

Tuulivoiman projektiopas

Tuulivoiman projektiopas

Energia-Ekono Oy

ISBN 952-5304-04-3

ISSN 1456-4483

Copyright Motiva, Helsinki, 1999

Julkaisusarjan ulkoasu ja taitto: Meridian X Oy ja Eija Jaskari, Diktio Oy

Esipuhe

Tuulivoiman projektiopas on sähkön tuottaja- ja jakeluyhtiöiden päättäjille, kunnille ja muille maankäyttö- ja lupaviranomaisille, sekä muille asiasta kiinnostuneille suunnattu tietopaketti, jonka tavoitteena on tarjota tiiviissä muodossa tuulivoimaprojektin käynnistämiseen ja loppuunviemiseen tarvittavat keskeiset tiedot. Rajallisesta sivumäärästä johtuen opas ei luonnollisestikaan voi olla kovin yksityiskohtainen. Lähinnä tarkoituksena on helpottaa kokonaiskuvan hahmottamista kaikista tuulivoimaprojektin toteuttamiseksi tarvittavista toimenpiteistä. Eri aihepiireistä on saatavilla tietoa oppaan lopussa luetelluista lähteistä.

Oppaan rakenne on pyritty järjestämään siten, että samassa osassa (osat I - III) esitellyt työvaiheet kannattaa pääsääntöisesti käynnistää ja saattaa päätökseen kutakuinkin samoihin aikoihin. Monet työvaiheet (esim. luku 2, luku 4 ja luku 5) ovat kuitenkin luonteeltaan sellaisia, että niihin liittyviä toimenpiteitä joudutaan tekemään ja tarkentamaan projektin kuluessa useaan otteeseen. Näin ollen oppaan sisällysluettelo on enemmänkin aihepiireittäinen kuin kronologinen. Oppaan kokoamisen, painamisen ja jakelun on rahoittanut Motiva.

Materiaalin on koonnut ja toimittanut Energia-Ekono Oy:n projektiryhmä. Projektipäällikkönä toimi DI Esa Holttinen, joka myös laati yhdessä DI Jari Keinäsen kanssa pääosan raportin sisällöstä. Luvut 2.3 - 2.4 laati KTM Marjo Paavola, luvun 2.5 TkT Heli Antila, luvun 4 DI Sari Sarin ja MMM Mika Pohjonen, ja luvun 6 KTM Talvikki Mäkelä. Luvun 7 laatimisessa on hyödynnetty DI Harri Lamminmäen ja luvun 8.3 laatimisessa insinööri Jarmo Hämäläisen asiantuntemusta.

Energia-Ekonon projektiryhmän jäsenet ovat osallistuneet moniin eri puolille Suomea suunniteltuihin ja toteutettuihin tuulivoimaprojekteihin niiden eri vaiheissa. Projektioppaan materiaali perustuu suurimmaksi osaksi näihin omakohtaisiin kokemuksiin. Oppaan laatimisessa on käytetty myös runsaasti kirjallista lähdemateriaalia. Käytetyt lähdeoteokset on lueteltu oppaan lopussa.

Oppaan sisältöä ovat luonnosvaiheessa kommentoineet seuraavat henkilöt: Mika Anttonen/kauppa- ja teollisuusministeriö, Herbert Byholm/Vindkraftförningen r.f., Kimmo Dahl/Tunturituuli Oy, Jorma Jantunen/ympäristöministeriö, Aarne Koutaniemi/Lumituuli Oy, Robert Mansén/Ålands Teknologisentrum, Timo Mäki/Hyötytuuli Oy, Mauno Oksanen/Vapon Tuulivoima Oy, Kari Pakarinen/Suomen Kuntaliitto, Eero Pere/Sener, Bengt Tammelin/Suomen Tuulivoimayhdistys r.y., Sirkka Vilkkamo/kauppa- ja teollisuusministeriö, Mika Anttonen/kauppa- ja teollisuusministeriö.

Viime kädessä oppaan sisällöstä vastaa Energia-Ekono Oy:n projektiryhmä, ja tekstissä ilmaistut näkemykset, mielipiteet ja suositukset ovat kirjoittajien omia.

Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| 1 Johtanto; Yleistä tuulivoimasta | 6 |
| 1.1 Teknillistaloudellinen kehitysaste ja käytön levinneisyys | 6 |
| 1.2 Tuulivoiman aerodynaamiset ja meteorologiset perusteet | 9 |
| 1.3 Tuulivoimalaitosten tekniikkaa | 11 |
| 1.4 Taloudellisuuskysymyksiä | 12 |
| | |
| Osa I – Projektin käynnistäminen | |
| | |
| 2 Projektin organisointi | 16 |
| 2.1 Yleistä | 16 |
| 2.2 Paikallinen sähkön myyjä toteuttajana ja omistajana | 19 |
| 2.3 Erillinen tuulivoimaosakeyhtiö | 20 |
| 2.4 Osuuskunta | 23 |
| 2.5 Tuulivoiman tuottajan sopimukset | 24 |
| 2.6 Informointi | 28 |
| 2.7 Mistä apua projektin organisointiin liittyvissä asioissa | 29 |
| 3 Projektin toteutusedellytykset | 31 |
| 3.1 Sijointipaikan valinta | 31 |
| 3.2 Hankkeen taloudellisuus | 39 |
| 3.3 Mistä apua esiselvityksiin liittyvissä asioissa | 46 |
| | |
| Osa II – Toteutuksen valmistelu | |
| | |
| 4 Rahoitusjärjestelyt | 49 |
| 4.1 Omarahoitus ja lainapääoma | 49 |
| 4.2 Tukimuodot | 51 |
| 4.3 Mistä apua rahoitusjärjestelyihin liittyvissä kysymyksissä | 52 |
| 5 Maankäytölliset tekijät ja ympäristövaikutusten arviointi | 53 |
| 5.1 Kaavoitusasiat | 53 |
| 5.2 Maa-alueen hankinta | 55 |
| 5.3 Rakennusluvan hakeminen | 56 |
| 5.4 Muut tarvittavat luvat | 59 |
| 5.5 Ympäristövaikutukset ja niiden huomioon ottaminen | 68 |
| 5.6 Mistä apua maankäyttö-, lupa- ja ympäristöasioissa | 76 |
| 6 Tuulivoimalaitoksen valinta | 77 |
| 6.1 Tuulivoimalaitostyytit | 77 |
| 6.2 Laitosvalmistajia | 85 |
| 6.3 Tarjouspyynnön laatiminen | 89 |
| 6.4 Tarjousten arviointi | 90 |
| 6.5 Mistä apua laitoksen valinnassa | 93 |

Osa III – Toteutussuunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto

| | |
|---|-----|
| 7 Sopimusvaihe | 94 |
| 7.1 Eri toteutusmalleja | 94 |
| 7.2 Hankintasopimuksen laatiminen ja sopimusneuvottelut | 97 |
| 8 Toteutussuunnittelu ja -valvonta | 100 |
| 8.1 Voimalaitosalueen suunnittelu | 100 |
| 8.2 Perustaminen, maa- ja tierakentaminen | 101 |
| 8.3 Sähkötyöt | 103 |
| 8.4 Laitoksen kuljetus ja pystytys | 106 |
| 8.5 Käyttöönotto | 108 |
| 8.6 Suoritusarvojen testaus | 109 |
| 9 Projektin jälkihoito | 111 |
| 9.1 Vakuutukset | 111 |
| 9.2 Takuut, huoltosopimukset, varaosat, koulutus, manuaalit | 111 |
| 9.3 Tiedottaminen, opastus, tuotannon seuranta | 112 |
| | |
| Osa IV – Yhteenveto | |
| | |
| 10 Projektin kulku | 114 |
| 10.1 Eri toteutustapoja | 114 |
| 10.2 Kokonaisaikataulu | 118 |
| 10.3 Kustannusarvio | 120 |
| | |
| Lähdeviitteet | 121 |
| Kirjallisuutta | 122 |
| Internet-osoitteita | 123 |
| | |
| Liite 1 Esimerkkejä toteutetuista projekteista | 124 |
| Liite 2 Alalla toimivia yrityksiä | 131 |
| Liite 3 TE-keskusten yhteystiedot | 134 |

1.1 **Teknitaloudellinen kehitysaste ja käytön levinneisyys**

Tuulienergian hyödyntämistä laajamittaiseen sähkön tuotantoon alettiin tutkia ensimmäisen öljykriisin seurauksena 1970-luvun puolivälissä. Joitakin prototyyppilaitoksia oli tosin rakennettu jo toisen maailmansodan jälkeisinä vuosikymmeninä.

1970-luvun lopulla ja 1980-luvun alussa tutkimus keskittyi useiden megawattien tehoisiin koelaitoksiin, joiden dimensiot olivat 60 - 100 m kokoluokkaa. Nämä yksittäisinä hankkeina tehdyt koelaitokset osoittautuivat epätaloudellisiksi.

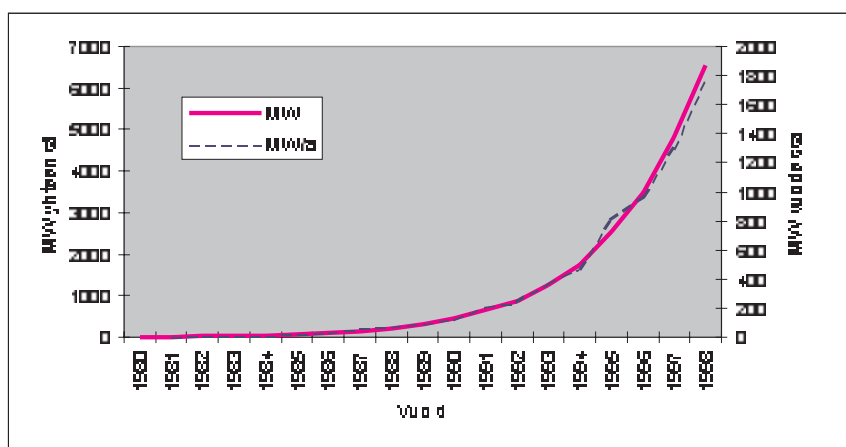
Tanskassa ja Kaliforniassa käynnistyi 1970 - 80-lukujen vaihteessa eri suuntainen kehitys; verohelpotusten ja investointitukien avulla pienistä, 10 - 55 kW laitoksista tuli taloudellisesti kannattavia, ja niiden valmistusmäärät alkoivat kasvaa nopeasti. Yritystoiminta oli aluksi amatöörimäistä, ja laitokset tästä johtuen epäluotettavia. Valmistusmäärien kasvaessa tekniikka kuitenkin kehittyi nopeasti; valmistuskustannukset laskivat, luotettavuus parani, ja laitoksen koko alkoi kasvaa nopeasti. 1980-luvun lopussa valmistettiin jo 200 - 450 kW laitoksia sarjatuotantona.

Vuodesta 1980 tuulivoiman tuotantokustannukset ovat laskeneet vähintään tekijällä 3. Nykyään laitosvalmistajat takaavat laitoksille 95 % tai jopa 97 % teknisen käytettävyyden, ja kaikilla johtavilla valmistajilla on ISO 9001 -laatusertifiointi. Tällä hetkellä (1999) suurimmat kaupalliset tuulivoimalaitokset ovat nimellisteholtaan 1000 - 1650 kW, ja suurempia, todennäköisesti 2 - 3 MW laitoksia, on tulossa markkinoille lähivuosina erityisesti offshore-sovelluksiin. Jopa 5 MW laitoksia on kehitteillä.

Tuulivoima on nopeimmin kehittyvä energiantuotantotapa; 1990-luvulla tuulivoiman tuotanto on maailmanlaajuisesti kasvanut keskimäärin 25 - 30 % vuodessa. Kesällä 1999 asennettua tuulivoimakapasiteettia oli maailmanlaajuisesti jo yli 11000 MW. Tuulivoimatekniikka on täysin kaupallisella asteella ja se on korkeatasoista. Tekniikan kehitys on erittäin nopeaa, varsinkin suhteutettuna tutkimus- ja kehitystyöhön panostettuun rahamäärään. Tuulivoimaa pidetään yhtenä lupaavana uusiutuvia energialähteitä hyödyntävänä teknologiana.

Useissa Länsi-Euroopan maissa on tuulivoiman kaupallistamisohjelmien tuloksena rakennettu viime vuosina huomattavia määriä tuulivoimaa; Saksassa asennettua kapasiteettia oli kesällä 1999 yli 3000 MW, josta 793 MW rakennettiin vuonna 1998. Tanskassa tuulivoimaa oli samana ajankohtana yli 1500 MW ja vuotuinen installoitu kapasiteetti noin 300 MW. Espanjassa tuulivoimaa oli noin 1100 MW, ja vuoden 1999 aikana uutta kapasiteettia tullaan kaikkiaan rakentamaan ehkä jopa 1000 MW. Hollannissa ja Isossa-Britanniassa molemmissa oli vajaat 400 MW tuulivoimaa. Länsi-Euroopan ohella Yhdysvallat on merkittävä tuulivoiman kehittäjä; siellä tuulivoimatehoa oli kesällä 1999 noin 2500 MW, josta noin 1000 MW rakennettiin 12 kuukauden jaksolla heinäkuusta -98 kesäkuuhun -99.

Vuonna 1998 uutta tuulivoimakapasiteettia asennettiin maailmassa yhteensä noin 2000 MW, mikä tarkoittaa arviolta noin 12 mrd. mk investointeja. Maailmanmarkkinoiden vuotuinen kasvuvauhti on noin 30 %. Vuonna 2010 Euroopassa arvioidaan olevan 40 000 MW tuulivoimaa ja USA:ssa vähintään 10 000 MW.



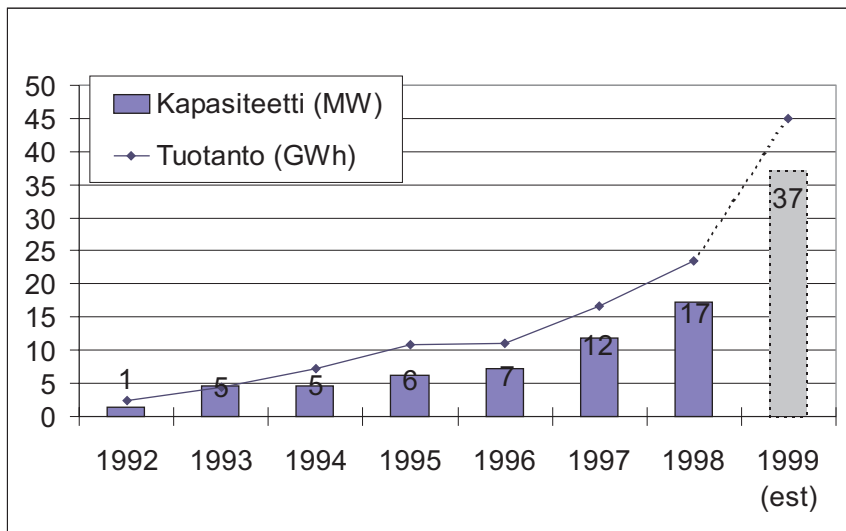
Kuva 1 Euroopan tuulivoimakapasiteetin kehitys vuosina 1980-98/1/

Suomen ensimmäinen verkkoon kytketty tuulivoimalaitos pystytettiin vuonna 1986 Inkoon Kopparnäsiin Imatran Voima Oy:n toimesta. 1987 KTM ja Ilmatieteen laitos käynnistivät selvityksen ”Tuulienergiatutkimus suurvoimatuotantoa varten”. Kauppa- ja teollisuusministeriön uusia energiatekniikoita tutkivan NEMO-ohjelman käynnistyessä vuonna 1988 tuuliolosuhteiden kartointu ja muu tuulivoiman hyödyntämiseen tähtäävä tutkimus alkoi systematisoitua ja laajeta. Tuloksina syntyivät mm. Ilmatieteen laitoksen julkaisemat Suomen Tuuliatlas /2/ sekä Meteorologista taustatietoa tuulienergiakartoitukselle /3/. Kemijoki Oy pystytti 65 kW arktisen koelaitoksen Enontekiön Hettaan alkuvuodesta 1991. Saman vuoden lopulla rakennettiin maamme ensimmäinen tuulivoimapuisto (4 x 200 kW) Vaasan lähelle Korsnäsiin. Vuonna -93 rakennettiin toistakymmentä 200 - 300 kW tuulivoimalaitosta, pääosin Perämeren rannikolle. Vuosina 1995 - 97 rakennettiin 450 - 600 kW laitoksia Perämerelle, Ahvenanmaalle ja Lappiin. Vuonna -98 rakennettujen laitosten yksikkökoko vaihteli 500 ja 750 kW välillä.

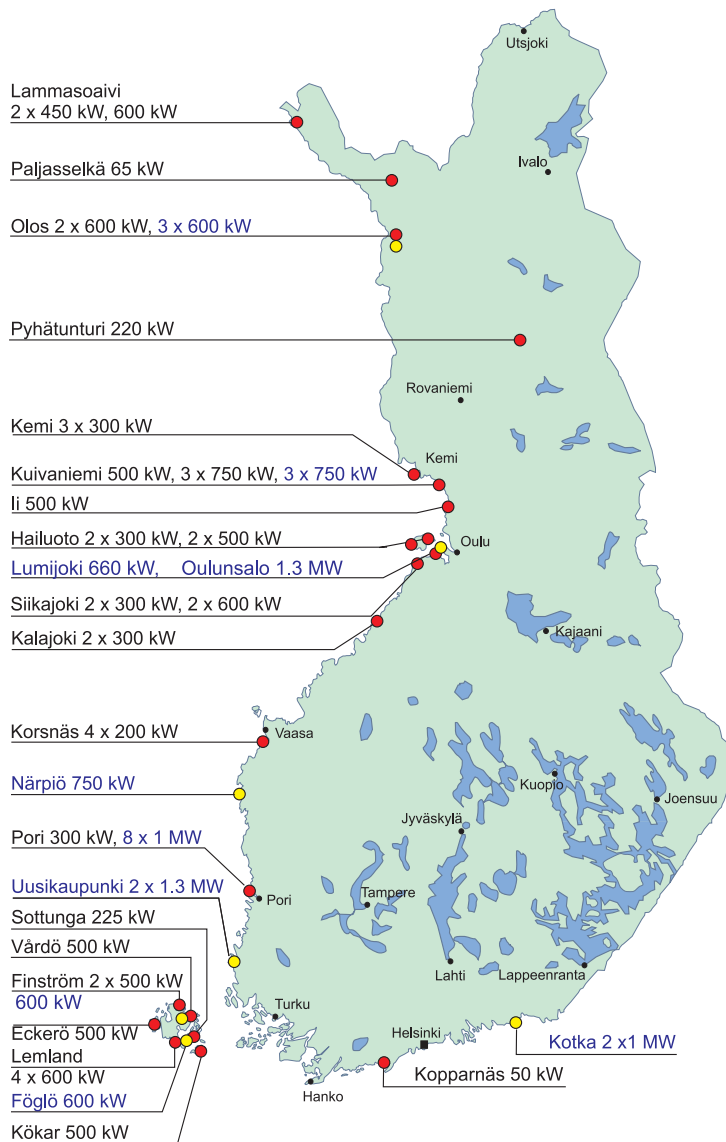
Syyskuun alussa 1999 rannikoilla ja Lapissa toimivien runsaan viidenkymmenen verkkoon kytketyn tuulivoimalaitoksen yhteiskapasiteetti oli noin 30 MW. Kuvassa 2 on esitetty tuulivoiman tähän astinen rakentaminen Suomessa ja kuvassa 3 sijoituspaikat.

Vuonna 1999 Suomessa rakennetaan noin 20 MW lisää tuulivoimaa seuraavissa projekteissa:

- Lumijolle pystytettiin alkuvuodesta 660 kW offshore-laitos
- Poriin valmistui kesällä Suomen tähän asti suurin tuulipuisto, 8 x 1 MW
- Kotkaan 2 x 1 MW
- Uuteenkaupunkiin 2 x 1,3 MW
- Oulunsaloon yksi 1,3 MW laitos
- Kuivaniemeen 3 x 750 kW
- Närpiöön yksi 750 kW laitos
- Ahvenanmaalle 2 x 600 kW
- Olostunturille 3 x 600 kW lisää olemassa olevien 2 x 600 kW viereen.



Kuva 2 Tuulivoimakapasiteetin ja -tuotannon kehittyminen Suomessa /4/.



