%3B350%3B348) [viitattu 1.11.2013]
7. Tuulet. Tuulitietopaketti. Saatavissa: <http://peda.net/veraja/iitti/lukio/ari/ge1/sade> [viitattu 1.11.2013]
8. Tuulitiedot Suomen kartalla. Suomen tuuliatlas internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html#> [viitattu 2.12.2013]
9. Tuulivoima. Energiateollisuus internetsivut. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/tuulivoima> [viitattu 25.3.2013].

10. Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen. 2013. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus 2008.
11. Käytön vaikutukset. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimatieto.fi/kayton\\_vaikutukset](http://www.tuulivoimatieto.fi/kayton_vaikutukset) [viitattu 26.1.2014]
12. Tutkavaikutukset. Energiateollisuus internetsivut. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/tuulivoima/tutkavaikutukset> [viitattu 25.1.2014]
13. Tuulivoima. Suomen tuuliatlas internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/tuulivoima/> [viitattu 25.1.2014]
14. Turbiinitekniikka. Turbiinitekniikan Moodle-materiaali. Syksy 2013. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu. [viitattu 16.11.2013]
15. Haapanen, E. 2004. Tuulivoimatekniikka. Kevät 2014. Saatavissa: [www.tuulitaito.fi/Artikkelit/tuulivoimatekniikka\\_luento.ppt](http://www.tuulitaito.fi/Artikkelit/tuulivoimatekniikka_luento.ppt) [viitattu 25.3.2014]
16. Pystyaxseliset tuuliturbiinit. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/pystyaxseliset> [viitattu 3.3.2014]
17. Tuulivoimatuotanto. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatuotanto> [viitattu 3.3.2014]
18. Tuulivoimalan komponentit. Saatavissa: [wind.vei.fi/public/index.php?cmd=smarty&kid=14\\_lfi Tekninen tieto->tuulivoimala->komponentit](http://wind.vei.fi/public/index.php?cmd=smarty&kid=14_lfi_Tekninen_tieto->tuulivoimala->komponentit) [viitattu 2.12.2013]
19. Tuulivoimalan rakenne. Saimaa Gardens Services internetsivut. Saatavissa: [www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=77](http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=77) [viitattu 2.12.2013]

20. Säättötavat. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/saatotapa> [viitattu 3.1.2014]
21. Suortti, Hannu. Projekti-insinööri. Kotkan Energia Oy. Haastattelu 3.1.2014
22. Nahkuri, P. 2012. Tuulivoimateollisuuden materiaali- ja tavaravirran selvitys. Opinäytetyö. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45662/Nahkuri\\_Pekka.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45662/Nahkuri_Pekka.pdf?sequence=1) [viitattu 22.1.2014]
23. Tuulivoimasta perustietoa. Suomen Tuulienergia- FWF Oy:n internet sivut. Saatavissa: [http://www.suomentuulienergia.fi/perustietoa\\_1.html](http://www.suomentuulienergia.fi/perustietoa_1.html), [viitattu 22.1.2014]
24. Tuulivoimaprojekti. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimaprojekti> [viitattu 10.1.2014]
25. Esiselvitys. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/esiselvitys> [viitattu 30.11.2013]
26. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CEEQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B848F701E-CB71-4C84-8325-F4E235DF5E6F%257D%2F78641&ei=KszPUrOgOIHk4wTZ\\_4GQDQ&usg=AFQjCNHDMCw6Y0QTu9xpOUqM\\_YBWCQWTGQ&bvm=bv.59026428,d.bGE](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CEEQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B848F701E-CB71-4C84-8325-F4E235DF5E6F%257D%2F78641&ei=KszPUrOgOIHk4wTZ_4GQDQ&usg=AFQjCNHDMCw6Y0QTu9xpOUqM_YBWCQWTGQ&bvm=bv.59026428,d.bGE) [viitattu 10.1.2014]
27. Tuulisuus ei yksin ratkaise sijoituspaikkaa. Tuulivoimaopas.fi- internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimaopas.fi/yleista\\_tuulivoimasta/voimalan\\_sijoittaminen](http://www.tuulivoimaopas.fi/yleista_tuulivoimasta/voimalan_sijoittaminen) [viitattu 10.1.2014]
28. Tuulivoima. Tuulivoimalan mitoitus. Suomen tuuliatlas internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html> [viitattu 10.1.2014]