Kuva 3 Suomeen vuoden 1999 loppuun mennessä sijoitettujen tuulivoimalaitosten sijainti /4/.

Kauppa- ja teollisuusministeriön laatimassa tuulivoiman tuotannon edistämishjelmassa vuonna 1993 asetettiin tavoitteeksi 100 MW tuulivoimaa vuoteen 2005 mennessä. Uutta uusiutuvan energian edistämishjelmää ollaan tätä kirjoitettaessa valmistelemassa, ja siinä tullaan esittämään pidemmän aikavälin tavoitteita. Koska edistämishjelman sisältöön voi vielä tulla muutoksia, ei tarkkoja MW-määrisiä tavoitteita tätä kirjoitettaessa vielä varmuudella tiedetä.

Vuoden 1999 lopussa Suomen yhteenlaskettu tuulivoimakapasiteetti on 38 MW.

1.2 Tuulivoiman aerodynaamiset ja meteorologiset perusteet

Tuulen energiasisällön hyödyntämisen taustalla oleva fysiikka on erittäin laaja ja monimutkainen aihepiiri, josta seuraavassa esitetään vain muutamia keskeisiä perustietoja.

Tuulen tehosisältö on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin. Näin ollen tuulivoimalaitoksen tuottama hetkellinen teho kasvaa jyrkästi tuulen nopeuden kasvaessa. Tuulioloilla on siis ratkaiseva vaikutus tuulivoiman tuotannon taloudellisuuteen.

Tuulen nopeuden ajalliset vaihtelut ulottuvat erittäin nopeista, muutaman sekunnin sisällä tapahtuvista muutoksista aina vuodenaikavaihteluihin asti. Ajallisten vaihteluiden taajuusspektrin huomattavimmat piikit ovat turbulenssista aiheutuva noin 1 minuutin sykli sekä sääsystemien liikkeestä johtuva muutaman vuorokauden sykli. Muita selvästi havaittavia syklejä ovat vuorokausi- ja vuosisykli. Myös eri vuosien välillä on huomattavia eroja tuulen vuotuisessa keskinopeudessa. Peräkkäisinä vuosina tuulivoimalaitoksen tuotannossa voi olla 30 - 40 % eroja /5/.

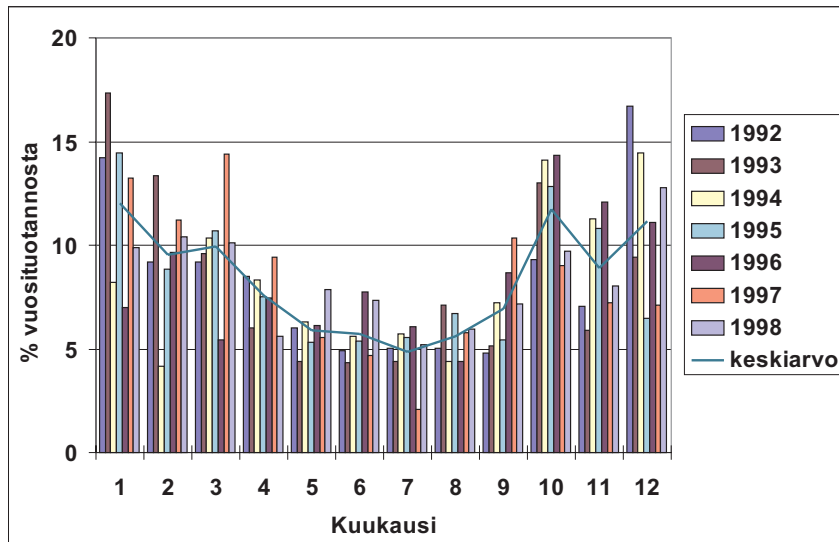
Tuulivoiman tuotannon kannalta kiinnostavimmat vaihtelut ovat turbulenssista aiheutuvat nopeat vaihtelut, jotka rasittavat tuulivoimalaitoksen mekaanisia rakenteita ja aiheuttavat tehon- ja jännitevaihteluita sähköverkossa, sekä vuorokausi- ja vuodenaikavaihtelut, jotka vaikuttavat ratkaisevasti tuotetun tuulisähkön energiataloudelliseen arvoon.

Suomessa vuodenaikavaihtelut ovat sikäli suotuisia, että talvikuukausina, jolloin sähkön tarve on suurempi, kuukausittaiset keskituulennopeudet ovat suurimmillaan. Toisaalta peräkkäisten talvien ja talvikuukausien erot ovat suuria. Kaikkein kovimmat pakkasjaksot ovat usein tyyniä (paitsi tuntureilla), mutta toisaalta leudompina talvina sähkön tarpeen maksimi osuu usein ajankohtaan, jolloin vallitsee kohtalainen pakkasen ja kova tuuli lisää rakennusten lämpöhukkaa. Tuulivoiman tuotannon vuosivaihteluita on esitetty kuvassa 4.

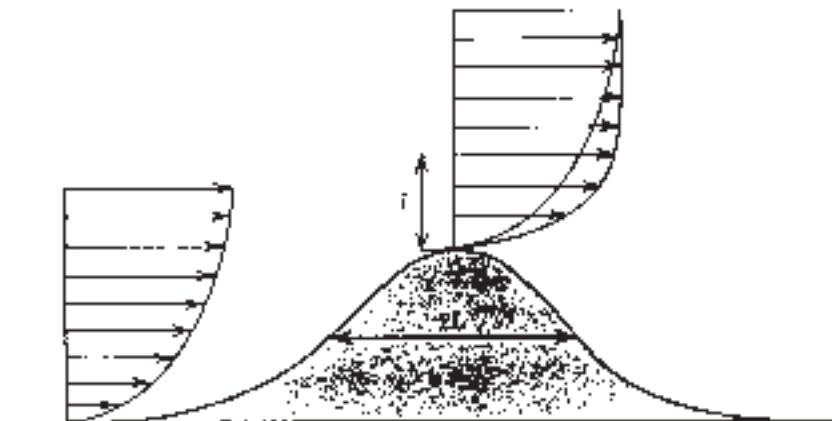
Tuulen nopeutta lähellä maan pintaa ns. pintakerroksessa (alle 100 - 200 m) hidastaa kasvillisuuden, rakennusten ym. aiheuttama kitkavaikutus. Tuulen nopeus kasvaa näin ollen ylöspäin mentäessä, ja kasvu on sitä voimakkaampaa mitä peitteisempää maasto on. Tuulen nopeuden vertikaaliseen muutokseen vaikuttaa myös ilman lämpötilajakauma (stabiilisuus) /3/.

Myös pinnanmuodot, ts. maaston korkeusprofiili, vaikuttaa tuulen nopeuksiin pintakerroksessa. Yksi tällainen vaikutus on ns. mäkiefekt (speed-up); mäen laella tuulen nopeus on lähellä maan pintaa suurempi kuin mäen alla. Mäkiefektä

on havainnollistettu kuvassa 5. Mäkiefekti edellyttää loivaa, tasaista nousua; jyrkät ja profiililtaan epähomogeeniset mäet kasvattavat lähinnä tuulen turbulenssia.



Kuva 4 Suomen verkkoonkytkeyn tuulivoiman tuotannon jakautuminen eri kuukausille Suomessa vuosina 1992 - 98 /5/.



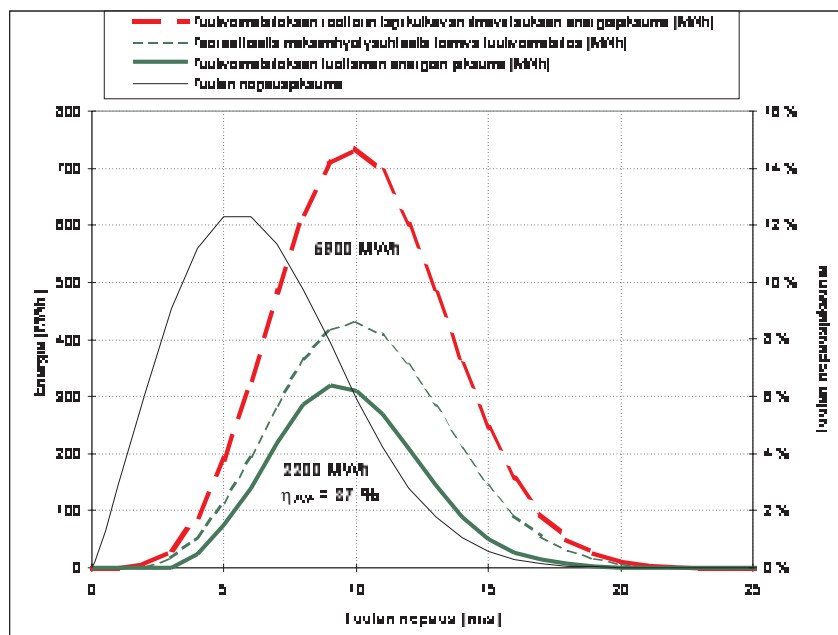
Kuva 5 Kaaviokuva mäkiefektistä /6/. Kuva edustaa avointa mäkeä, jossa maanpinnan kitkavaikutusta eikä stabiiliutta ole otettu huomioon.

Tuulivoimalaitoksen roottorin läpi virtaavan ilmassa tehosisällöstä saadaan teoriassa hyödynnettyä noin 59 %, joka näin ollen on tuulivoimalaitoksen teoreettinen maksimihyötysuhde. Häviöt johtuvat siitä, että tuulen nopeus roottorin takana on pienempi kuin ennen roottoria, ja nopeuden pienentyessä ilmassa laajenee, koska massavirta säilyy vakiona. Olennaisesti pienempi hyötysuhde esim. vesiturpiiniin verrattuna johtuu siitä, että vesiturpiinin virtauskanava on suljettu eikä virtaus näin ollen pääse laajenemaan turpiinin takana.

Käytännössä tuulivoimalaitosten roottorihyötysuhteet ovat maksimissaan 50 % luokkaa. Häviöitä syntyy mm. virtauksen turbulentsisuudesta (roottori pystyy hyödyntämään virtauksesta ainoastaan pyörimisakselin suuntaisen nopeuskomponentin) sekä lapaprofiilin ja roottorin pyörimisnopeuden epäoptimaalisuudesta. Hyötysuhdehäviöitä syntyy roottorin lisäksi myös mekaanisessa voimansiirrossa, generaattorissa, muuntajassa ja kaapeleissa, mutta nämä eivät ole kokonais-

hyötysuhteen kannalta kovin merkityksellisiä. Hetkittäinen kokonaishyötysuhde (ilmavirtauksen kineettisestä energiasta sähköksi) on parhaimmillaan 45 - 50 %.

Vuositasolla laskettuna keskimääräinen vuosihyötysuhde riippuu siitä, kuinka hyvällä hetkittäisellä hyötysuhteella laitos toimii ja kuinka hyvin tuulivoimalaitos on optimoitu kyseessä olevaan sijoituspaikkaan. Kuvassa 6 on esitetty laskennallinen esimerkki 1 MW tuulivoimalaitoksen vuotuisesta tuotannosta ja keskimääräisestä vuosihyötysuhteesta.



Kuva 6 Laskennallinen esimerkki tuulen nopeusjakaumasta vuositasolla ja 1 MW tuulivoimalaitoksen roottorin läpi kulkeman ilmavirtauksen energiamäärän ja tuotetun sähkön jakaumasta hetkittäisen tuulen nopeuden suhteen (tuulennopeus voimalaitoksen napakorkeudella Weibull-jakautunut, parametrit $A=7.3$ ja $k=2.11$, jolloin keskimääräinen tuulen nopeus on 6,4 m/s).

Koska tuulivoimalaitoksen tuottama teho riippuu voimakkaasti tuulen nopeudesta, on tuulivoiman tuotantoa arvioitaessa olennaista selvittää tuulen nopeuksien tilastollinen jakauma ja ajalliset vaihtelut tutkittavassa kohteessa.

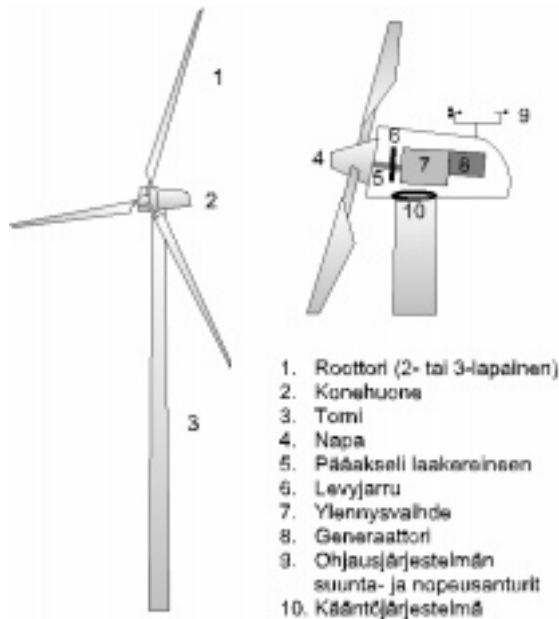
Lisätietoja aihepiiristä saa esimerkiksi lähdeviitteistä 2 - 6.

1.3 Tuulivoimalaitosten tekniikkaa

Nykyaikaiset 500 - 1650 kW kaupalliset tuulivoimalaitokset ovat vaak akselisia, kolmelapaisia ja niiden roottori on torniin nähden tuulen yläpuolella. 1980-luvulla valmistetuissa laitoksissa roottori oli usein sijoitettu mastoon nähden tuulen alapuolelle. Alatuuliroottoreista on kuitenkin pääasiassa turbulenssi- ja meluongelmien vuoksi sittemmin luovuttu lähes kokonaan. Myös pysty akselisia laitoksia on kehitetty. Näistä esimerkkeinä mainittakoon Darrieus- ja Musgrove-roottorit sekä pienissä laitoksissa Savonius-roottori.

Tuulivoimalaitoksia on saatavilla myös pienemmissä kokoluokissa (3 kW - 50 kW) esim. maatilakäyttöön, sekä aivan pieniä laitoksia (50 W - 2 kW) esim. mökkikäyttöön. Tässä oppaassa keskitytään alueelliseen sähköhuoltoon tarkoitettuihin vähintään 500 kW laitoksiin.

Vaaka-akselisen tuulivoimalaitoksen pääkomponentit on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7 Periaatekuva tuulivoimalaitoksen pääkomponenteista.

500 - 1650 kW tuulivoimalaitoksen tornin korkeus on yleensä 50 - 90 m ja roottorin halkaisija 40 - 70 m. Torni on eurooppalaisissa laitoksissa yleensä putkirakenteinen terästorni (esim. USA:ssa käytetään myös ristikkorakenteisia), ja se on kiinnitetty betoniseen perustukseen.

Konehuoneessa sijaitsevat vaihteisto, generaattori sekä säätö- ja ohjausjärjestelmät. Vaihteisto muuntaa roottorin matalan kierrosluvun (10 - 40 rpm) generaattorille sopivaksi (1000 - 1500 rpm). Generaattori on yleisimmin 4- tai 6-napainen epätahtigeneraattori, jolloin sen pyörimisnopeus siis määräytyy sähköverkon taajuudesta. Erilliset moottorit kääntävät konehuonetta tuulen suuntaan suunta-anturin ja säätölaitteen avulla. Konehuoneen runko ja kuori valmistetaan yleensä teräksestä tai lasikuidusta.

Roottorin lavat valmistetaan tällä hetkellä yleisimmin komposiittimateriaaleista, joissa käytetään lasikuitua ja joskus myös hiilikuitua tai puuta yhdessä epoksin tai polyesterin kanssa. Lavat toimivat myös laitoksen tehonsäätö- ja pysäytysmekanismina. Tehoa säädetään joko sakkaukseen tai lapakulman säätöön perustuen (tähän palataan tarkemmin luvussa 5.1). Laitoksen pysäytys tapahtuu kärkijarrujen avulla (sakkauksaattöiset laitokset) tai kääntämällä koko lapa pois tuulesta (aktiivisella sakkauksella varustetut ja lapakulmasäätöiset laitokset). Lisäksi laitoksissa on toinen erillinen pysäytysmekanismi, joka on levyjarru joko hitaalla tai nopealla akselilla tai molemmilla, yleensä nopealla akselilla.

1.4 Taloudellisuuskysymyksiä

Tuulivoiman taloudellisuuskysymyksiä ja -laskelmia käsitellään tarkemmin kohdassa 3.2. Seuraavassa on yhteenvedonomaaisesti esitelty tärkeimpiä käsitteitä.

Tuulivoima on investointivaltainen sähköntuotantomuoto. Vuotuiset käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat ainoastaan luokkaa 2 % investointikustannuksista.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sähkön tuotantokustannuksista pääomakustannukset muodostavat noin 70 % ja käyttö- ja ylläpitokustannukset noin 30 %.

Investointikustannukset muodostuvat laitoksen hankintahinnasta, infrastruktuurikustannuksista (tie, sähköverkko), laitoksen kuljetus- ja pystytyskustannuksista, sekä suunnittelukustannuksista. Käyttö- ja ylläpitokustannukset koostuvat karkeasti jaoteltuna huolto- ja korjauskustannuksista, vakuutuksista sekä hallinto- ja valvontakustannuksista.

Tuulivoiman tuotantokustannukset lasketaan yleensä 5 % reaalikorolla ja 20 vuoden käyttöajalla. 20 vuoden käyttöiän on useissa kansainvälisissä tutkimuksissa todettu olevan realistinen arvio. Vanhimmat tanskalaiset laitokset ovat jo tämän ikäisiä, suuri osa toimii edelleen. Uudet tuulivoimalaitokset ovat teknisesti edistyneempiä ja näin ollen luotettavampia. Toisaalta suuriin laitoksiin kohdistuvat dynaamiset kuormitukset ovat huomattavasti suurempia, ja laitoissuunnittelussa käytettyjä turvamarginaaleja on kilpailun kiristyessä ja laskentatyökalujen kehityksessä voimakkaasti pienennetty.

Tuotantokustannukset riippuvat ratkaisevasti myös laitosten teknisestä käytettävyydestä. Yleensä 2 - 5 vuoden takuuajalle taataan 95 % - 97 % tekninen käytettävyys, laitosvalmistajasta riippuen. Laitoksen ikääntyessä (10 ensimmäisen käyttövuoden jälkeen) käytettävyys todennäköisesti alenee vähitellen.

Ratkaiseva tekijä tuotantokustannusten muodostumiselle on luonnollisesti laitosten tuottama vuotuinen sähkömäärä. Tätä tarkastellaan yleensä huipunkäyttäjän (vuosituotanto jaettuna nimellisteholla) avulla. Suomen olosuhteissa voidaan pitää nyrkkisääntönä, että rannikolla ja saaristossa hyvissä sijoituskohteissa huipunkäyttöaika on luokkaa 1800 - 2500 h/a. Korkeimmilla tuntureilla voidaan periaatteessa päästä jopa 2500 - 3000 h/a tasolle, mutta toistaiseksi tuntureille rakennettujen laitosten tuotantoluvut ovat olleet samaa tasoa kuin keskimääräisissä rannikkokohteissa.

Huipunkäyttöaika riippuu sijoituskohteen tuuliolosuhteista ja myös käytettävän laitostyyppin ominaisuuksista. Käyttämällä heikkotuulisissa kohteissa pitemmillä lavoilla varustettua versiota saadaan huipunkäyttöaikaa kasvatettua. Näin ollen huipunkäyttöaika ei ole sijoituspaikan tuuliolosuhteita yksiselitteisesti kuvaava tunnusluku.

Tuulivoiman – kuten muidenkin energiamuotojen – tuotantokustannukset (mk/kWh) voidaan laskea kaavalla

$$h = (c_i + c_{om}) \frac{I}{e},$$

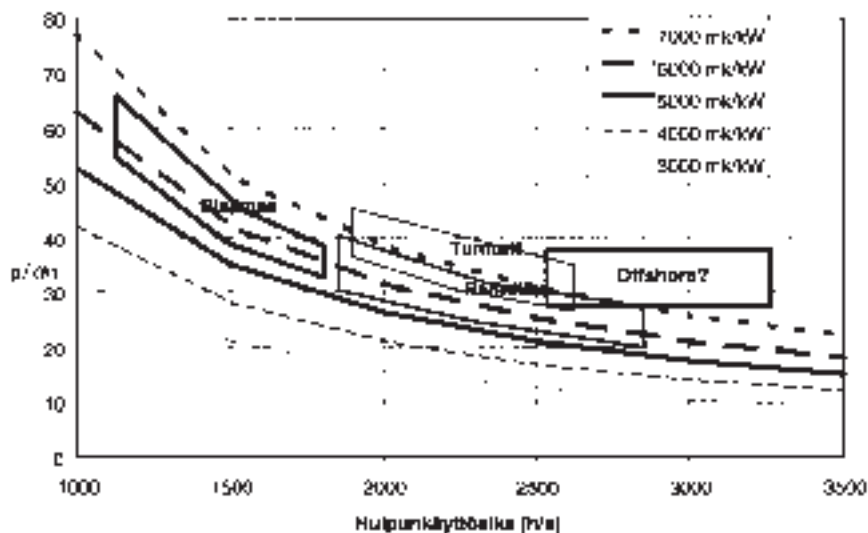
missä C_i on pääomakustannusten annuiteettitekijä (5 % korolla ja 20 vuoden käyttöiällä $C_i = 0,08$), C_{om} on vuotuiset käyttö- ja ylläpitokustannukset suhteessa investointikustannuksiin (luokkaa 0,02), I on kokonaisinvestointikustannukset (mk), ja e on arvioitu vuosituotanto (kWh/a).

Nykyään sijoituspaikalle toimitetun ja valmiille perustukselle pystytetyn tuulivoimalaitoksen hintahaarukka on noin 4500 - 5500 mk/kW, suurten laitosten (1 MW tai yli) edustaessa yleensä haarukan yläosaa. Tämän lisäksi tulee tienrakennuksen, sähkötöiden ja perustustöiden kustannukset sekä projektin suunnitteluun ja koordinointiin liittyvät kustannukset. Kun samaan paikkaan sijoitetaan usean tuulivoimalaitoksen tuulipuisto, säästöä saavutetaan sekä sähköistys- ja tienrakennus- että suunnittelukustannuksissa. Samoin tuulivoimalaitostoimittaja voi alentaa

yksikkökohtaista tarjoushintaa saavuttaessaan säästöä kuljetus- ja pystytyskustannuksissa. Tästä huolimatta kokonaiskustannukset ovat helposti yli 6000 mk/kW. Edullisimmillaan on tuulivoimaa Suomessa rakennettu hintaan 5000 mk/kW (Eckerö, 500 kW, rakennusvuosi 1995).

Rannikolla ja saaristossa tuulioloiltaan ja rakennusolosuhteiltaan hyvissä sijoituspaikoissa päästään tällä hetkellä alle 25 p/kWh tuotantokustannuksiin (ilman investointi- ja verotukea). Kuvassa 8 on esitetty karkealla tasolla tuulivoimalla tuotetun energian kustannusten riippuvuus kokonaisinvestointikustannuksista ja huipunkäyttöajasta. Lisäksi kuvassa on esitetty karkeasti, mihin investointikustannusluokkaan, tuotantoluokkaan ja sähköntuotantokustannuksiin sijoittuvat erilaiset sijoituspaikkatyytit. Offshore-tuulivoiman kustannustaso on vielä hyvin epävarmalla pohjalla sekä investointikustannusten että odotettavissa olevan tuotannon osalta. Merelle rakennettaessa on kuitenkin oletettavaa, että tuuliolosuhteiden parantuessa (eli siirryttäessä kauemmas mantereelta) myös rakennus- ja käyttökustannukset nousevat.

Kuvaa voidaan käyttää myös investointiavustuksilla tuetun investoinnin tuotantokustannusten arviointiin.



Kuva 8 Tuulivoiman tuotantokustannukset kokonaisinvestointikustannuksista ja huipun käyttöajasta riippuen (laskenta-aika 20 vuotta, 5 % korko).

Jo nyt voidaan parhaissa kohteissa päästä noin 20 p/kWh tuotantokustannuksiin ilman investointitukia. Tulevaisuudessa laitosten hankintahintojen odotetaan edelleen laskevan valmistusmäärien kasvun ja teknisen kehityksen myötä. Laitoskojen kasvu tuo skaalaetuja alentamalla infrastruktuurikustannuksia asennettua tehoa kohti. Myös laitosten ja niiden komponenttien eliniän odotetaan nousevan jatkuvan tuotekehityksen myötä.

Suurten laitosten (> 1000 kW) investointikustannukset ovat tyypillisesti jonkin verran korkeammat asennettua kilowattia kohti kuin 500 - 750 kW laitoskoko- luokassa, mutta vastaavasti odotettavissa oleva tuotanto asennettua kilowattia kohti on suuremmilla laitoksilla usein korkeampi ja käyttökustannukset suhteessa nimellistehoon alhaisemmat.

Sähkön tuottajalle tuotetun tuulisähkön energiataloudellinen arvo riippuu tuotannon jakautumisesta eri vuoden- ja vuorokaudenajoille, ja vaihtoehtoisen

sähkön hankinnan kustannuksista, mikä puolestaan riippuu mm. hankkeen toteuttajatahosta.

Yleisesti voidaan todeta, että sähköyhtiöille taloudellisen kannattavuuden saavuttaminen on vaikeaa, koska tuotettu tuulivoima korvaa tällöin kantaverkosta ostettavaa tai omissa suurissa voimalaitoksissa tuotettua sähköä. Yksityisille kuluttajille ja pien- ja keskisuurelle teollisuudelle sen sijaan tuulivoiman arvo on huomattavasti parempi, koska se korvaa jakeluverkosta ostettua sähköä.

Tuulivoiman energiataloudellista arvoa parantaa se, että suuri osa tuotannosta osuu talvikuukausille, jolloin sähkö on kalliimpaa. Vuodenaikavaihtelu on suotuisin Lapin tuntureilla ja epäsuotuisin sisämaan tasaisilla alueilla.

Tarkkoja lukuarvoja tuulivoiman energiataloudellisesta arvosta eri toteuttajatahoille ei tässä oppaassa anneta, koska sähkömarkkinat ovat jatkuvasti voimakkaassa muutostilassa.

Tuulivoiman tuotannolla on sähkön tuottajille ja kunnille myös muita kuin taloudellisia arvoja. Moniin tähän mennessä toteutettuihin projekteihin onkin liittynyt eriasteisia PR-tavoitteita.

Projektin organisointi

2.1 Yleistä

2.1.1 Projektin taustat ja käynnistäminen

Toistaiseksi, kun tuulivoima on vielä verrattain tuntematon asia suuressa osassa maata, ei tuulivoimaprojektin käynnistäminen ja loppuunsaattaminen useinkaan onnistu kovin nopealla aikataululla. Mikäli lähiseudulla on toiminnassa olevia tuulivoimalaitoksia ja asia on näin ollen seudun asukkaille ja viranomaisille jo hieman tutumpi, voidaan projekteja saada käyntiin lyhyemmässä ajassa.

Aloite tuulivoimaprojektin toteuttamisesta voi tulla monelta eri taholta. Tässä oppaassa keskitytään kaupallisiin tuulivoimaprojekteihin (vastakohtana tutkimushankkeille), jolloin aloitteet syntyvät yleensä joko alueella toimivassa jakelusähköyhtiössä, kunnan päättävissä elimissä, tai ruohonjuuritasolla kunnan asukkaiden keskuudessa. Tuulivoimayhdistykset (Suomen Tuulivoimayhdistys r.y., Vindkraftföreningen r.f.) pyrkivät informaatiotoiminnallaan herättämään kiinnostusta tuulivoimaa kohtaan ja voivat näin jollain paikkakunnalla sytyttää kipinän, joka johtaa projektin käynnistämiseen.

Viime aikoina ovat kilpailu sähkömarkkinoista sekä erilaisten ympäristöystävällisten sähkötuotteiden markkinointi ja imagoarvot olleet merkittävä liikkeelle-paneva voima useimmissa toteutetuissa tuulivoimaprojekteissa.

Jakeluyhtiöiden välinen kilpailu ja ”ketjuuntuminen” on vauhdittanut tuulivoimaprojektien syntyä, kun useiden sähköyhtiöiden yhteenliittymät ovat käynnistäneet yhteisprojekteja. Aluksi yhden projektin läpiviemiseksi perustettu yhtiö saattaa myöhemmässä vaiheessa omistaa tuulivoimalaitoksia tai -osuuksia useissa kohteissa eri puolilla Suomea. Tällaisista tuulivoimayhtiöistä mainittakoon Fortum-johtoinen Tunturituuli Oy, kaupunkienergiayhtiöiden Hyötytuuli Oy, sekä Voimatori-yhteistyön puitteissa syntynyt Propel Voima Oy.

Uutuutena Suomen tuulivoimakehityksessä on vielä mainittava yksityisten sähkönkuluttajien yhteenliittymät, jotka kehittävät ja toteuttavat tuulivoimaprojekteja. Ahvenanmaalla toimiva Ålands Vindenergiandelslag sekä maanlaajuisesti toimiva Lumituuli Oy ovat näistä toistaiseksi päässeet toiminnassaan pisimmälle.

Projektin ensimmäinen askel on yleensä esiselvityksen käynnistäminen. Esiselvityksiä käsitellään luvussa 3. Lyhyesti ilmaistuna esiselvitysvaiheen tarkoituksena on a) sopivan sijoituskohteen löytäminen tuulivoimalaitoksille ja b) projektin teknisten, taloudellisten ja maankäyttöisten toteutusedellytysten arviointi.

Projektin taustat ja käynnistäminen ovat luonnollisesti erityyppisiä riippuen projektin kokoluokasta. Suurten projektien käynnistämiseksi ja toteuttamiseksi vaaditaan paremmat organisatoriset ja taloudelliset valmiudet. Kuntien, aatteellisten yhdistysten ja yksityishenkilöiden aloitteesta käynnistyvät projektit tulevat todennäköisesti jatkossakin olemaan kooltaan vaatimattomia; tavoitteeksi asetetaan yhden tai korkeintaan muutaman laitoksen hankkiminen. Suurempi säh-

köyhtiö tai usean sähköyhtiön omistama tuulivoimayhtiö voi lähteä alusta alkaen suunnittelemaan 5 - 10 tai jopa usean kymmenen megawatin rakennusohjelmaa, mahdollisesti hajautettuna useampiin kohteisiin.

Sähkömarkkinoiden edelleen kansainvälistyessä saattaa Suomeen periaatteessa syntyä myös kansainvälisesti operoivien suuryritysten tai esim. laitostoitettujen omistamia ja operoimia tuulipuistoja. Tällä mallilla on viime vuosina toteutettu hankkeita mm. Englannissa, Espanjassa, Irlannissa ja USA:ssa. Toistaiseksi tuulivoiman markkinahinta ("ekosähkö-lisä" huomioon ottaenkin) on Suomessa pysynyt siinä määrin alhaisella tasolla, etteivät investoinnit ole houkutelleet ulkomaista pääomaa.

Tuulivoimaprojektin käyntiinlähtö – ideasta esiselvityksen aloittamiseen – vie aikaa parista kuukaudesta jopa useaan vuoteen, riippuen lähinnä asiaa eteenpäin vievien tahojen aktiivisuudesta ja hankkeen koosta. Lisäksi etenemisen nopeus tai hitaus määräytyy siitä, miten helposti potentiaalinen sijoituskohte löytyy ja missä määrin tuulivoima on paikkakunnalla entuudestaan tuttu asia, ts. missä määrin esiintyy ennakkoluuloja esimerkiksi tuulivoiman ympäristövaikutuksiin liittyen.

Rinnan esiselvityksen kanssa tulisi käynnistää toteutusorganisaation suunnittelu. Edempänä tässä luvussa on esitetty vaihtoehtoisia toteutusmalleja. Tähänkin vaiheeseen on syytä varata aikaa yleensä vähintään joitakin kuukausia.

Projektin toteutuksen kannalta on tärkeää, että paikalliset asukkaat, kansalaisjärjestöt ja viranomaiset saadaan tuntemaan projekti omakseen, paikalliseksi kehityshankkeeksi joka palvelee koko seutua eikä vain yhtä tiettyä tahoa.

Kunnan päättävien elinten osallistuminen sijoituskohteen valintaan nopeuttaa yleensä rakennus- ja muiden lupien hankkimista. Samoin on hyödyllistä kysyä esim. luonnonsuojeluyhdistysten tms. kantaa sijoituskohteeseen jo alkuvaiheessa, jotta hankkeelle onnistuttaisiin saamaan positiivinen kuva ympäristönsuojelullisesti. Maanomistajan myönteinen suhtautuminen on luonnollisesti syytä varmistaa ennen kuin hanketta viedään eteenpäin.

Mikäli alueella toimiva verkkoyhtiö ei itse omista laitoksia, on sen kanssa neuvoteltava sopimus sähkön myynnistä tai siirrosta (käytännössä tämä on useimmiten tehtävä joka tapauksessa, koska sähkön tuotanto ja siirto on liiketoiminnallisesti eriytetty). Joissain tapauksissa tulee kyseeseen myös laitosten käytön ja ylläpidon luovuttaminen paikalliselle sähköyhtiölle. Sopimuskesymyksiä käsitellään niinkään myöhemmin tässä luvussa.

Maanomistajan kanssa voidaan tehdä sopimusjärjestely, jossa maanvuokra maksetaan osakkuussähkönä tai muulla tavoin sidotaan korvaus maankäytöstä tuotettuun energiaan. Toteuttajan kannalta tällaisessa järjestelyssä on kuitenkin omat riskinsä, minkä vuoksi kertakorvaus on selkeämpi. Mikäli korvaus sidotaan sähkön tuotantoon, on sopimuksessa käsiteltävä tarkasti sukupolvenvaihdoksen, perinnönjaon, paikkakunnalta muuton ym. omistussuhteiden muutosten vaikutukset.

Samoin lähiseudun asukkaiden kytkeminen mukaan hankkeeseen esim. osakkuusjärjestelyillä voi lisätä positiivista suhtautumista ja vähentää ennakkoluuloja. Erityisen tärkeää tämä on sähköyhtiön ollessa hankkeen toteuttajana, koska sähköyhtiö koetaan helpommin omaa etuaan ajavana ja asukkaiden tarpeista piittaamattomana kuin kunta tai kuntalaisten muodostama yhteenliittymä. Useiden

pienosakkaiden aiheuttama ylimääräinen hallinto (mm. erillisten sähkösovimusten, ylimääräisen laskutuksen jne. muodossa) on tämän järjestelyn haittapuoli.

Kaikkein todennäköisimmin vastustusta syntyy, mikäli toteuttaja on jokin täysin ulkopuolinen taho, esim. pelkästään liiketoiminnallisin perustein tuulivoimaa hyödyntävä maanlaajuisesti tai jopa kansainvälisesti operoiva yritys. Muualta maailmasta, etenkin Isosta-Britanniasta, saadut kokemukset osoittavat, että tämänkaltaisen omistuspohja on paikallisten asukkaiden tuen kannalta kaikkein huonoin.

Uusi ja tuntematon asia herättää aina epäluuloja. On todennäköistä, että yhtäkään tuulivoimaprojektia ei onnistuta toteuttamaan ilman jonkinasteista vastustusta joltakin taholta. Hankkeesta onkin syytä tiedottaa avoimesti alueen lehdistössä ja esim. paikallisradiossa jo alkuvaiheessa. Tämä on omiaan poistamaan epäluuloja ja vähentämään vastustusta. Mahdollinen vastustus purkautuu jo hankkeen alkuvaiheessa, ja tosiasioihin pohjautuvalla avoimella tiedottamisella voidaan useimmiten ennakkoluulot voittaa.

Kyselytutkimusten mukaan kaikissa niissä kunnissa, joihin tuulivoimalaitoksia on viime vuosina rakennettu, vastustajat ovat lähes poikkeuksetta muuttaneet mieltään viimeistään nähtyään laitokset toiminnassa. Pahinta hankkeen julkiselle kuvalle on, jos taustatyötä tehdään salamyhkäisesti ja hankkeesta annetaan julkisuuteen vain niukkoja ja keskenään ristiriitaisia tietoja.

2.1.2 Toteutusorganisaation valinta

Monessa mielessä luontevin ratkaisu on, mikäli paikallinen sähköyhtiö voi itse toteuttaa projektin ja omistaa tuulivoimalaitokset joko suoraan tai erillisen liiketoimintayksikön kautta. Taloudellinen kannattavuus on tällöin kuitenkin vaikeammin saavutettavissa, koska tuulivoima korvaa tällöin tukkusähköä tai omaa suuren mittakaavan sähköntuotantoa. Lisäksi, kuten edellä todettiin, sähköyhtiöiden itse ajamat hankkeet saattavat kohdata helpommin vastustusta kuin erilaisiin yhteisomistusjärjestelyihin perustuvat hankkeet.

Mikäli sähköyhtiö ei itse toimi projektin toteuttajana ja laitosten ainoana omistajana, on hankkeen läpiviemiseksi usein tarpeen perustaa erillinen yhtiö, johon projektin eri osapuolet voivat liittyä. Vaikka jakeluyhtiö olisikin hankkeen koordinoija, voi silti olla taloudellisista tai hallinnollisista syistä tarpeen perustaa erillinen yhtiö, jonka kautta hoidetaan laitosten omistus- ja hallinnointijärjestelyt.

Suomessa on lainsäädännössä määriteltyjä yhtiömuotoja varsinaisesti kolme: avoin yhtiö, kommandiittiyhtiö ja osakeyhtiö. Lisäksi muita yksityisoikeudellisia yhteisöjä ovat osuuskunta ja yhdistys. Taloudellista toimintaa voidaan myös harjoittaa yhtymän muodossa.

Tuulivoimaprojektin toteuttajina voivat tulla kyseeseen lähinnä osakeyhtiö ja osuuskunta. Henkilöyhtiömuotoa (avoin yhtiö ja kommandiittiyhtiö) ei yleensä käytetä suuria investointeja edellyttävissä hankkeissa, joissa lisäksi on ainakin jonkin asteinen tappionvaara. Näiden yhtiömuotojen hallinnoimiseen ja osuuksien luovutukseen liittyvät vaikeudet sekä henkilökohtainen vastuu yhtiön velvoitteista käytännössä poissulkevat niiden valinnan. Yhdistysten ja yhtymien lainsäädännöllinen ja verotuksellinen asema ovat siinä määrin kehittymättömiä, etteivät myöskään ne tulle kyseeseen.

Siihen, mikä yhtiömuoto tulisi valita, vaikuttavat ainakin seuraavat seikat:

- Tarvittavan pääoman määrä
- Pääomalle maksettava korvaus
- Yhtiömuotoon liittyvien hallinnoimisoikeuksien jakaantuminen
- Hallinnoimisen helppous/vaikeus
- Valittavan yhtiömuodon muutettavuus toiseksi ja siihen liittyvät verotuskysymykset
- Verotus yhtiön ja sen osakkaan kannalta
- Yhtiön osuuksien likvidisyys sijoittajan kannalta

Osakeyhtiön tai osuuskunnan valitsemista puoltavat mm. seuraavat tekijät:

- Voidaan kerätä suuriakin pääomia kun sijoittajia on paljon. Yksittäisen sijoittajan tappio yhtiön liiketoiminnan mahdollisesti epäonnistuessa ei kuitenkaan muodostu suureksi, koska yksittäinen sijoituskin on pieni.
- Osakeyhtiössä ja osuuskunnassa eivät osakkaat joudu henkilökohtaisesti vastuunalaiseksi yhtiön velvoitteista. Osakkaan vastuu rajoittuu vain hänen sijoittamaansa osakepääomaan.
- Osakepääomalle maksettava korvaus eli osinko maksetaan vain yhtiön vapaista pääomista eli kertyneistä voittovaroista. Yhtiöön sijoitettua osakepääomaa ei yleensä makseta yhtiön toiminnan aikana takaisin. Osuuskunnan pääoma sen sijaan saattaa vaihdella.
- Mikäli osakeyhtiön tai osuuskunnan osakkaina on verotettavia yhteisöjä (osakeyhtiö ja osuuskunta), ne voivat osallistua toisen yhteisön käyttömehän hankintaan ja saada edukseen poistomahdollisuuden ja käyttöoikeuden käyttömehän kohteeseen.

2.2 Paikallinen sähkön myyjä toteuttajana ja omistajana

Paikallinen, toimitusvelvollinen sähkön myyjä (esim. kunnallinen energiayhtiö) on energian hankintaan ja jakeluun erikoistunut liiketaloudellisten periaatteiden mukaan toimiva yksikkö. Näin ollen ne voivat luontevasti toimia tuulivoimaprojektien toteuttajina, jolloin tuulivoima on osa niiden normaalia liiketoimintaa yhtenä sähkön hankintalähteenä muiden joukossa.