29. Tuuliatlaksen ajallinen edustavuus. Mallinnus. Suomen tuuliatlas internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuuliatlas.fi/mallinnus/mallinnus\\_6.html](http://www.tuuliatlas.fi/mallinnus/mallinnus_6.html) [viitattu 10.1.2014]
30. Alueen etsintä. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimatieto.fi/alueen\\_etsinta](http://www.tuulivoimatieto.fi/alueen_etsinta) [viitattu 10.1.2014]
31. Alueen hankinta. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimatieto.fi/alueen\\_hankinta](http://www.tuulivoimatieto.fi/alueen_hankinta) [viitattu 10.1.2014]
32. Esiselvitys. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/esiselvitys> [viitattu 30.11.2013]
33. Sopimukset. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/sopimukset> [viitattu 15.1.2014]
34. Tuet tuulivoiman rakentamiselle. Tuulivoimaopas.fi-internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimaopas.fi/yleista\\_tuulivoimasta/tuet\\_tuulivoimalle](http://www.tuulivoimaopas.fi/yleista_tuulivoimasta/tuet_tuulivoimalle) [viitattu 25.1.2014]
35. Tuulimittaukset. Tuulimittaukstekniikkaa. Medvind tuulivoimaportaali internetsivut. Saatavissa: [http://wind.vei.fi/public/index.php?cmd=smarty&id=88\\_lfi](http://wind.vei.fi/public/index.php?cmd=smarty&id=88_lfi) [viitattu 30.11.2013]
36. ASC model 4000 SODAR. WES Engineering LLC raportti. Saatavissa: [http://www.wesengineering.com/docs/SODAR\\_services\\_WES\\_Engineering\\_LLC\\_2009.pdf](http://www.wesengineering.com/docs/SODAR_services_WES_Engineering_LLC_2009.pdf) [viitattu 3.3.2014]
37. LIDAR-tuulimittausjärjestelmä. ZephIR Lidar internetsivut. Saatavissa: <http://www.zephirlidar.com/image-gallery> [viitattu 3.3.2014]
38. Ympäristövaikutukset. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/ymparistovaikutukset> [viitattu 26.1.2014]

39. Hannu Suortti, Kotka Energia Oy:n aineisto [viitattu 24.1.2014]
40. YVA-menettely. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/YVA> [viitattu 10.1.2014]
41. YVA-selvitys. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimatieto.fi/YVA\\_selvitys](http://www.tuulivoimatieto.fi/YVA_selvitys) [viitattu 24.1.2014]
42. Hankkeiden vaikutusten arviointi. terveyden ja hyvinvoinnin laitos- internetsivut. Saatavissa: [http://www.thl.fi/fi\\_FI/web/fi/tutkimus/tyokalut/iva/milloin/hankkeet](http://www.thl.fi/fi_FI/web/fi/tutkimus/tyokalut/iva/milloin/hankkeet) [viitattu 24.1.2014]
43. Tutkavaikutukset. Tuulivoimaopas.fi internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimaopas.fi/ymparisto- ja\\_muut\\_vaikutukset/tutkavaikutukset](http://www.tuulivoimaopas.fi/ymparisto- ja_muut_vaikutukset/tutkavaikutukset) [viitattu 25.1.2014]
44. Tuulivoimahankkeen vaikutukset tutkiin ja muihin Puolustusvoimien toimintoihin. Suomen Tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tutkat> [viitattu 11.5.2014]
45. Laki tuulivoiman kompensatioalueista. Finlex.fi- internetsivut. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130490> [viitattu 25.1.2014]
46. Sopimukset. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/sopimukset> [viitattu 15.1.2014]
47. Sähkön omatuotanto tuulivoimalaitoksella. Etelä-Pohjanmaan Energiatoimisto Thermopolis Oy:n internetsivut. Saatavissa: [http://www.thermopolis.fi/UserData/doc/Uusiutuva\\_energia/Tuulivoimala\\_opas.pdf](http://www.thermopolis.fi/UserData/doc/Uusiutuva_energia/Tuulivoimala_opas.pdf) [viitattu 26.1.2014]
48. Tuulivoiman lupa- ja kaavoitusasiat. Varsinais- Suomen ELY-keskus. Luentosarja. Saatavissa: <http://www.valonia.fi/public/download.aspx?ID=145736&GUID=%7BFBE72DAA-FA5E-4289-AA29-1162760DAF20%7D> [viitattu 2.1.2014]