Tällaisella yhtiöllä on tarvittavia teknisiä ja taloudellisia edellytyksiä projektin toteuttamiselle. Yleensä ei tarvita erityisjärjestelyjä; uutta henkilöstöä ei tarvitse palkata, laitosten liittäminen jakeluverkkoon sujuu vakiokalustolla jne. Projektin toteuttamiseksi on kuitenkin hyvä koota erillinen työryhmä, jonka jäsenten tulisi voida paneutua riittävässä määrin hankkeen eteenpäin viemiseen. Sähköyhtiöiden vetämissä tuulivoimaprojekteissa on toisinaan muodostunut ongelmaksi ajan puute ja tästä johtuen aikataulun venyminen. Tuulivoimaspesifisten kysymysten selvittämiseen on sähköyhtiöidenkin syytä käyttää ulkopuolista asiantuntemusta, ainakin ensimmäistä toteutusprojektia suunniteltaessa.

Myös projektin rahoitus onnistuu ainakin suurelta tai keskikokoiselta sähköyhtiöltä yleensä ilman erityisjärjestelyjä. Pienet sähköyhtiöt kokevat usein taloudellisten ja henkilöresurssien niukkuuden tuulivoimaprojektin käynnistämisen kannalta ongelmaksi. Kunnallisten tai kuntaomisteisten energialaitosten koh-

dalla päätöksenteon poliittisuus saattaa myös aiheuttaa ylimääräisiä viivästyksiä tai monimutkaistaa hankkeen suunnittelua ja toteutusta.

Yleisin ongelma sähköyhtiömisteisessä mallissa on kuitenkin taloudellisen kannattavuuden saavuttaminen. Ostosähkön halpa hinta ja tuulivoimalaitosten korkeat investointikustannukset aiheuttavat usein sen, että valtion tuen avullakaan hankkeen budjettia ei saada tasapainoon.

Sähköyhtiö toteuttajana – hyviä puolia:

- Sähköyhtiöllä on hyvät tekniset, taloudelliset ja käytännön edellytykset toteuttaa hanke (liittyminen sähköverkkoon, käytönjohtajuus ym.)
- Sähköyhtiö voi järjestää laitosten käytön ja ylläpidon
- Sopimukset sähkön myynnistä tai siirrosta helppo järjestää
- Hankkeen toteuttaminen tuo yhtiölle myönteistä julkisuutta
- Maa-alueen hankinta on yleensä helppo järjestää

Huonoja puolia:

- Sähkön nykyhinnoilla taloudellinen kannattavuus on vaikea saavuttaa
- Projektit ovat muuhun toimintaan nähden marginaalisia; resurssien irrottaminen projektin valmisteluun ja toteutukseen voi olla vaikeaa; projektin suunnittelu ja toteuttaminen siirtyy helposti vuodesta toiseen

2.3 Erillinen tuulivoimaosakeyhtiö

2.3.1 Juridiset ja hallinnolliset kysymykset

Osakeyhtiö on itsenäinen oikeushenkilö, ns. pääomayhtiö, jossa osakkaat ovat vastuussa yhtiön velvoitteista ainoastaan yhtiöön sijoittamallaan pääomalla. Yhtiöön sijoitettu pääoma onkin siten avainasemassa yhtiön toimintaa ja vastuukykyä ajatellen. Osakeyhtiö voi olla yksityinen (yksityinen osakeyhtiö) tai julkinen (julkinen osakeyhtiö). Yksityisen osakeyhtiön osakepääoman on oltava vähintään 8 000 euroa ja julkisen osakeyhtiön vähintään 80 000 euroa. Osakkeiden on oltava samannääräisiä, jos osakepääoma on jaettu useaan osakkeeseen. Sidottua omaa pääomaa ovat osakepääoman lisäksi ylikurssirahasto, vararahasto ja arvonkorotusrahasto. Muut rahastot ovat vapaata omaa pääomaa. Osakeyhtiötä käytetään tyypillisesti tilanteissa, missä yhtiön määräämisvalta halutaan keskittää ja säilyttää tietyllä taholla, vaikka yhtiöllä saattaa muuten olla laajakin osakaskunta.

Osakeyhtiön käytännön asioita hoitavat sen toimielimet, toimitusjohtaja ja hallitus. Osakkeenomistajat käyttävät valtaa yhtiökokouksessa mm. valitsemalla yhtiölle hallituksen ja päättämällä voitonjaosta.

Osakeyhtiön osakkaiden oikeudet ovat hallinnoimisoikeudet (yhtiökokous) ja varallisuuspitoiset oikeudet (osingot, jako-osuus). Yhtiön osakkeet tuottavat yleensä yhtäläiset oikeudet yhtiössä. Yhtiöjärjestyksessä voidaan kuitenkin määrätä, että yhtiöllä on erilaisia osakkeita, jolloin eri osakkeilla voi olla erilaiset varallisuus- ja/tai hallinnoimisoikeudet.

Osakeyhtiössä pystytään näin ollen määräämisvalta yhtiön asioissa keskittämään ja säilyttämään tietyillä osakkeenomistajatahoilla helpommin kuin esimerkiksi osuuskunnassa. Osakeyhtiöön voidaan muodostaa osakesarjoja, joihin liittyy erilainen äänivalta. Toiseen osakesarjaan voidaan taas liittää parempi etuoikeus osinkoihin.

Yhtiön tarkoituksena oletetaan olevan voiton tavoittelemine osakkaille, mutta sillä voi olla myös jokin muu tarkoitus, esimerkiksi tieteellisten, taiteellisten, poliittisten tms. arvojen vaaliminen. Poikkeuksellinen tarkoitus on ilmaistava yhtiöjärjestyksessä, jossa on tällöin oltava myös määräykset yhtiön voiton käytöstä. Osakeyhtiössä edellytetään tilikauden tuloksen muodostumisen sekä tilinpäätöspäivän taloudellisen aseman kuvaamista sekä liitetietojen ja toimintakertomukseen merkittävien tietojen antamista. Osakeyhtiöissä tulee liitetietona esittää laskelma jaettavissa olevasta voitosta (Osakeyhtiölaki 12:2 §).

Osakeyhtiöstä eroaminen tapahtuu yksinkertaisesti siten, että osakkeista luovutaan esimerkiksi myymällä ne.

2.3.2 Verotus

Osakeyhtiön verotettava tulo lasketaan kunkin tulolähteen osalta erikseen vähentämällä verovuoden tulosta aikaisemmilta verovuosilta vahvistetut samanlaiset tappiot. Tulolähteiden verotettavat tulot lasketaan yhteen ja yhteismäärään kohdistuu yhteisön tulovero. Kaikkeen osakeyhtiön tuloon kohdistuu yhtenäinen 28 %:n vero. Osakeyhtiölle ei lasketa erikseen verotettavaa tuloa valtionverotuksessa ja kunnallisverotuksessa.

Osakkaan saamat osingot jaetaan pääomatuloon ja ansiotuloon. Pörssiyhtiön osinko on kokonaan pääomatuloa. Muusta yhtiöstä kuin pörssiyhtiöstä saadusta osingosta on pääomatuloa määrä, joka vastaa 13,5 %:a osakkeenomistajan omistamien osakkeiden matemaattisesta arvosta, ja loppuosa on ansiotuloa. Osakkeen matemaattinen arvo lasketaan jakamalla yhtiön nettovarallisuuden määrä osakkeiden lukumäärällä. Nettovarallisuutta laskettaessa huomioidaan velat kokonaisuudessaan. Pääomatulosta verokanta on 28 % (29 % vuonna 2000), ansiotuloon kohdistuu progressiivinen veroasteikko.

Osakeyhtiössä on mahdollisuus vaikuttaa siihen, kumman, yhtiön vai osakkaan tulona, yhtiön voitto verotetaan. Mikäli voittoa ei jaeta, kohdistuu siihen suhteellisen alhainen 28 %:n yhteisöverokanta. Mikäli tulos jaetaan osakkaille tulona, verotetaan sitä osakkaan verotuksessa muiden kuin pörssiyhtiöiden jakamien osinkojen osalta osaksi pääomatulona, osaksi ansiotulona. Pääomatulo-osuuden osalta, jossa verokanta on 28 % (29 % vuonna 2000), aiheuttaa ns. yhtiöveron hyvitysjärjestelmä sen, että pienet osinkotulot ovat luonnolliselle henkilölle yleensä verovaapa tuloa. Useimmissa tapauksissa luonnollisen henkilön osinkotuloon kohdistuva vero on samansuuruinen kuin osakeyhtiön maksama vero. Muistettakoon että pääomatulo-osuudeksi katsottiin se osa jaetuista osingoista, joka vastaa 13,5 %:a yhtiön nettovarallisuudesta. Ylimenevä osuus luetaan ansiotuloksi, jota osingonsaajan verotuksessa verotetaan ansiotulona.

Tulosta voidaan myös nykyisin pyrkiä jakamaan osakkaille sellaisin järjestyksin, että vältytään kokonaan veronmaksusta. Tähän voidaan pyrkiä yhtiön tuotteiden myymisellä tai muiden etujen tarjoamisella osakkaille alihintaan tai ylisuurten

korvausten (esim. ylipalkka) maksamisella osakkaiden yhtiölle tarjoamista palveluista. Tällaisten järjestelyiden eliminoimiseksi on yhteisöjen verotukseen otettu ns. peiteltyä osingonjakoa koskevia säännöksiä. Peitellyllä osingolla tarkoitetaan siis ”rahanarvoista etuutta, jonka osakeyhtiö antaa osakkaansa tai tämän omaisen hyväksi osakkuusaseman perusteella tavallisesti olennaisesti poikkeavan hinnoittelun johdosta tai vastikkeetta”. Kaikkien näiden säännösten tarkoituksena on, että osakkaille tulevat etuudet tulisivat verotetuksi yhtiössä. Osingonsaajan verotuksessa peitellyt osingot katsotaan progressiivisesti verotettavaksi ansiotuloksi ja osingon saajalle myönnetään hyvitys yhtiön maksamasta verosta. Henkilöyhtiöitä koskevat omat yksityiskäyttösäännöksensä ja veron kiertämistä koskeva yleislauseke.

Peiteltyä osingonjakoa koskevat säännökset tulevat ongelmalliseksi ns. keskinäisten yhtiöiden tapauksessa. Keskinäisillä yhtiöillä tarkoitetaan yhtiöitä, joiden tarkoituksena on palvella omakustannushintaan osakkaitaan. Asunto-osakeyhtiöiden tapauksessa on TVL 53 §:ssä nimenomaan sallittu omakustannushinnoittelu ilman veroseuraamuksia.

2.3.3 Omakustannushinnoittelu

Oikeuskäytännössä on tietyissä tilanteissa sallittu omakustannushinnoittelu. Tärkeä KHO:n päätös (KHO 1963 B I 5) koski tilannetta, jossa voimalaitosyhtiö yhtiöjärjestyksen mukaan oli velvollinen luovuttamaan tuottamansa sähköenergia osakkailleen näiden osuuksien mukaisessa suhteessa ja osakkaat olivat velvolliset samassa suhteessa vastaamaan voimalaitoksen kustannuksista. Yhtiön ei katsottu saavan osingonluonteista tai muutakaan veronalaista tuloa sen johdosta, että yhtiön osakkailtaan perimä sähkön hinta oli ehkä ollut käypää hintaa alempi.

Oleennaista päätöksessä on se, että sähköä luovutetaan osakkaille ainoastaan heidän osuuksiensa edellyttämän määrän verran. Ylimenevä osuus, joka myytäisiin käypää hintaa alempaan hintaan, luettaisiin todennäköisesti yhtiön veronalaiseksi tuloksi. Edellä mainitusta päätöksestä seurannee toisaalta se, että omakustannushinnoittlevalla tuulivoimayhtiöllä ei voine olla muita osakkaita kuin sellaisia, jotka käyttävät yhtiön sähköä, ja jotka osallistuvat sen kustannuksiin. Tähän lopputulokseen johtaa jo osakkaiden periaatteellinen yhdenvertaisuus.

Erillisen tuulivoimaosakeyhtiön vahvuudet ja heikkoudet verrattuna sähköyhtiöomistamiseen malliin ja osuuskuntaan on yhteenvedonomaaisesti esitetty alla.

Erillinen tuulivoimaosakeyhtiö – hyviä puolia:

Sähköyhtiöön verrattuna

- Taloudellinen kannattavuus usein helpompi saavuttaa
- Voimavarat voidaan keskittää projektin läpiviemiseen
- Paikallisten asukkaiden suhtautuminen usein myönteisempää, jos hankkeeseen voi itse osallistua

Osuuskuntaan verrattuna

- Osakepääoma on kiinteä (ellei tehdä tappiota)
- Omistus ja päätöksenteko on helppo keskittää harvalukuiselle omistajakunnalle
- Osakkuudesta luopuminen on helppoa

Huonoja puolia:*Sähköyhtiöön verrattuna*

- Tarvitaan erilliset sopimukset sähkön siirrosta/myynnistä ja näin ollen mahdollisesti enemmän laskutusta ja hallinnointia
Laitosten ylläpidon ja huollon järjestäminen ei välttämättä ole yhtä helppoa
Em. kohdista johtuen hanketta on joka tapauksessa osittain vietävä eteenpäin yhteistyössä paikallisen sähkön myyjän/verkkoyhtiön kanssa

Osuuskuntaan verrattuna

- Joissain tapauksissa osakkaiden yhdenvertaisuuden turvaamiseksi osuuskunta on parempi ratkaisu

2.4 Osuuskunta**2.4.1 Juridiset ja hallinnolliset kysymykset**

Osuuskunta on yhteisö, jonka jäsenmäärä ja pääoma ovat edeltä käsin määräämättömät ja jonka tarkoituksena on harjoittaa taloudellista toimintaa siten, että jäsenet osallistuvat osuuskunnan toimintaan käyttämällä sen palveluja esimerkiksi kuluttajina tai tuottajina. Osuuskunnan sidottu oma pääoma muodostuu osuus-, lisäosuus- ja sijoitusosuuspääomasta sekä vararahastosta ja arvonkorotusrahastosta. Sijoitusosuuspääoma muistuttaa osakeyhtiöiden osakepääomaa. Jakoa sidottuun ja vapaaseen omaan pääomaan ei tehdä osuuskunnan taseessa. Osuuskunnan on suositeltavaa ja usein oikean ja riittävän kuvan antamiseksi välttämätöntäkin ilmoittaa liitetietoinaan jaettavissa olevan vapaan pääoman osuus. Osuuspääoma saattaa muuttua jatkuvasti osuuskunnan myydessä osuustodistuksia uusille jäsenille tai vanhojen jäsenten erotessa osuuskunnasta.

Periaatteessa kuka tahansa voi päästä osuuskunnan jäseneksi, mutta yleensä osuuskunnan säännöissä on jäsenyyttä rajoitettu tai sille on asetettu ehtoja. Osuuskunnan tavoitteena ei ole varsinaisen voiton tavoittelu.

Osakeyhtiön tapaan osuuskunnan jäsenet eivät ole henkilökohtaisesti vastuussa osuuskunnan velvoitteista. Säännöissä on kuitenkin usein jäsenille asetettu lisämaksuvelvoitteita, mistä johtuen käytännössä osuuskunnan jäsenet saattavat joutua vastuuseen osuuskunnan velvoitteista.

Osuuskunnan käytännön asioita hoitavat sen toimielimet, toimitusjohtaja ja hallitus. Osakkeenomistajat käyttävät valtaa yhtiökokouksessa mm. valitsemalla yhtiölle hallituksen ja päättämällä voitonjaosta.

Päätösvaltaa osuuskunnassa käyttävät osuuskunnan kokouksessa läsnä olevat jäsenet. Tällöin kullakin jäsenellä on yksi ääni. Jos sääntöjen mukaan jäsenten enemmistön tulee olla osuuskuntia tai muita yhteisöjä, voidaan säännöissä kuitenkin määrätä, että sellainen yhteisöjäsen saa äänestää useammalla kuin yhdellä äänellä.

Koska osuuskunnan osakkailta on yleensä yhtäläinen äänivalta osuuskunnan kokouksessa, ei määräysvallan keskittäminen ole osuuskunnille tyypillistä. Tätä voidaan joissain tapauksissa pitää myös osuuskunnan etuna, esim. jos hankkeen takana on kyläyhteisö tai muu paikallinen taho, ja kaikille osakkaille halutaan taata yhtäläiset oikeudet ja velvoitteet.

Osuusmaksujen tulee olla samansuuruiset. Säännöissä voidaan jäsen oikeuttaa tai velvoittaa osallistumaan useammalla kuin yhdellä osuusmaksulla. Säännöissä voidaan myös määrätä, että osuuskunnan kokouksella on valta päättää ylimääräisten maksujen perimisestä säännöissä määrättyyn toiminnan aikana ilmenevään tarpeeseen. Lisäksi säännöissä voi olla määräyksiä erilaisista pääsy- tai liittymismaksuista sekä edellä mainituista lisämaksuvelvoitteista. Säännöissä määrätty lisämaksuvelvollisuus saattaa merkitä sitä, että jäsen vastaa henkilökohtaisesti osuuskunnan sitoumuksista ja muista veloista esimerkiksi osuuskunnan konkursissa, mikäli osuuskunnan omat varat eivät riitä velkojen maksuun.

Osuuskunta voi kerätä pääomia myös lisäosuusmaksuina tai sijoitusosuuspääomana. Lisäosuusmaksuja voivat suorittaa osuuskunnan jäsenet mutta sijoituspääomaa voi sijoittaa myös ulkopuoliset. Kumpaankaan pääomamuotoon ei liity hallinnoimisoikeuksien lisäystä vaan ne ovat sijoituksenluonteisia maksuja, joille maksetaan osuuskunnan ylijäämästä korkoa. Sijoitusosuuksilla on etuoikeus jako-osaan osuuskunnan purkautuessa. Jako-osa vastaa sijoitusosuutta.

Osuuskunnan jäsenyyttä ei voi luovuttaa toiselle, mutta osuuskunnasta voi erota. Osuuskunnan jäsenyydestä eroaminen edellyttää kirjallista eroilmoitusta osuuskunnan hallitukselle. Osuuskunnasta eronneelle jäsenelle palautetaan osuusmaksu vuoden kuluttua eroamista lähinnä seuraavasta tilinpäätöspäivästä laskettuna, jos osuuskunnan oman pääoman tilanne sen osuuskuntalain edellytykset huomioon ottaen mahdollistaa (Osuuskuntalaki 30.1 §). Osuusmaksu, lisäosuusmaksu ja sijoitusosuus ovat siirtokelpoisia.

2.4.2 Verotus ja omakustannushinnoittelu

Osuuskunnan verotettava tulo lasketaan samaan tapaan kuin osakeyhtiössäkin: osuuskunnan verotettavasta tulosta lasketaan kunkin tulolähteen osalta erikseen vähentämällä verovuoden tulosta aiemmilta verovuosilta vahvistetut kunkin tulolähteen tappiot. Myös osuuskuntien tuloveroprosentti on 28.

Osuuskunnan maksama osuuspääoman korko, jonka osuuskunta suorittaa jäsenilleen, rinnastetaan verotuksessa osakeyhtiön maksamiin osinkoihin.

Näin ollen myös osakkuussähkön myyminen omakustannushintaan on ilmeisesti osuuskunnassa järjestettävissä samaan tapaan kuin osakeyhtiössä. Ennakkotapausta ei asiasta kuitenkaan ole olemassa.

2.5 Tuulivoiman tuottajan sopimukset

Tuulivoiman tuottajan on tehtävä sopimukset sähkönsiirrosta, johon liittyvät sopimusjärjestelyt ovat yksiselitteiset. Sähkönsiirtoyhtymänsä tarvitaan, jos tuottaja ei itse käytä kaikkea tuulisähköä. Lisäksi on tehtävä sopimukset voimalaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta ja mahdollisesta käytön johtajuudesta.

2.5.1 Sähkönsiirto

Sähkömarkkinalaki velvoittaa verkonhaltijan liittämään verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähköntuotantolaitokset ja myymään kohtuullista korvausta vastaan sähkön siirtopalveluja niitä tarvitseville verkkonsa siirtokyvyn rajoissa.

Tuulivoiman tuottaja tekee sopimuksen sähköverkkoon liittymisestä ja sähkönsiirrosta sen jakeluverkonhaltijan kanssa, jonka alueelle tuulivoimalaitos aiotaan rakentaa.

Tuottaja maksaa verkonhaltijalle liittymismaksun. Liittymismaksun perusteet ovat erilaisia eri yhtiöissä. Hinnastoihin merkitty liittymismaksu oikeuttaa lähinnä pääsyyn sähköverkkoon ja kattaa tavalliset liittymiseen liittyvät työt. Mutta jos liittyminen edellyttää verkonrakennusta tai -parannusta, käytäntö poikkeaa eri yhtiöissä toisistaan. Osa yhtiöistä voi veloittaa verkon rakentamisen kokonaan tai suurelta osin liittyjältä liittymismaksuna. Osa yhtiöistä käsittää verkon rakentamisen normaalina verkon parantamisena, mikä veloitetaan siirtotariffeina. Ei ole myöskään yksikäsitteisesti määritettävissä milloin verkon rakentaminen on verkon parannusta ja milloin ei. Tästä syystä liittymiskustannukset voivat poiketa samankin jakeluverkonhaltijan alueella merkittävästi. Projektin alkuvaiheessa onkin suositeltavaa keskustella paikallisen jakeluverkonhaltijan kanssa, jotta voidaan selvittää liittymiskustannukset voimalaitoksen sijainnin ja koon suhteen.

Verkonhaltijoilla on tuotannon siirtotariffit, jotka ovat yleensä tuottajille erilaiset kuin kuluttajille. Paikallisen jakeluverkonhaltijan siirtotariffit saa selvitettyä joko suoraan jakeluverkonhaltijalta tai Sähkömarkkinakeskuksesta. Siirtotariffi muodostuu yleisimmän kiinteästä maksusta ja energiamaksusta, joka voi vaihdella vuorokauden ajankohdan ja vuodenajan mukaan. Joillakin sähköyhtiöillä tariffissa on myös liityntätehoon ja loistehoon liittyvä maksukomponentti. Tariffi voi myös olla erilainen liityttäessä sähköverkon eri jänniteportaille.

Tuotannon siirtotariffit eri sähköyhtiöissä poikkeavat paljon toisistaan. Joillakin sähköyhtiöillä on tuottajille jopa negatiivisia maksukomponentteja kun taas toisilla sähköyhtiöillä maksut ovat hyvin korkeita. Tariffien suuret erot johtuvat yleensä erilaisesta tuotannon ja kulutuksen tasapainosta eri sähköyhtiöissä.

Siirtotariffi ja liittymismaksut kannattaa selvittää jo tuulivoimaprojektin alkuvaiheessa, kun mahdollisia voimalaitoksen sijaintipaikkoja vertaillaan. Viimeistään, kun tehdään projektin kannattavuuslaskelmat (luku 3.2.3), kustannukset on otettava huomioon.

2.5.2 Sähkönmyynti

Tuulisähkön kuluttamisessa on ongelmana se, että hetkittäinen tuotanto ei ajallisesti vastaa kulutusta. Tästä syystä tuulivoima ei voi koskaan olla kuluttajalle ainoa sähkön hankintalähde – ellei sitten sähkön toimittaja ota vastuuta varavoiman saatavuudesta, kuten käytännössä tapahtuu silloin kun kuluttaja ostaa jonkin sähköyhtiön tuulisähköä 100 % hankinnastaan. Seuraavassa tarkastellaan, miten on mahdollista yhdistää tuulivoima ja muu sähkönhankinta.

Tuulisähkö omistajille

Tuulivoimalaitoksen omistaja voi kuluttaa tuulivoimalaitoksen tuottaman sähkön itse tai myydä sen. Tuulivoimasähkön myyntisopimusta ei tarvita silloin, kun tuottaja kuluttaa kaiken tuulivoimalaitoksen tuotannon itse. Tämän edellytyksenä on se, että sekä tuotantopisteessä että kulutuspaikassa on tuntienenergiamittari. Kulutuksen pitää myös olla kaikkina tunteina tuotantoa suurempi. Jos tuulivoiman tuotanto ylittää hetkellisestikin (tuntitasolla) kulutuksen, on lopulle tuotannolle tehtä-

vä sähkönmyyntisopimus. Tuulisähkön ylittävälle kulutukselle on oltava sähkönostosopimus jonkin sähkönmyyjän kanssa.

Edellä mainittu pätee myös silloin, kun tuulivoimalaitoksen omistajalla on useita kulutuspaikkoja tai kun omistajia ja siten myös kulutuspaikkoja on useita. Oleellista on se, että tuotantopaikasta ja kaikissa kulutuspaikoissa on tuntitasoinen sähköenergian mittaaminen. Tuotantopaikka ja kulutuspaikat voivat sijaita saman tai useiden eri jakeluverkkoyhtiöiden alueilla.

Jos tuulisähkön omistajan sähkönkulutusta ei mitata tuntienergiamittarilla, on yksinkertaisinta käyttää sähkönmyyntiyhtiötä välikätenä. Sähkön myyntiyhtiö ostaa kaiken tuulivoimalaitoksen tuotannon ja myy sen tuulivoimalaitoksen omistajalle. Mikä tahansa suomalainen sähkönmyyntiyhtiö on mahdollinen kumppani, jolloin osto- ja myyntihinnan välisestä provisiosuhteesta on mahdollista pyytää useita tarjouksia. Sama sähkön myyntiyhtiö myy kuluttajalle (= tuulivoimalaitoksen omistajalle) heidän tarvitsemansa lisäsähkön. Tämä käytäntö tuo sähkön myyntiyhtiölle uusia asiakkaita, jolloin sähkösuhteen kanssa on mahdollista neuvotella hyvin pienikin provisio tuulisähkön välittämisestä.

Tuulisähkön myynti

Kun tuulivoimalaitoksen tuotanto myydään, on tehtävä myyntisopimus. Tuotanto voidaan myydä jollekin sähkön myyntiyhtiölle tai suoraan kuluttaja(i)lle. Tuotanto voidaan myydä suoraan kuluttajalle, jos myös kulutus mitataan tunneittain. Jos kulutus on jatkuvasti tuulivoiman tuotantoa suurempaa, tuottaja ei tarvitse muita myyntisopimuksia. Kuluttaja tarvitsee luonnollisesti myös toisenkin sähkön ostosopimuksen kattamaan tuulivoiman tuotannon ylittävän kulutuksen.

Tuulivoimalaitoksen tuotannon myyminen suoraan sähkön myyntiyhtiölle on yksinkertaista. Tosin tuotetusta energiasta ei näin välttämättä saada korkeinta mahdollista hintaa. Mutta tässäkin asiassa on mahdollista kilpailuttaa sähkösuhteita pyytämällä tarjoukset. Sähkön myyntiyhtiöt voivat ostaa tuulisähköä sen todellista arvoa korkeammin hinnoin imagosyistä.

Jos tuulivoima halutaan myydä kuluttajille, joilla ei ole kulutuksen tuntienergiamittauksista, on välttämätöntä käyttää sähkön myyntiyhtiötä välikätenä. Toiminta ei käytännössä poikkea aikaisemmin esitellystä tapauksesta, jolloin kuluttajat ovat tuulivoimalaitoksen omistajia.

Tähän mennessä sovellettuja sähkönmyyntisopimuksia

Kun tuulivoimalaitoksen omistaa sähkösuhteita, se myy ja markkinoi tuulivoimalaitoksen tuottaman sähkön omille asiakkailleen. Tuulisähköä käytetään imago- ja mainonnan välineenä, mutta sitä voidaan myydä myös erillisellä sopimuksella, jolloin sen myyntihinta on yleensä muuta sähkösuhdetta korkeampi.

Erillisillä tuulivoimayhtiöillä on monenlaisia sopimusrakenteita mm. siitä syystä, että lainsäädäntö on voimalaitoksen valmistuessa ollut erilainen kuin nykyisin. Seuraavassa joitakin esimerkkejä:

Korsnäsin tuulipuiston tuotanto myydään nykyään kokonaisuudessaan Vaasan Sähkö Oy:lle, joka hoitaa sähkön myynnin ja markkinoinnin.

Kemissä on erillinen tuulipuisto-osakeyhtiö, jonka osakkaat ovat Kemin Energian asiakkaita. Energialaitos vastaa tuulivoimatuotannon seurannasta ja

osakkaiden laskutuksesta. Tuulipuiston osakkailla on oikeus ostaa maksimissaan tietty määrä tuulisähköä osaketta kohti omakustannushintaan. Vuosittain ostettavissa olevan tuulisähkön määrä ja omakustannushinta määräytyy toteutuneen tuulivoimatuotannon mukaan. Tuulisähkö on eritelty osakkaiden sähkölaskuissa. Kemin Energia ottaa muussa sähkönhankinnassaan vastuulleen sen, että tuulivoiman tuotanto ja kulutus eivät ajallisesti vastaa toisiaan.

Lumituuli Oy toimii pääosin samoin periaattein kuin Kemin tuulipuisto-osa-
keyhtiö. Lumituulen osake antaa oikeuden ostaa 500 kWh/a tuulivoimasähköä. Jos Lumituulen osakas haluaa käyttää oikeuttaan tuulisähkön kuluttamiseen, tulee hänen siirtyä asiakkaaksi Kainuun Sähkö Oyj:lle, joka hoitaa sähkölaskutuksen. Osakas voi kattaa koko sähkönkulutuksensa tuulisähköllä tai ostaa loput tarvitsemastaan sähköstä Kainuun Sähköltä. Kainuun Sähkö ostaa (osaksi ekosähkökapasiteettiaan) Lumituulen tuulisähkön tuotannon, jota Lumituulen osakkaat eivät osta.

Hyötytuuli Oy on yhdeksän kaupunkienergiayhtiön omistama tuulipuisto-osa-
keyhtiö. Se myy sähköntuotantonsa osakkaalleen omistussuhteiden mukaisesti omakustannushintaan. Omistajayhtiöt myyvät edelleen asiakkailleen tuulisähkön. Tunturituuli Oy on Fortum-vetoinen tuulivoimayhtiö, joka toimii samalla periaatteella kuin Hyötytuuli.

Kun osakkaat/asiakkaat ovat pääosin pienkuluttajia, itsenäisen tuulivoimayhtiön ainoa käytännöllinen toimintatapa on Kemin ja Lumituulen esimerkin mukainen tapa toimia. Tuulivoimayhtiö tarvitsee vastuullisen tahon (sähköyhtiön), jonka muu sähkönhankinta voi kattaa tuulivoiman tuotannon ja kulutuksen ajallisen poikkeaman. Yhteistyökumppanin saamisessa ei pitäisi olla vaikeuksia, koska sähköyhtiö saa siten uusia asiakkaita, jotka ostavat osan sähköstään kyseiseltä sähköyhtiöltä.

2.5.3 Käyttö- ja kunnossapitosopimukset

Tuulivoimalaitoksen omistaja voi joko hoitaa itse voimalaitoksen käytön ja kunnossapidon tai ostaa sen alihankintana. Tuulivoimalaitoksen toimittaja edellyttää yleensä kunnossapitosopimuksen solmimista toimittajan kanssa, jotta takuu voidaan myöntää. Takuuaika on vaihdellut parista vuodesta viiteenkin vuoteen.

Kun paikallinen sähköyhtiö omistaa tuulivoimalaitoksen, yhtiössä on asianmukainen henkilöstö hoitamaan käyttö ja kunnossapito tuulivoimalaitoksen takuuajan jälkeen.

Jos tuottajalla ei ole toisaalta resursseja tai ei ole kannattavaa hoitaa itse käyttöä ja kunnossapitoa, on järkevää ostaa palvelu alihankintana. Alihankkijana voi toimia tuulivoimalaitoksen takuuajan jälkeen laitoksen toimittaja, paikallinen sähköyhtiö tai paikallinen muu yritys tai jopa luonnollinen henkilö. Käytössä ja kunnossapidossa on kuitenkin muistettava, että sähköalan töissä on täytettävä vaadittava pätevyys. Tietyin edellytyksin tuulivoimalaitos tarvitsee myös käytön johtajan, mitä käsitellään kohdassa 2.5.4.

2.5.4 Käytön johtajuus

Sähköturvallisuuslain mukaisesti sähkölaitteiston haltijan pitää nimetä käyttötoita varten käytön johtaja (TUKES-ohje S 2-96), jos laitteistoon kuuluu yli 1000 voltin nimellisjännitteisiä osia tai jos sähkölaitteiston liittymisteho on yli 1600 kVA.

Käytön johtajan tulee olla sähkölaitteiston haltija tai tämän palveluksessa. Käytön johtajana voi toimia myös sellaisen yhteisön palveluksessa oleva henkilö, jolla on sähkölaitteiston haltijan kanssa sähkölaitteistoa koskeva kunnossapitosopimus. Lisäksi henkilö, joka ei ole sähkölaitteiston haltijan palveluksessa, voi olla käytön johtajana, kun sähkölaitteistoon kuuluu enintään kolme nimellisjännitteeltään enintään 20 kilovoltin muuntamoita tai muuntamoon rinnastettavaa erillistä yli 1000 voltin nimellisjännitteistä kytkinlaitosta. Käytön johtaja tarvitsee asianmukaisen pätevyystodistuksen. Pätevyystodistuksen saaminen edellyttää koulutuksen ja työkokemuksen lisäksi turvallisuustutkinnon suorittamista (TUKES-ohje S5-98).

Tuulivoimalaitokseen ei yleensä kuulu yli 1000 voltin osia. Poikkeuksen muodostaa tilanne, jossa tuulivoimalaitos kytketään paikallisen jakeluverkonhaltijan keskijänniteverkkoon (20 kV) ja liittymispiste on keskijänniteverkon puolella. Jotta käytön johtajan nimeämiseltä vältytään, liittymispiste kannattaa valita muuntajan pienjännitepuolelta, jolloin muuntajat ovat paikallisen jakeluverkkoyhtiön hallinnassa.

Saman haltijan tuulivoimalaitosten liittymistehot liittymispisteessä lasketaan yhteen. Eli jos liittymispisteeseen on kytketty kaksi tuulivoimalaitosta, joiden molempien liittymistehot ovat 1000 kVA, käytön johtaja tarvitaan, jos tuulivoimalaitoksilla on sama haltija. Mutta jos niillä on eri haltijat, käytön johtajaa ei tarvita.

Sähköinfo Oy on julkaissut Sähköalan tietokansiossa sopimuslomakkeen: Sopimus sähkölaitteiston käytön johtamisesta (kunnossapitosopimus). Sopimuslomaketta voi tilata Sähkö- ja teleurakoitsijaliitosta.

2.6 Informointi

Informointia hankkeen käynnistämisen yhteydessä on sivuttu jo aiemmin kohdassa 2.1, mutta paremman kokonaiskuvan saamiseksi on informointiin liittyvät asiat seuraavassa esitetty omana kokonaisuutenaan.

Mahdollisimman avoin informointi on monella tapaa avainasemassa hankkeen toteutusedellytysten ja hankkeesta syntyvän julkisuuden kannalta. Toisaalta aivan hankkeen alkuvaiheessa on julkisuutta ehkä vältettävä ja pyrittävä varmistamaan maa-alueen saatavuus ja käytettävyys kahdenkeskisissä, luottamuksellisissa keskusteluissa.

Ensimmäiseksi on yleensä syytä selvittää suunnitellun sijoituskohteen maanomistus ja -käyttö, ja ottaa suoraan yhteyttä maanomistajiin sekä maankäytöstä vastaaviin viranomaisiin (kunnan rakennustarkastaja tai vastaava ja alueellinen ympäristökeskus). Kahdenkeskisissä keskusteluissa saadaan tällöin realistinen kuva hankkeen toteutusedellytyksistä, ja maa-alueen hankinnasta voidaan jo alustavasti sopia ennen kuin tieto hankkeen valmistelusta tulee julkisuuteen. Varsinkin tuotantoedellytyksiltään edulliset kohteet herättävät helposti muidenkin potentiaalisten investoijien mielenkiinnon, minkä seurauksena maa-alueen hinta helposti kohoaa ja pahimmassa tapauksessa alue saatetaan menettää kilpailevalle taholle.

Maanomistaja ja ympäristöviranomaiset saattavat antaa keskenään ristiriitaista tietoa kohteen toteutuskelpoisuudesta, minkä vuoksi esitetyt näkemykset on syytä tarkistaa; maanomistaja saattaa esimerkiksi olla halukas myymään maa-alueen, johon tietää lähitulevaisuudessa tulevan rakentamisrajoituksia. Myös kunnan ja alueellisen ympäristökeskuksen näkemykset tietyin alueen toteutuskelpoisuudesta ympäristöarvojen kannalta voivat poiketa merkittävästi toisistaan. Tällöin on selvítettävä, kummalla on päätäväksi asiassa (mikä puolestaan riippuu mm. kohteen kaavoitustilanteesta).

Maa-alueen koosta, rajanaapureiden intresseistä, alueen kaavoitustilanteesta ja ympäristöarvoista jne. riippuen on usein syytä varmistaa myös rajanaapureiden suhtautuminen hankkeeseen kahdenkeskisissä neuvotteluissa ennen kuin asiasta informoidaan laajemmin. Tämä koskee etenkin sellaisia tapauksia, joissa rajanaapureilla voi olla aihetta valittaa lupahakemusten yhteydessä ja valitukselle on pätevät perusteet (esim. asuinrakennus lähellä kaavailtuja tuulivoimalaitosten paikkoja).

Kun maa-alueen hankinnasta on maanomistajan kanssa päästy alustavasti sopimukseen ja ainakin osa rajanaapureista on saatu hankkeen puolelle, on paikallaan informoida paikkakunnalla julkisesti hankkeen käynnistymisestä. Tämä voidaan tehdä paikallislehdessä tai -radiossa, asiasta voidaan järjestää avoin keskustelutilaisuus jne. Tässä vaiheessa jaettavassa informaatiossa on ehdottomasti syytä korostaa, että hanke on vasta suunnitteluasteella, mitään päätöksiä ei ole tehty, kaikkien asianosaisten kanssa tullaan keskustelemaan, ja kaikki mielipiteet tullaan ottamaan huomioon.

Mikäli hankkeelle onnistutaan saamaan myönteinen kuva paikallisten keskuudessa heti alusta lähtien, on ilmapiirin kääntymisen negatiiviseksi myöhemmässä vaiheessa epätodennäköistä. On syytä korostaa, että vaikka julkisuudessa hankkeesta saataisiin syntymään myönteinen kuva, voi tästä huolimatta naapuruston suhtautuminen olla erittäin negatiivista. On selvää, että tällöin naapuruston käsitys on ratkaisevammassa asemassa, ja sitä on myöhemmin erittäin vaikea muuttaa positiiviseen suuntaan.

2.7 Mistä apua projektin organisointiin liittyvissä asioissa

Mikäli toteuttaja on paikallinen toimitusvelvollinen sähköyhtiö tai energialaitos, ja tuulivoiman tuotanto aiotaan liittää osaksi yhtiön normaalia sähkön hankintaa, on projektin organisointi monilta osin helpompaa kuin muissa tapauksissa.

Paikallinen sähköyhtiö voi tarjota apuaan projektin organisoinnissa, vaikei osallistuisikaan hankkeen toteutukseen osakkaana tai omistajana. Näin meneteltiin mm. Kemissä, jossa paikallinen energialaitos suurelta osin vastasi erillisen osakeyhtiön, Kemin tuulivoimapuisto Oy:n, perustamisesta. Myös kunnan kehitysyhtiö (kuten Korsnäsissa) tai muu paikallinen taho voi ottaa hoitaakseen projektin organisoinnin.

Erillisen osakeyhtiön tai osuuskunnan muodostaminen on juridinen prosessi, johon on saatavissa apua juristeilta, ekonomisteilta, ym. taloushallinnon asiantuntijoilta. Myös energiayhtiöihin ja energia-alan liiketaloudellisiin kysymyksiin perehtyneisiin konsulttiyrityksiin kannattaa olla yhteydessä.