49. Kaavoitus. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/kaavoitus> [viitattu 2.1.2014]
50. Maakuntakaava. Ympäristöministeriön esite. 2004. Saatavissa: [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&ved=0CEUQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B94F8848F-7786-41A5-918B-479ABE33FB24%257D%2F37627&ei=h3HFUq\\_EJMe84ATA5YHoAw&usg=AFQjCNFUmYRI-W58Q8eYWVRqP2UbrKCp8w&bvm=bv.58187178,d.bGE](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&ved=0CEUQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B94F8848F-7786-41A5-918B-479ABE33FB24%257D%2F37627&ei=h3HFUq_EJMe84ATA5YHoAw&usg=AFQjCNFUmYRI-W58Q8eYWVRqP2UbrKCp8w&bvm=bv.58187178,d.bGE) [viitattu 2.1.2014]
51. Maankäyttö- ja rakennusasetus. 10.9.1999/895. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895> [viitattu 7.1.2014]
52. Luvat. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/luvat> [viitattu 2.1.2014]
53. Rakennushanke. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Ympäristö.fi-internetsivut. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke> [viitattu 15.1.2014]
54. Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132> [viitattu 7.1.2014]
55. Lupia koskevat poikkeamiset. MTK.fi – internetsivut. Saatavissa: [http://www.mtk.fi/reppu/kaavoitus\\_maankaytto\\_rakentami/lupajarjestelmat/fi\\_FI/luvat\\_poikkeaminen/](http://www.mtk.fi/reppu/kaavoitus_maankaytto_rakentami/lupajarjestelmat/fi_FI/luvat_poikkeaminen/) [viitattu 26.2.2014]
56. Rakennuslupa – mitä kaikkea siihen kuuluukaan. Rakennuslupa.fi – internetsivut. Saatavissa: <http://www.rakennuslupa.fi/> [viitattu 4.2.2014]
57. Tuulivoimaa helpommin teollisuusalueille ja satamiin. Turun Sanomat. 21.8.2013. Saatavissa: <http://www.ts.fi/uutiset/kotimaa/525431/Tuulivoimaa+helpommin+teollisuusalueille+ja+satamiin> [viitattu 2.4.2014]



58. Vesilupa. Tuulivoimaopas.fi – internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimaopas.fi/lupamenettelyt/vesilupa> [viitattu 23.1.2014]
59. Ympäristölupa. Tuulivoimaopas.fi – internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimaopas.fi/lupamenettelyt/ymparistolupa> [viitattu 20.1.2014]
60. Rakentamisen aloitus. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimatieto.fi/rakentamisen\\_aloitus](http://www.tuulivoimatieto.fi/rakentamisen_aloitus) [viitattu 28.1.2014]
61. Rakentamisen suunnittelu. Tuulivoimaopas.fi – internetsivut. Saatavissa: [http://www.tuulivoimaopas.fi/tuulivoimarakentamisen\\_suunnittelu](http://www.tuulivoimaopas.fi/tuulivoimarakentamisen_suunnittelu) [viitattu 12.5.2014]
62. Infra. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/infra> [viitattu 20.1.2014]
63. Rahoitussuunnittelu. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/rahoitussuunnittelu> [viitattu 28.1.2014]
64. Rahoitus. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/rahoitus> [viitattu 28.1.2014]
65. Projektirahoitus. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/projektirahoitus> [viitattu 28.1.2014]
66. Tiedottaminen. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/tiedottaminen> [viitattu 1.2.2014]
67. Vakuutukset. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/vakuutukset> [viitattu 4.2.2014]

68. Tapiola mukaan Euroopan laajuiseen tuulivoiman vakuuttamiseen. LähiTapiola. Uutistiedote. Saatavissa: [http://www.lahitapiola.fi/www/Tapiola\\_ryhma/Lehdistopalvelut/Lehdistotiedotteet/Tapiola+mukaan+Euroopan+laajuiseen+tuulivoiman+vakuuttamiseen.htm](http://www.lahitapiola.fi/www/Tapiola_ryhma/Lehdistopalvelut/Lehdistotiedotteet/Tapiola+mukaan+Euroopan+laajuiseen+tuulivoiman+vakuuttamiseen.htm) [viitattu 4.2.2014]
69. Takuut. Tuulivoiman tietopaketti. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/takuut> [viitattu 1.2.2014]
70. Roslund, J. 2011. Tuulivoimalaitosprojektin vaiheet. Opinnäytetyö. Tuulivoimalaitosprojektin vaiheet. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37368/Roslund\\_Janne.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37368/Roslund_Janne.pdf?sequence=1) [viitattu 23.3.2014]
71. Taulukko 1. Tuulivoimalan aiheuttaman äänen vaimeneminen. Suomen tuulivoimayhdistys ry:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/melu> [viitattu 14.4.2014]
72. Ison tuuligeneraattorin roottorin ja staattorin rakennetarkastelu. Käyhty, H. Diplomityö. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95621/DI-TY%C3%96.pdf?sequence=2> [viitattu 23.4.2014]