Verkkoyhtiön ja mahdollisten muiden tahojen kanssa solmittavissa sopimuksissa on hyvä käyttää jotakin puolueetonta tahoa, joka varmistaa, että sopimuksista tulee kaikissa yksityiskohdissaan juridisesti päteviä ja kaikkien osapuolten kannalta hyväksyttäviä. Energia-alaan perehtynyt juristi tai ekonomisti, tai sopimusoi-keudellisiin kysymyksiin perehtynyt energia-alan konsultti lienevät sopivimpia tahoja. Turvatekniikan keskukselta (TUKES) saa tietoa sähköturvallisuusmää-räyksistä, ja Sähkömarkkinain tulkinnoista kannattaa tiedustella ensisijaisesti Sähkömarkkinakeskuksesta.

Informointiin liittyvissä asioissa kannattaa olla yhteydessä tuulivoimayhdis-tyksiin (Suomen Tuulivoimayhdistys r.y., Vindkraftföreningen r.f.). Tuulivoimayh-distykset voivat olla mukana järjestämässä esim. tiedotustilaisuuksia ja hankkia asiantuntijoita esitelmöimään tilaisuuksissa. Tiedotustilaisuuksiin kannattaa kut-sua paikallislehdet, paikallisradiot, ja harkinnan mukaan ehkä valtakunnallisiakin tiedotusvälineitä. Yhdistyksiltä saa myös kirjallista tiedotusmateriaalia, jota voi-daan jakaa paikkakuntalaisille, päättäjille, tiedotusvälineille jne.

3 Projektin toteutusedellytykset

3.1 Sijoituspaikan valinta

3.1.1 Yleistä

Sijoituspaikkaa valittaessa on yleensä tehtävä kompromisseja eri tekijöiden välillä. Kaikilta edellytyksiltään suotuisia kohteita on erittäin vähän. Tuulisin kohde ei välttämättä ole paras; muut edellytykset ovat usein ratkaisevia. Näitä ovat infrastruktuuri (tie ja sähköverkko), maankäyttö ja asutus, ympäristötekijät, maa-alueen saatavuus, sekä laitosten sijoitteluun liittyvät kysymykset. Näitä käsitellään jäljempänä.

Hyvänä apuna potentiaalisia sijoituspaikkoja etsittäessä ovat alueelliset tuulivoimakartoitukset, joita on laadittu lähes kaikkialla rannikkoseuduilla sekä Lapissa. Tuulivoimakartoitusten tuloksista saa tietoa esim. alueen seutukaavaviranomaiselta eli maakuntaliitolta.

3.1.2 Tuulisuus- ja tuotantoarviot

Tuulivoimalaitosten sijoituskohdetta valittaessa ja projektin toteutusedellytyksiä arvioitaessa on erityistä huomiota kiinnitettävä tuulisuuden ja laitosten tuotannon arviointiin.

Tuuliolosuhteet Suomen rannikoilla ja saaristossa sekä Lapin tuntureilla ovat suotuisat tuulivoiman tuotantoon; korkeimmalle ympäristöstään kohoavien tuntureiden lakialueet ovat Euroopan mittakaavassa tuulioloiltaan hyvää luokkaa, ja rannikkoalueetkin keskitasoa.

Suomi on kuitenkin useimpiin tuulivoimaa laajasti hyödyntäviin maihin verrattuna metsäinen maa. Metsä alkaa lähes poikkeuksetta heti rantaviivalta, ja suuremmat yhtenäiset peltoaukeat ovat yleensä verraten kaukana sisämaassa. Etelärannikolla, Varsinais-Suomessa ja Ahvenanmaalla rannat ovat usein myös jyrkkiä ja louhikkoisia. Laajat, yhtenäiset, avoimet laidun- ja peltomaat, joille tuulivoimaa pääasiassa rakennetaan esim. Keski-Euroopan rannikkoseuduilla, puuttuvat Suomesta käytännössä kokonaan.

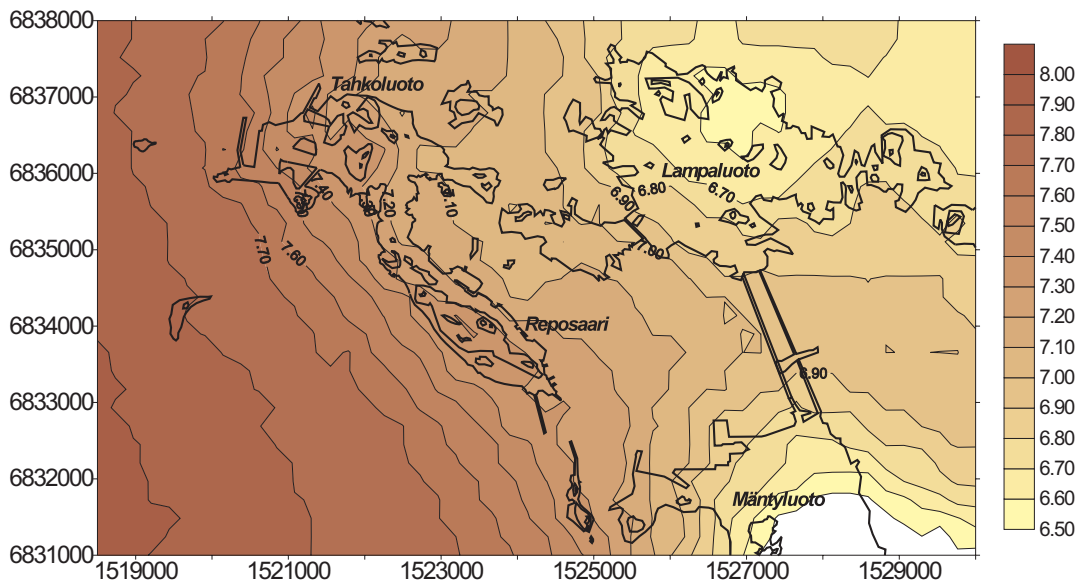
Tästä johtuen on tuulivoiman tuottaminen Suomessa nykyisillä sähkön hinnoilla taloudellisesti kannattavaa vain meren rantaviivan välittömässä läheisyydessä, ja sisämaassa riittävän korkealle ympäristöstään kohoavien tunturien, vaarojen tai mäkien huipuilla. Lisäksi tuuliolosuhteiltaan kohtuullisen edullisia alueita voi löytyä suurten järvien rannoilta ja saarista sekä kaikkein laajimmilta peltoaukeilta rannikoilla.

Taulukko 1 Ohjeellinen tuulen keskimääräinen vuosittainen keskinopeus (m/s) 30 m korkeudella maan/merenpinnasta eri maastotyypeillä eri osissa Suomea /7/.

| | Sisä-Suomi | Rannikkoseutu | Ulkosaaristo |
|---------------------|------------|---------------|--------------|
| Metsäinen maasto | 3,5 - 4,5 | 4,5 - 5,0 | 5,0 - 5,5 |
| Avoim tasainen alue | 5,0 - 5,5 | 5,5 - 6,0 | 6,0 - 6,5 |
| Meren ranta | - | 5,5 - 6,5 | 6,5 - 7,0 |
| Saaristo | 5,0 - 5,5 | 5,0 - 7,0 | 6,0 - 8,0 |
| Suuret järven selät | 4,5 - 6,5 | - | - |
| Korkeat mäet | 5,0 - 7,0 | (5,5 - 7,5) | - |
| Avoim meri | - | 7,5 - 8,0 | 7,5 - 8,5 |
| Avotunturi | 6,5 - 9,0 | - | - |

Yleisesti ottaen keskimääräiset vuotuiset tuuliolot ovat Suomessa edullisimmat Ahvenanmaalla ja Varsinais-Suomen saaristossa ja heikkenevät vähitellen itää ja pohjoista kohti. Kokkolan ja Oulun välisellä avoimella rannikolla tuuliolosuhteet ovat jonkin verran paremmat kuin Merenkurkussa tai Perämeren pohjukassa. Sisä-Suomessa ratkaiseva tekijä on kohteen korkeus ympäröivästä maastosta, ei niinkään sen maantieteellinen sijainti.

Jos alueelle ei ole aiemmin laadittu tuulisuuskartoitusta, on suunnitellun sijoituskohteen tuuliolosuhteet yleensä syytä arvioida tietokoneavusteisesti Suomen Tuuliatlakseen /2/ ja tarkoitukseen soveltuvaan tietokoneohjelmaan (esim. WA^{SP} /6/) perustuen. Tietokoneavusteisia tuulisuuservioita voi tilata Ilmatieteen laitokselta, VTT:ltä tai tuulivoimakonsulteilta.



Kuva 9 Tietokoneavusteinen tuulikarttoitus Porin saaristosta, tarkastelukorkeus on 50 m maan/merenpinnan yläpuolella. Energia-Ekono Oy.

Sisämaassa, etenkin tuntureilla ja muilla korkeuseroiltaan voimakkaasti vaihtelevilla alueilla, WA^{SP}-ohjelman ja tuuliatlasmenetelmän luotettavuus on toistaiseksi heikko, ja potentiaalisia sijoituspaikkoja kartoitettaessa on tyydyttävä karkeampiin menetelmiin.

Sopivaa sijoituskohdetta etsittäessä saattaa seuraavista ”nyrkkisäännöistä” olla apua:

- Etelä, lounas ja länsi ovat Suomessa jonkin verran muita tuulensuuntia yleisempiä, ja näistä suunnista tuulee yleensä myös keskimäärin hieman kovempaa kuin muista suunnista.
- Voimakkaasti vallitsevia tuulensuuntia ei Suomessa kuitenkaan ole (lukuunottamatta jokilaaksoja yms.). Kovimmilla pakkasilla vallitsevat usein idän ja pohjoisen puoleiset tuulet, joten näiden sektoreiden merkitys hankkeen taloudellisuudelle saattaa olla selvästi suurempi kuin vuosikeskiarvojen perusteella voisi olettaa.
- Täysikasvuinen metsä jarruttaa tuulta erittäin voimakkaasti. Metsäisillä rannoilla on tuulivoimalat pyrittävä sijoittamaan mahdollisimman lähelle rantaviivaa ja/tai käytettävä tuulivoimalaitoksissa riittävän korkeita torneja.
- Tasaisesti kohoavien mäkien lakialueilla keskituulennopeus on suurempi kuin ympäröivillä tasaisilla alueilla. Jos korkeuserot ovat riittävän suuret (useita kymmeniä metrejä), saattaa rannikolla olla edullisempaa rakentaa mäen päälle kuin rantaviivalle. Tämä riippuu kuitenkin myös maaston peitteisyydestä.
- Hyvin jyrkät rinteet ja kalliot lisäävät lähinnä tuulen pyörteisyyttä ja pystyvirtauksia, eivät niinkään vaakasuoraa tuulennopeutta. Pyörteisyys ja pystyvirtaukset pienentävät hyödyksi saatavaa tuulen energiaa ja rasittavat tuulivoimalan rakenteita.
- Massiiviset ja korkeat rakennukset (voimalaitokset, tehtaat, öljysäiliöt ym.) aiheuttavat ympärilleen voimakkaita pyörteitä. Niihin on syytä jättää etäisyyttä vähintään muutamia satoja metrejä.
- Sisämaassa potentiaaliset sijoituskohteet ovat vähintään 100 m ympäröivän maaston keskikorkeuden yläpuolella. Tasaisesta maastosta korkealle ja kohdalaisen jyrkästi kohoavat yksinäiset mäet ovat tuulivoiman kannalta kiinnostavimpia. Mitä loivempia rinteet ovat ja mitä enemmän seudulla on muita ympäristöstään korkealle kohoavia mäkiä, sitä heikommat ovat odotettavissa olevat tuuliolosuhteet.

Edellä todetun perusteella voidaan tarkasteltavalta alueelta valita ne kohteet, joiden voidaan olettaa olevan tuuliolosuhteiltaan riittävän hyviä, ja teettää tarkat tuulisuusanalyysit ko. kohteista. Joissain tapauksissa on suositeltavampaa teettää alueellinen tuulisuuskartoitus koko alueesta, jolloin saadaan muodostettua kokonaiskuva tarkasteltavan alueen kaikista potentiaalisista kohteista ja niiden välisistä eroista odotettavissa olevan tuotannon suhteen. Mikäli tarkasteltava alue on pieni ja potentiaalisia kohteita vain vähän, ei aluekartoituksesta ole vastaavaa hyötyä.

Useimmista rannikkoalueista sekä Lapin tunturialueista on jo laadittu alueellinen tuulivoimakartoitus, jossa on tietokoneavusteisesti arvioitu tarkasteltavan alueen tuuliolosuhteet sekä etsitty kohteet, jotka voisivat tulla kyseeseen tuulivoiman rakennuskohteina, ottaen huomioon sekä tekniset että maankäytölliset ja ympäristölliset näkökohdat /8, 9, 10, 11, 12/.

On kuitenkin syytä korostaa, että ko. kartoitukset eivät ole siinä mielessä kattavia tai poissulkevia, etteikö uusiakin kohteita kartoitetuilta alueilta voisi löytyä. Kartoituksissa laadittujen tuulisuusarvioiden luotettavuus on etenkin hankalassa maastossa usein heikohko, ja toisaalta laitoskokojen kasvu ja tuulivoimatekniikan yleinen kehitys saattaa hyvinkin mahdollistaa tuulivoiman rakentamisen moniin

sellaisiin kohteisiin, joita aluekartoituksia laadittaessa ei pidetty toteutuskelpoisina. Myös maankäytölliset tekijät muuttuvat jatkuvasti.

Suomessa tuulisuusanalyysi (joko kutakin sijoituskohdetta varten erikseen tai aluekartoituksena) suoritetaan yleisimmin Tanskassa tähän tarkoitukseen kehitetyllä WA^{SP}-ohjelmalla ja Ilmatieteen laitoksen laatimalla Suomen Tuuliatlaksel-la. Aluekartoitukseen vaaditaan WA^{SP}-ohjelman lisäksi tähän tarkoitukseen kehitettyjä tiedonkäsittely- ja grafiikkarutiineja.

Tuuliatlakseen on koottu tuulisuustiedot 60 mittausasemalta eri puolilta Suomea. WA^{SP} -ohjelman avulla mittauksista on poistettu mittauspaikkaa ympäröivän maaston vaikutus tuulisuuteen, ja näin generoitu yleistetty alueellinen tuulisuustiedosto (atlastiedosto).

WA^{SP}-ohjelman avulla voidaan tarkastella kutakin sijoituskohdetta antamalla ohjelmalle ympäröivän maaston tarkka kuvaus ja yhdistämällä se Tuuliatlaksesta saatavaan alueelliseen tuulisuustiedostoon. Tuulen alueellisista eroista ja paikallisista ilmastollisista eroista johtuen kohdealueen tuulilojen kuvaamiseen on käytettävä vastaavanlaiselle paikalle laadittua atlastiedostoa.

Tulokseksi analyysistä saadaan tuulen keskinopeus ko. kohteessa halutulla tarkastelukorkeudella, tuulen nopeusjakauman Weibull-parametrit (ks. kuva 6) suuntasektoreittain, sekä kohteeseen sijoitettavan tuulivoimalaitoksen vuosituotantoarvio.

Mikäli tarkasteltava kohde on sen tyyppinen, ettei vastaavista kohteista ole mittaustuloksia tai toiminnassa olevista tuulivoimalaitoksista saatuja käyttökoemuksia, on tuulisuus- ja tuotantoarvion tulokset varmennettava tuulimittauksilla. Tällaisia kohteita ovat tyypillisesti esim. sisävesien rannat ja sisämaassa sijaitsevat korkeat mäet. WA^{SP}-ohjelman ja Tuuliatlaksen soveltuvuus Lapin tuntureille on toistaiseksi heikko, ja tuntureilla tulisikin tästä johtuen tehdä tuulisuusarviot ensisijaisesti kohteessa tehtäviin tuulimittauksiin perustuen.

Mittausjakson tulee olla riittävän pitkä, käytännössä merialueilla vähintään 1 vuosi ja tuntureilla useita vuosia, jotta vuodenaikavaihteluista saadaan käsitys. Mikäli on saatavilla pitkän aikavälin mittaustuloksia tai tuulivoimalaitoksen tuotantolukuja samantyyppisestä kohteesta verraten lähellä mittauspaikkaa, voidaan jo puolen vuoden mittausjaksolla mahdollisesti saavuttaa riittävä tarkkuus. Mittausjaksoon tulisi ehdottomasti sisältyä ainakin joitakin talvikuukausia, koska talvikaikana tuulisuuden vaihtelut ovat huomattavasti suuremmat kuin kesällä. Mittausjakson tuloksia on jakson pituudesta riippumatta aina syytä verrata lähimmillä sääasemilla samalla jaksolla mitattuihin tuulennopeuksiin ja ko. sääasemien pitkän aikavälin keskiarvoihin, jotta eri vuosien väliset erot saataisiin eliminoitua.

Mittaustuloksiin vaikuttavat lukuisat virhelähteet, joista muutamia merkittävimpiä ovat:

- mittauspaikan ympäristössä sijaitsevien rakennusten, puiden, korkeuserojen ym. vaikutus tuulimittariin
- liian matala mittauskorkeus verrattuna suunnitellun tuulivoimalaitoksen napakorkeuteen
- mittarin sijoittaminen liian massiiviseen mastoon, jolloin mittausmasto häiritsee mittauksia
- mittareiden virheellinen kalibrointi

- ei-vaakasuorien virtausten vaikutus (korkeusprofiililtaan vaihtelevassa maastossa)
- mittareiden huurtuminen ja jäätyminen talvikuukausina
- mittausjakson epäedustavuus pitkällä aikavälillä

Edellä mainituista syistä mittauksiinkin perustuva tuotantoarvion virhe ylittää helposti 10 %, eikä paikan päällä suoritetuilla tuulimittauksilla näin ollen välttämättä saavuteta lisäarvoa huolellisesti laadittuun tietokoneavusteiseen tuotantoarvion verrattuna.

Tuuliolojen lisäksi on Suomessa syytä kiinnittää huomiota jäätyriskisyyksiin jo esiselvitysvaiheessa, ainakin mikäli suunniteltu sijoituskohde on korkealla merenpinnasta tai ympäröivästä maastosta, tai mikäli suunnitellaan suurten laitosten (yksikköteho 1 MW tai enemmän) hankkimista.

3.1.3 Infrastrukturi

Sähköverkon läheisyys on tärkeä kriteeri kohteita valittaessa. Myös sähköverkon vahvuus eli kyky ottaa vastaan tuotettu teho ja tasoittaa tehonvaihtelut rajoittaa tuulivoiman rakentamista. Sähköverkkoa koskevia tietoja saa paikalliselta verkko-yhtiöltä.

Hyvät tieyhteydet kuuluvat niinkään tuulivoiman rakentamisen teknistaloudellisiin edellytyksiin. Tietä ei ainakaan hankalassa maastossa kannata rakentaa pitkiä matkoja. Erikokoisten ja -tyyppisten tuulivoimalaitosten vaatimukset kuljetukseen käytettävän tiestön suhteen eroavat jossain määrin toisistaan, mutta yleisesti ottaen normaalikuntoinen päällystämätön yleinen tie soveltuu sellaisenaan suurtenkin laitosten ja pystytyskaluston kuljetukseen. Metsäauto- tai traktoritietä sen sijaan on yleensä oiottava, vahvistettava ja levennettävä. Kuljetus ja pystytys voidaan joissain tapauksissa hoitaa myös vesi- tai jääteitse.

Riittävän suuri maa-ala sekä kuljetukseen ja pystytykseen soveltuva maapohja ovat niinkään hyvältä rakennuskohteelta vaadittavia edellytyksiä.

Tuulivoimalaitoksia kannattaa lähes poikkeuksetta rakentaa useita kerralla, joko samaan kohteeseen tai useampiin lähekkäisiin kohteisiin. Varsinkin suurten (> 1 MW) laitosten pystytys tulee tällöin huomattavasti edullisemmaksi, koska suurten nostureiden mobilisointi on huomattava kustannuserä, joka ei riipu pystytettävien laitosten lukumäärästä.

Suurissa tuulipuistohankkeissa voidaan tietä ja sähkölinjaa rakentaa useita kilometrejä ilman, että hankkeen talous sanottavammin kärsii – varsinkin mikäli tällä tavoin päästään rakentamaan tuuliolosuhteiltaan huomattavasti parempaan kohteeseen. Pienissä projekteissa tien ja verkon rakentaminen on ehdottomasti minimoitava.

Useimmiten Suomen rannikoilla kyseeseen tulevat kohteet ovat maaston rikkonaisuudesta johtuen niin pieniä, ettei yhteen kohteeseen mahdu kuin muutamia laitoksia. Myös verkon siirtokapasiteetti rajoittaa tuulipuistojen kokoa, koska säteittäiset jakeluverkkolinjat ovat rannikoilla usein pitkiä ja niiden varrella on vain vähän kulutusta. Verkon vahvistus tai kokonaan uuden linjan rakentaminen lähimmältä 110 kV syöttöasemalta tulee kyseeseen vain suurissa (luokkaa 5 MW tai enemmän) projekteissa. Erittäin suurissa hankkeissa saattaa olla perusteltua liittää tuulipuisto suoraan 110 kV jännitteeseen.

Edellä mainitut tekijät puoltavat rakentamista sellaisiin kohteisiin, joissa tie ja riittävän vahva sähköverkko tulevat perille asti. Tällaisia ovat mm. teollisuus- ja voimalaitosalueet, piensatamat, sekä tuntureilla laskettelukeskukset. Näissä kohteissa myöskään ympäristölliset tekijät eivät yleensä muodostu yhtä kriittisiksi kuin rakennettaessa koskemattomaan luontoon.

3.1.4 Maanomistus ja -käyttö sekä ympäristötekijät

Tuulivoimalan, kuten minkä tahansa rakennuksen, voi rakentaa vain omassa hallinnassa olevalle maa-alueelle. Maa-alueen voi hankkia hallintaansa joko ostamalla tai vuokraamalla. Tonttijaosta ja maanomistuksesta saa tietoa esim. asianomaisen kunnan kiinteistörekisteristä. Maanomistajaan on syytä ottaa yhteyttä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Mikäli kunta ajaa aktiivisesti tuulivoimahanketta eteenpäin, on laitosten sijoittaminen kunnan omistamalle maa-alueelle kaikkein luontevin vaihtoehto.

Kunnan tai valtion omistaman maa-alueen hankinta ei kuitenkaan välttämättä ole helpompaa kuin yksityisen. Yksityisten kanssa saattaa olla helpompaa ja joustavampaa neuvotella, ja sopimukseen saatetaan päästä nopeasti. Toisaalta maa-alueen hankinnasta aiheutuvat kustannukset voivat tällöin olla korkeammat. Maa-alueen hankkiminen valtiolta, kunnalta tai muulta julkisyhteisöltä edellyttää tyypillisesti lausuntoja useilta tahoilta, pitkäjäisiä neuvotteluja ja päätöksiä useassa eri portaassa.

Maanomistaja – varsinkin yksityinen – kannattaa mahdollisesti kytkeä hankkeeseen tarjoamalla esim. osa vuokrasta edullisen tuulisähkön muodossa. Tällöin omistaja kokee laitoksesta mahdollisesti aiheutuvat maisema- ja meluvaikutukset vähemmän haitallisiksi.

Ympäröivien alueiden maankäyttö vaikuttaa tuulivoiman rakentamisedellytyksiin ja vaadittavaan lupaprosessiin /13/. Koska tuulivoimalaitos pääsääntöisesti tulkitaan rakennukseksi, sen rakentamista säätelevät samat lait ja asetukset kuin muutakin rakentamista. Lisäksi tuulivoimala edellyttää useimmiten tien ja sähkölinjan rakentamista, joka niin ikään on lakien ja asetusten säätelemää, luvanvaraista toimintaa.

Alueen kaavoitustilanteesta saa tietoa asianomaisesta kunnasta. Alueellisella ympäristökeskuksella on parhaiten ajantasalla olevat tiedot olemassaolevista mahdollisista suunnitelluista uusista luonnonsuojelualueista ja muista sellaisista ympäristötekijöistä, jotka on otettava huomioon sijoituskohteen valinnassa ja laitosten sijoittelussa.

Hanketta valmisteltaessa on tarvittavien lupien selvittämiseksi syytä olla jo varhaisessa vaiheessa yhteydessä mm. kunnan rakennuslupaviranomaisiin ja ympäristölautakuntaan, alueelliseen ympäristökeskukseen, ilmailulaitokseen (lentoestemääräykset), ja tapauskohtaisesti myös merenkulkuviranomaisiin, teleliikenneviranomaisiin, museovirastoon jne.

Tuulivoiman ympäristövaikutuksia ja niistä aiheutuvia maankäyttöön liittyviä kysymyksiä on esitelty tarkemmin luvussa 5. Tässä esitetään muutamia pääkohtia, jotka on otettava huomioon jo alusta lähtien sopivaa sijoituskohdetta etsittäessä.

Tuulivoimalaitoksen aiheuttama ääni on lähinnä lapojen liikkeestä syntyvää suhinaa, jonka tasamaalla voi erottaa luonnon taustäänistä 200 - 300 m etäisyydelle, usean laitoksen muodostaman tuulipuiston tapauksessa kauemmaksikin /13/. Näin ollen ei tuulivoimalaitoksia pääsääntöisesti tulisi rakentaa alle n. 300 m etäisyydelle asuinrakennuksista. Jos laitokset sijaitsevat ympäristöään korkeammalla (mäen tai tunturin laella), voi ääni joissain olosuhteissa kuulua huomattavasti kauemmas. Mikäli taas alueella on esim. teollisuuden tai liikenteen synnyttämää taustamelua, häipyä laitosten käyntiääni kuuluvista jo huomattavasti lyhyemmällä etäisyyksillä. Myös metsä vaikuttaa ääntä vaimentavasti. Metsäinen ja epätasainen maasto myös häivyttää laitokset nopeasti näkyvistä. Näin ollen on joissain tapauksissa mahdollista rakentaa lähemmäs asuinrakennuksia, mikäli naapureiden kanssa päästään yhteisymmärrykseen.

Suomen rannikoilla em. kriteeri karsii huomattavan suuren osan potentiaalisista sijoituskohteista, koska monin paikoin rannoille on rakennettu kesämökkejä muutaman sadan metrin välein, ja koska tuulipuiston sijoittaminen yli 300 m etäisyydelle rantaviivasta ei enää välttämättä ole järkevää, koska heti rantaviivalta alkava täysikasvuinen metsä heikentää tuulioloja voimakkaasti.

Pääsääntöisesti tuulivoimalaitoksia ei tule sijoittaa luonnonsuojelualueille tai muihin luonnoltaan tai maisemaltaan poikkeuksellisen herkkiin kohteisiin. Lakisääteisille suojelualueille rakentaminen ei ole lainkaan mahdollista. Rakentaminen virkistysalueelle sen sijaan on monissa tapauksissa mahdollista, ellei kyseessä ole poikkeuksellisen arvokas ja luonnontilainen tai maisemallisesti merkittävä virkistysalue.

Mikäli tarkasteltavalla alueella on kulttuurihistoriallista merkitystä (esim. vanhaa kulttuurimaisemaa, kulttuurihistoriallisesti arvokkaita rakennuksia tai kyläyhteisöjä, muinaismuistoja), saattaa rakennusluvan saanti olla vaikeaa. Vaikka lupa saataisiinkin, voi tuulivoimalaitosten rakentaminen ympäristöllisesti arkoihin kohteisiin tuoda hankkeen toteuttajalle negatiivista julkisuutta ja vaikeuttaa tulevien tuulivoimahankkeiden toteuttamista.

Maisema- ja meluvaikutusten lisäksi saattavat tapauskohtaisesti vaikutukset linnustoon olla merkittäviä. Onkin suositeltavaa välttää muuttolinnuille tärkeitä levähdyspaikkoja tuulivoimalaitosten sijoituskohteina. Myös alueella pesivät tai ravintoa hankkivat harvinaiset paikallislinnut (etenkin suuret petolinnut) tulee ottaa huomioon.

Puolustusvoimien alueille rakentaminen on usein vaikeaa, mutta tapauskohtaisesti kuitenkin mahdollista. Varsinkin Suomenlahden rannikolla ja Saaristomereillä puolustusvoimien hallinnassa olevia alueita on melko runsaasti.

Tuulivoimalaitokset eivät aiheuta vaaraa lähiympäristössä tapahtuvalle teolliselle toiminnalle tai liikenteelle esim. irtoilevien osien muodossa. Näin ollen laitoksia voidaan turvallisesti sijoittaa esim. satamien aallonmurtajille, pengerteiden reunoille ja vastaaviin kohteisiin, kunhan maapohjan kestävyys varmistetaan. Käytännössä ainoa huomioonotettava turvallisuustekijä on jäiden irtoilu lavoista talvikaan; varsinkin suurissa laitoksissa on odotettavissa, että lapoihin kertyy toisinaan jäätä, joka putoilee suurimmaksi osaksi suoraan roottorin alapuolelle mutta saattaa lentää kauemmaksi. Kansainvälisen suosituksen mukaan tulisi sellaisissa kohteissa, joissa jäätymistä esiintyy säännöllisesti ja joissa liikkuu runsaasti yleisöä, jättää tuulivoimalaitoksiin suojaetäisyyttä vähintään 1,5 x laitoksen kokonaiskor-

keuden (tornin korkeus + lavan pituus) verran, eli 500 - 750 kW laitoksilla 90 - 120 m ja 1000 - 1500 kW laitoksilla 115 - 170 m /14/. Kansallisia suosituksia ei suojaetäisyydestä toistaiseksi ole annettu.

Jäiden irtoilun aiheuttama riski voidaan käytännössä pitkälti eliminoida esim. varustamalla laitokset jäänestöjärjestelmällä tai jäätunnistimella, joka pysäyttää laitokset jäätävissä olosuhteissa.

3.1.5 Maa-alan tarve ja laitosten sijoittelu

Tuulivoimalaitos aiheuttaa tuulen alapuolelle pyörteitä ja vaimentaa tuulta. Näin ollen laitoksia ei tule sijoittaa liian lähelle toisiaan. Tuulen vaimeneminen (varjos- tusvaikutus) pienentää energian tuottoa, mutta kenties ratkaisevampi tekijä on var- joon jäävien laitosten lapoihin, laakereihin, vaihteistoon jne. kohdistuvat pyörtei- syyden aiheuttamat rasitukset, jotka lyhentävät laitosten käyttöikä.

Alueilla, joilla tietyn suuntaiset tuulet ovat voimakkaasti vallitsevia, voidaan laitoksia sijoitella tuulen etenemissuuntaa vastaan kohtisuorissa riveissä hyvinkin lähelle toisiaan. Suomessa tuulen suuntajakauma ei yleensä ole kovin voimakkaas- ti painottunut. Laitosten välisen minimietäisyyden tulisikin olla viisi kertaa rootto- rin lapojen kärkiväli (5 D). Jos rakennettavia laitoksia on vain 2 - 3, voidaan käyt- tää lyhyempiä etäisyyksiä (3,5 - 4 D). Mikäli laitoksia on paljon ja ne sijoitellaan useisiin riveihin, etäisyyksien tulisi ainakin yleisimmässä tuulensuunnissa olla suu- remmat, jopa 7 - 8 D.

Tuulivoiman tuotanto vaatii edellisestä johtuen runsaasti maa-alaa tuotettua tehoa kohti. Sijoituskohteiden löytyminen useammalle kuin muutamalle laitoksel- le on Suomen rannikoilla ja saaristossa usein vaikeaa maankäytöllisistä rajoituksis- ta ja maaston rikkonaisuudesta johtuen. Joidenkin tuntureiden lakialueilla hyvin- kin suurten puistojen rakentaminen olisi teknisesti mahdollista, mutta ympäristöl- liset tekijät rajoittavat monissa tapauksissa tällaisten laajojen tunturiselänteiden hyödyntämistä.

Periaatteessa tuulivoimalaitosten väliin jäävät maa-alueet ovat edelleen käy- tettävissä maanviljelyyn tms. Keski-Euroopassa on havaittu, että laitokset perus- tuksineen, yhdystiet, sähkölinjat, muuntajat ym. vievät vain 1 - 2 % tuulipuiston kokonaispinta-alasta. Suomessa laitosten väliin jäävä maa-alue ei yleensä ole maanviljelyskäytössä, eikä tuulipuistoalueen rinnakkaiskäyttö muihin tarkoituk- siin ole välttämättä mahdollista.

3.1.6 Muut tekijät

Edellä kohdissa 3.1.2 - 3.1.5 luetellut tekijät karsivat usein potentiaalisia sijoitus- kohteita jo niin voimakkaasti, ettei valinnanvaraa juuri jää. Mikäli mahdollista, kannattaa kuitenkin myös seuraavat tekijät ottaa huomioon sijoituskohdetta etsittä- essä.

Tuulivoimalla on Suomessa ainakin toistaiseksi pääosin positiivinen jul- kisuusarvo. Näin ollen laitos tai puisto olisi hyvä rakentaa sellaiseen kohteeseen, johon on hyvät liikenneyhteydet. Laitosten näkyminen muutaman kilometrin etäi- syydeltä päätielle, turistikohteeseen tai taajama-alueelle tuo hankkeelle runsaasti julkisuutta. Opastuksen järjestäminen pääteiltä laitoksille on suositeltavaa.

Edellä mainitut tekijät ovat usein ristiriidassa sen kanssa, että parhaat tuuliolosuhteet saavutetaan avomeren äärelle ulottuvissa niemenkärjissä tai saarissa. Harvaan asutuilla alueilla on myös helpompaa löytää kohde, jossa lähimmät asuinrakennukset ovat yli 300 m etäisyydellä. Toisaalta rakentaminen täysin koskemattomaan luontoon ei ole ympäristöllisesti suositeltava vaihtoehto.

Tuulivoimalaitoksen tai -puiston sijoituskohde onkin aina kompromissi kaikkien edellä lueteltujen tekijöiden kesken. Joka suhteessa ideaalisia kohteita on erittäin vähän. Sellaisina voitaneen pitää avomeren äärellä, mutta kuitenkin hyvien kulkuyhteyksien päässä ja tiheästi asutulla seudulla sijaitsevia satamia, varastoalueita, ym. liikennettä ja teollisuutta palvelevia kohteita, joiden välittömässä läheisyydessä ei ole kulttuurihistoriallisesti tai luonnonarvoiltaan merkittäviä kohteita.

3.2 Hankkeen taloudellisuus

3.2.1 Investointikustannukset

Kuten edellä kohdassa 1.4 todettiin, tuulivoima on investointivaltainen sähköntuotantomuoto. Pääomakustannukset muodostavat noin 70 % tuotantokustannuksista. Hankkeen taloudellisesti kannattava toteuttaminen edellyttää näin ollen toisaalta rakennuskustannusten minimointia ja toisaalta tuotannon maksimointia. Usein on kuitenkin etsittävä kompromissi näiden kahden tekijän välillä.

Pääomakustannukset muodostuvat laitoksen hankintahinnasta, infrastruktuurikustannuksista (perustukset, tie, sähköverkko) sekä suunnittelukustannuksista. Näistä laitoksen hankintahinta on tapauksesta riippuen yleensä 70 - 80 % luokkaa. Suunnittelukustannusten osuus on hyvin pieni, hankkeen koosta riippuen alle prosentista muutamiin prosentteihin. Infrastruktuurikustannusten minimoinnilla on huomattava vaikutus pienten, korkeintaan muutamasta laitoksesta koostuvien hankkeiden taloudellisuudelle. Suuremmissa hankkeissa infrastruktuurikustannukset eivät ole yhtä kriittinen tekijä.

Laitosten hankintahinnasta laitosten tehdashinta (ex works -hinta) muodostaa tyypillisesti 80 - 90 %. Tärkeimmät lisäkustannukset ovat:

- kuljetuskustannukset, ml. kuljetuksen aikaiset vakuutukset
- pystytyskustannukset, ml. nosturit, vakuutukset ym.
- kaukokäyttöjärjestelmä (ellei sisälly tehdashintaan)
- ostajan henkilöstölle annettava käyttökoulutus
- takuuajan huollot (2 - 5 vuotta)
- varaosat ja kulutustarvikkeet, perusvarasto
- laitosten huollossa tarvittavat erikoistyökalut

Kaksi viimeksimainittua eivät yleensä ole välttämättömiä hankintoja, mutta niiden pois jättäminen saattaa vastaavasti nostaa huoltosopimuksen hintaa ja korjauskustannuksia.

Investointikustannusten minimointi merkitsee käytännössä hinta/suorituskyky-suhteeltaan tehokkaimman laitostyyppin valintaa ja ylimääräisten infrastruktuurikustannusten välttämistä sijoituskohteen huolellisella valinnalla ja suunnittelulla. Toisaalta laitostyyppin valinnassa on pidettävä mielessä, että hankintahinnaltaan edullisen laitoksen käyttökustannukset saattavat olla korkeat ja odotettavissa oleva

käytettävyys ja elinikä alhaisemmat kuin hankintahinnaltaan kalliimman laitoksen. Tähän palataan luvussa 5.

Arvioitaessa projektikohtaisia investointikustannuksia etukäteen voidaan lähtökohtana käyttää esim. seuraavia karkeita arvioita:

| | | |
|--|------------|-------------------------|
| Tuulivoimalaitoksen hinta pystytettynä (600 kW) | 3,0 mmk | 5000 mk/kW |
| Tuulivoimalaitoksen hinta pystytettynä (1 MW) | 5,5 mmk | 5500 mk/kW |
| Tuulivoimalaitoksen hinta pystytettynä (1,5 MW) | 9,0 mmk | 6000 mk/kW |
| Perustus kalliolle (600 kW) | 250 000 mk | 420 mk/kW |
| Perustus pehmeään maahan (600 kW) | 450 000 mk | 750 mk/kW |
| Perustus kalliolle (1 MW) | 350 000 mk | 350 mk/kW |
| Perustus pehmeään maahan (1 MW) | 600 000 mk | 600 mk/kW |
| Perustus kalliolle (1,5 MW) | 550 000 mk | 370 mk/kW |
| Perustus pehmeään maahan (1,5 MW) | 900 000 mk | 600 mk/kW |
| 20 kW verkon rakentaminen (ilmajohto) | | 100 000 - 150 000 mk/km |
| 20 kW verkon rakentaminen (merikaapeli) | | 200 000 - 350 000 mk/km |
| Muuntajat ym. sähkötekniset työt | | 300 - 500 mk/kW |

Tienrakennuksen, maa-alueen tasoittamisen ym. maansiirtotöiden kustannukset ovat niin voimakkaasti tapauskohtaisia, että niistä on vaikea antaa yleispätevää arviota.

Hankkeen suunnittelu- ja projektointikustannuksiin kuuluvat mm. lisätutkimukset (maaperätutkimus, mahdolliset tuulimittaukset), laitosten hankintasuunnittelu ja tarjouskilpailun järjestäminen, taloudellisuusarviot, maa-alueen ja tarvittavien lupien hankkiminen (ml. mahdollisesti vaadittavat ympäristöselvitykset, tiedotustilaisuudet jne.), sähkösuunnittelu, perustus-, kuljetus- ja pystytyssuunnittelu, projektihallinta ja toteutusvalvonta jne. Näistä aiheutuvat kustannukset ovat normaalitapauksessa joitakin satoja tuhansia markkoja tai joitakin prosentteja kokonaiskustannuksista. Haluttaessa toteuttaa teknisiä erikoisratkaisuja kuten offshore-hanke asiantuntija-avun tarve kasvaa ja suunnittelukustannukset nousevat. Suunnittelukustannusten suhteellinen osuus pienenee toteutettavan hankkeen laajentuessa. Suurempi yksikkökoko aiheuttaa skaalaetuja infrastruktuurikustannuksissa, mutta kasvattaa voimakkaasti kuljetus- ja pystytyskustannuksia.

Useiden laitossyksiköiden pystyttäminen samaan kohteeseen on edullista, koska maarakennus-, kuljetus- ja pystytyskaluston aiheuttamat kustannukset laitosta kohti laskevat tällöin voimakkaasti. Toisaalta sähkölinjoja joudutaan asennettua kilowattia kohti vetämään enemmän kuin yhden laitoksen tapauksessa, mutta muiden infrastruktuurikustannusten aleneminen usein kompensoi tämän. Hankittaessa enemmän laitoksia laitostoimittajat ovat yleensä valmiita antamaan pieniä paljousalennuksia.

3.2.2 Käyttö- ja ylläpitokustannukset

Käyttö- ja ylläpitokustannuksissa tulee huomioida ainakin

- Huoltokustannukset
- Varaosien saatavuuteen ja käyttökeskeytyksiin liittyvät kustannukset
- Korjauskustannukset takuuajan umpeuduttua
- Vakuutukset
- Hallinto- ja valvontakustannukset
- Maanvuokra
- Mahdolliset veroluontoiset maksut

Käyttö- ja ylläpitokustannuksia ennakkoon arvioitaessa on otettava huomioon Suomen ilmasto ja sen aiheuttamat erityispiirteet (erityisesti tuntureilla ja merialueilla). Lisäksi syrjäisissä sijoituskohteissa pitkät kuljetusetäisyydet voivat aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia.

Huoltokustannukset perustuvat yleensä laitostoimittajan kanssa tehtävään huoltosopimukseen, josta peritään kiinteä vuosimaksu. Tämä on 1 - 1,5 MW laitoksilla suuruusluokkaa 50 - 75 000 mk/laitos ja pienemmillä laitoksilla jonkin verran alhaisempi, riippuen jossain määrin esim. laitosten lukumäärästä ja sijainnista.

Normaaliin kohteeseen pystytetyille tuulivoimalaitokselle takuuajan (2 - 5 vuotta) huollot kuuluvat kiinteästi osana hankintaan ja yleensä ne maksetaan ennakkoon, laitosten hankinnan yhteydessä.

On mahdollista, että takuuajana ilmaantuu pieniä ongelmia, jotka eivät kuulu takuun piiriin ja joista aiheutuvia kustannuksia ei myöskään vakuutus kata. Mikäli hanke toteutetaan offshore-kohteessa, takuuajan huoltokustannuksiin tulee lisätä myös kulkuneuvon aiheuttamat kustannukset, jotka eivät tällöin välttämättä sisälly huoltosopimuksen hintaan. Takuuajan aikaisten huoltokustannusten arviona voitaneen käyttää 2 000 - 10 000 mk/a (maa-offshore) laitosta kohti, kun oletetaan 2 huoltokäyntiä vuodessa.

Tuulivoimalaitoksen omistava yhtiö voi takuuajan jälkeen ryhtyä myös itse vastaamaan laitosten huollosta. Tällöin vuosikustannuksia arvioitaessa tulisi arvioida koulutuskustannukset, työajan palkat sivukuluineen, kuljetuskustannukset, ja materiaalikustannukset. Pitkällä aikavälillä ja suuren tai useamman tuulipuiston kyseessä ollessa tämä vaihtoehto tulisi todennäköisesti edullisemmaksi. Hajanaisten ja harvalukuisten tuulivoimalaitosten huolto on todennäköisesti perusteltua uskoa laitostoimittajan kanssa yhteistyössä toimivalle huoltoyhtiölle.

Korjauskustannukset muuttuvat ajan funktiona. Takuuajana korjauskustannuksia aiheutuu ainoastaan niistä toimenpiteistä, jotka eivät kuulu takuun piiriin ja joita ei saada korvattua vakuutuksesta. Näiden voidaan olettaa olevan yhdelle laitokselle luokkaa 3 000 mk/a.

Takuuajan umpeuduttua aiheutuvia korjauskuluja on vaikea arvioida, mutta niiden voidaan olettaa pysyvän alhaisina ensimmäiset 5 - 10 vuotta. Laitoksen pääkomponenteista (generaattori, vaihde, lavat) ainakin jokin voidaan joutua vaihtamaan 10 - 15 vuoden kuluttua. Mikäli sijoituskohteen tuuliolosuhteet ovat turbulenssiset, on syytä varautua pääkomponenttien uusimiseen jo aiemmin.

Näin ollen vuosille 11 - 20 on syytä budjetoida ainakin 1 - 2 suurempaa konerikkoo per laitos (esim. lapa, generaattori tai vaihteisto), mistä arvioidaan aiheutu-

van aina 200 000 - 800 000 markan kertakustannus. Näiden kustannusten vaikutusta vähentää se, että niiden investointihetken diskontattu arvo on huomattavasti reaaliarvoa pienempi. Yksittäisen tuulivoimalaitoksen tapauksessa tällaista suu-remman konerikon todennäköisyyttä on vaikea erikseen huomioida.

Vakuutuskustannusten voidaan arvioida olevan 1 MW laitokselle noin 25 000 mk/a ensimmäiset kymmenen vuotta, takuuajana kuitenkin alhaisemmat. Koska vakuutusmaksun voidaan olettaa olevan verrannollinen omaisuuden jäljellä olevaan kirjanpitoarvoon, arvioidaan vakuutuskustannusten laskevan käyttöiän kasvaessa ensin tasolle 20 000 mk/a (vuodet 11 - 15) ja lopuksi tasolle 15 000 mk/a (vuodet 16 - 20) laitosta kohti. Laitosten lukumäärän ei voida olettaa juuri vaikuttavan vakuutusmaksujen suuruuteen laitosta kohti.

Vakuutusmaksujen suuruus riippuu luonnollisesti vakuutuksen kattavuudesta. Esimerkiksi on mahdollista ottaa keskeytysvakuutus, jolloin tuotannon menetys korvataan. Vakuutusmaksujen alentaminen vakuutusturvan kattavuuden kustannuksella kasvattaa todennäköisesti korjauskuluja osapuilleen vastaavalla summalla (laitoksen käyttöiän yli laskettuna).

Hallinto- ja valvontakustannukset riippuvat olennaisesti projektin koosta ja toteutusorganisaatiosta mutta eivät juurikaan laitoskoosta. Suuressa tuulipuistossa nämä kustannukset jäävät yksikköä kohti pieniksi, samoin kuin sähköyhtiön itse omistaessa ja käyttäessä laitoksia. Mikäli omistajina on suuri joukko pienosakkaita, tarvitaan usein ylimääräisiä sopimusjärjestelyjä, laskutusta ym. Tästä aiheutuu luonnollisesti lisäkustannuksia, jotka jäävät laitosten omistajien maksettaviksi.

Hallinnointikulut voitaneen olettaa olevan yhdelle laitoksella noin 10 000 mk/a ja 10 laitokselle luokkaa 30 000 mk/a. Suurista konerikoista vuosina 11 - 20 aiheutuvat ylimääräiset hallinnointikulut voidaan yksinkertaisuuden vuoksi olettaa sisältyviksi ko. kertaluontoisiiin korjauskustannuksiin. Ensimmäiselle vuodelle kannattaa budjetoida ylimääräinen 50 000 - 100 000 mk (1 - 10 laitosta) kertaluontoisia hallinnointijärjestelyjä (mm. sopimusneuvottelut, vakuutusten hankkiminen, tiedotus- ja PR-toiminta ym.) varten.

Maa-alueen hankinta (osto tai vuokraus) ei sekään ole merkityksetön menoerä. Sen suuruus on kuitenkin arvioitava tapauskohtaisesti, koska se riippuu hankittavan alueen koosta (ja tätä kautta laitosten määrästä ja sijoittelusta), myyjästä/vuokranantajasta ja siitä, mihin muuhun käyttöön maa-alue olisi voitu myydä/vuokrata. Esim. rannikolla voi maan hinta määräytyä sen hinnan perusteella, minkä tontista olisi saanut, jos se olisi myyty kesämökkintontiksi.

Kiinteistöverosta on kunnissa tehty kahdenlaisia päätöksiä; osa kunnista tulkitsee tuulivoimalaitosten kuuluvan kiinteistöveron piiriin, osa ei. Asia vaatii tapauskohtaisen päätöksen ao. kunnan verotoimistolta.

Muita mahdollisia veroluontoisia maksuja ovat erilaiset sähköverot ja ympäristöperusteiset maksut. Ainakaan toistaiseksi nämä eivät koske tuulivoimalaitoksia.

Käyttö- ja ylläpitokustannusten muodostuminen yhdelle 1 MW tuulivoimalaitokselle on karkeasti arvioitu alla olevassa taulukossa 2. Maanvuokra on yleensä muihin menoeriin verrattuna kertaluokkaa pienempi ja se on yksinkertaisuuden vuoksi sisällytetty hallinnointikuluihin.

Taulukko 2 Suuntaa-antavat vuosittaiset käyttö- ja ylläpitokustannukset (mk) yhdelle 1 MW laitokselle.

| Vuosi | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6...10 | 11...15 | 16...20 |
|-----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Vuosihuollot | 0 | 0 | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 |
| Vakuutukset | 10 000 | 10 000 | 25 000 | 25 000 | 25 000 | 25 000 | 20 000 | 15 000 |
| Korjaukset | 5 000 | 5 000 | 20 000 | 20 000 | 20 000 | 30 000 | 50 000 | 75 000 |
| Hallinnointi | 50 000 | 10 000 | 10 000 | 10 000 | 10 000 | 10 000 | 15 000 | 20 000 |
| Yhteensä | 65 000 | 25 000 | 105 000 | 105 000 | 105 000 | 115 000 | 135 000 | 160 000 |

3.2.3 Tuulivoiman tuotantokustannukset

Tuulivoiman tuotantokustannukset lasketaan yleensä 5 % reaalikorolla ja 20 vuoden käyttöajalla. 20 vuoden käyttöiän on useissa kansainvälisissä tutkimuksissa todettu olevan realistinen arvio. Suuri osa 1980-luvun alussa rakennetuista tanskalaisvalmisteisista 50 - 100 kW laitoksista toimii edelleen luotettavasti, ja 15 - 20 vuodessa valmistustekniikka on tuotekehityksen, valmistusmäärien kasvun ja käyttökokemusten myötä kehittynyt huomattavasti. Toisaalta laitoksen rakenteisiin kohdistuvat kuormat kasvavat voimakkaasti laitokseen kasvaessa, ja aiemmin laitokset usein ylimitoitettiin ”varmuuden vuoksi”, kun rakenteiden dynaamista kuormitusta ei vielä osattu mallintaa. Kuormituslaskennan kehittyminen on mahdollistanut laitosten valmistuskustannusten alentumisen, mutta varmuusmarginaalien pieneneminen saattaa ajan myötä merkitä suurempaa vikautumisalttiutta laitosyksikköä kohti kuin vanhoilla, pienillä laitoksilla. Vikautuvuus kilowattia tai tuotettua sähkömäärää kohti on uusilla laitoksilla tästä huolimatta todennäköisesti pienempi kuin vanhemmilla, pienitehoisilla laitoksilla.

20 vuoden käyttöikä on tähän mennessä yleensä käytetty Suomessa toteutettujen hankkeiden taloudellisuuslaskelmien perustana. Suomen ankarampi ilmasto (kylmät toimintalämpötilat, suuret lämpötilavaihtelut) ja turbulenttisemat tuulet (esim. Tanskaan verrattuna) saattavat laskea käyttöikää joillakin vuosilla tai ainakin johtaa useampien pääkomponenttien uusimiseen käyttöiän kuluessa. Moderni, suuriin valmistussarjoihin ja sertifioituun laadunvarmistukseen perustuva tuulivoimalaitostekniikka on kuitenkin varsin korkeatasoista ja käyttöikäen liittyvät riskit todennäköisesti suhteellisen alhaiset.

Tuotantokustannukset riippuvat ratkaisevasti myös laitosten teknisestä käytettävyydestä. Tämän voidaan yleensä arvioida olevan luokkaa 95 %, minkä laitosvalmistajat yleensä vähintään takaavat tuotteilleen. Usein käytettävyys on parina ensimmäisenä toimintavuonna jonkin verran keskimääräistä alhaisempi johtuen siitä, että suurin osa valmistusvirheiden aiheuttamista vikatapauksista syntyy ensimmäisen vuoden-kahden aikana. Tämän jälkeen käytettävyys pysyy korkeana, kunnes se käyttöiän loppupuolella (10 toimintavuoden jälkeen) todennäköisesti laskee, kun kuluneita komponentteja joudutaan vaihtamaan uusiin. Tuntureilla ja merialueilla saattaa käytettävyys alentua, koska hankalien sääolosuhteiden vuoksi ei korjaustöissä tarvittavaa koneistoa välttämättä saada laitosten luokse useaan viikkoon.

Suomessa toimivien tuulivoimalaitosten keskimääräinen tekninen käytettävyys (poislukien tutkimuslaitokset) oli vuonna -96 peräti 98 % ja seuraavana vuon-

na 97 %, mutta vuonna -98 vain 94 %. Varsinkin vaihteistovikoja esiintyi vuonna -98 runsaasti (eniten noin viiden vuoden ikäisissä laitoksissa). Alkuvuodesta -99 ovat käytettävyyshluvut jälleen olleet varsin korkeat.

Tuulivoimalaitoksen tuotannon ja tuotantokustannusten riippuvuus tuulen keskinopeudesta tyypillisellä 1 MW tehoisella tuulivoimalaitoksella on esitetty alla taulukossa 3. Esitetty riippuvuus on kuitenkin karkea, ja todellinen tuotanto riippuu tuulen keskinopeuden lisäksi myös sijoituskohteessa vallitsevasta tuulen nopeusjakaumasta sekä laitostyyppistä.

Taulukko 3 Tuulivoimalaitoksen tuotannon ja tuotantokustannusten riippuvuus tuulen keskinopeudesta (ohjeellinen).

| Keskituulennopeus laitoksen napakorkeudella | Tyypillisen 1 MW laitoksen huipunkäyttöaika | Tuotantokustannukset (noin) |
|---|---|-----------------------------|
| 5,0 m/s | 1000 h/a | 60 p/kWh |
| 5,5 m/s | 1400 h/a | 45 p/kWh |
| 6,0 m/s | 1800 h/a | 35 p/kWh |
| 6,5 m/s | 2100 h/a | 30 p/kWh |
| 7,0 m/s | 2400 h/a | 26 p/kWh |
| 7,5 m/s | 2700 h/a | 23 p/kWh |
| 8,0 m/s | 3000 h/a | 21 p/kWh |

Taulukosta havaitaan, että tuotantokustannukset alkavat kasvaa hyvin jyrkästi keskituulennopeuden laskiessa 6 m/s rajan alapuolelle. Tuulennopeudella 5,5 m/s tuotantokustannukset ovat jo luokkaa 45 p/kWh (ilman investointiavustusta), joten tämän rajan alapuolella tuulivoimaprojektin taloudellinen kannattavuus on jo hyvin vaikea saavuttaa. Hyvinä kohteina Suomen rannikolla voidaan pitää niitä, joissa keskituulennopeus 50 m korkeudella on yli 6,0 m/s. Yli 7 m/s tuulennopeuksia voidaan saavuttaa ainoastaan avomerellä ulkosaaristossa tai niemenkärjissä, ja Ahvenanmaalla yleisemminkin. Korkeimmilla tuntureilla keskituulennopeudet ovat jopa 8 - 9 m/s /15, 16/. Suurin osa tuntureista on kuitenkin todennäköisesti tuuliolosuhteiltaan samaa tasoa kuin rannikkokohteet. Toistaiseksi on laitosten käytettävyys vielä jäänyt tuntureilla jonkin verran rannikkokohteita pienemmäksi teknisistä ongelmista johtuen.

3.2.4 Tuotannon ajallinen jakautuminen ja taloudellinen arvo

Pelkkä arvio tuotantokustannuksista (p/kWh) ei useinkaan anna vielä riittävää informaatiota projektin taloudellisten toteutusedellytysten arvioimiseksi. Olennaista on tuotantokustannusten lisäksi tietää, minkä hintaista sähkön hankintaa tuotettu tuulivoima korvaa tai mikä hinta siitä saadaan, mikäli se myydään. Nämä tekijät riippuvat tuotannon ajallisesta jakautumisesta, toteuttajatahosta, ja eri osapuolten kesken neuvoteltavien sähkön myynti- ja/tai siirtosopimusten edullisuudesta toteuttajataholle.

Tuulivoiman arvo hankkeen toteuttajalle onkin arvioitava aina tapauskohtaisesti erikseen. Arviointia vaikeuttaa se, että tuulivoiman tuotannon aikajakaumaa ei voida tarkasti ennustaa edes pitkällä aikavälillä. Tuulivoiman tuotannon jakautumista eri kuukausille ja vuorokaudenajoille ei voida arvioida yhtä tarkasti kuin tuotannon vuosikeskiarvoja, mutta suuntaa-antavia arvioita on kuitenkin

kin mahdollista tehdä. Koska peräkkäiset vuodet eroavat tuulisuudeltaan ratkaisevasti toisistaan, nämä suunta-antavat arviot ovatkin useimmiten riittäviä.

Tuotannon arvo voidaan arvioida esimerkiksi seuraavasti: WASP-ohjelmaan ja Tuuliatlakseen perustuvilla menetelmillä (tai vaihtoehtoisesti jollakin jo toiminnassa olevalla laitoksella rekisteröityyn esimerkkivuoteen perustuen) luodaan aikasarja tuulivoimatuotannon keskimääräisestä ajallisesta jakaumasta. Sähkön hankinnan analysointiin ja optimointiin kehitetyllä atk-ohjelmistolla aikasarja yhdistetään projektin toteuttajatahon muuhun sähkön hankintaan, ja tulokseksi saadaan tuulivoiman tuotannolla saavutetut kustannussäästöt. Vertaamalla saavutettuja säästöjä vuotuisiin pääoma- ja käyttökustannuksiin voidaan tehdä johtopäätökset taloudellisesta kannattavuudesta.

Muilla kuin sähköyhtiöillä ja suurimmilla teollisuusyrityksillä ei ole tiedossa sähkön hankinnan tarkkaa ajallista jakaumaa, mutta näillekin tahoille voidaan laatia karkeammilla menetelmillä arvioita siitä, millä osuudella tuotettu tuulivoima korvaa minkäkin hintaista sähkön hankintaa.

Sähköyhtiötasolla tuulivoiman energiataloudelliseen arvoon vaikuttaa epäedullisesti se, että tuulen nopeutta tehuippujen aikana ei voida ennustaa ennen kuin päivää tai korkeintaan kahta ennen. Joinakin vuosina laitos tuottaa tehoa huipun aikana, toisina vuosina se seisoo. Ruotsissa ja Tanskassa tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että pitkällä aikavälillä tuulivoimalaitos tuottaa tehoa huipun aikana keskimäärin 20 - 30 % nimellistehostaan. Suomessa ei vähäisten käyttökokeusten vuoksi vielä ole riittävästi tietopohjaa tämän arvioimiseen. Tuulivoimalaitosten todennäköisyys leikata huipputehoa on todennäköisesti selvästi suurempi Lapin tuntureilla kuin rannikolla, ja alavilla alueilla sisämaassa se on todennäköisesti varsin pieni. Asiaa ei kuitenkaan ole tutkittu systemaattisesti.

Tuulivoiman tuotannon arvo sähköyhtiölle on parempi niissä tapauksissa, joissa se täydentää omaa vesivoimatuotantoa. Tuulivoiman tuotanto on suurimmillaan talvikuukausina, jolloin vesivoiman tulovirtaama on pienimmillään. Näin talviaikaista sähkön ostoa voidaan alentaa, ja mikäli varastoaltaiden koko on kriittinen tekijä, ne saadaan riittämään pidemmälle kevättalveen. Tuotannon vuoden-aikavaihtelu on voimakkainta Lapin tuntureilla ja vähäisintä sisämaassa tasaisilla alueilla /2, 15/.

Tärkeä tekijä tuulivoiman taloudellisuuden kannalta on myös se, että tuuli haihduttaa voimakkaasti lämpöä rakennusten pinnalta. Näin ollen tuulivoiman tuotantohuippujen aikana lämmitys­sähkön kysyntä on usein suurta.

Verrattaessa tuulivoiman tuotantoa suuremman mittakaavan sähköntuotantoon on myös muistettava, että tuulivoima syötetään suoraan jakeluverkkoon, ja näin vältetään muuntamo- ja siirtohäviöitä, edellyttäen että saman siirtolinjan varrella kulutus on suurempi kuin linjaan kytkettyjen tuulivoimalaitosten tuotanto ja että tuotannon ja kulutuksen ajallinen vastaavuus on suhteellisen hyvä (kuten Suomessa yleensä onkin).

3.2.5 Kannattavuuslaskelmat

Tuulivoimalaitoksen hankinnan taloudellista kannattavuutta voidaan analysoida samoin tunnusluvuihin kuin minkä tahansa investoinnin kannattavuutta. Seuraavassa esitetään kolme yleisesti käytettyä tunnuslukua:

Investoinnin nettonykyarvo (NPV) määritellään kaiken tulevan tuoton nykyarvona:

$$NPV = \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} F - C,$$

missä i on käytettävä korkokanta, n investoinnin taloudellinen käyttöikä, F vuosituotto (vuotuiset tulot vähennettynä vuotuisilla pääoma- ja käyttökuluilla) ja C alkupääomainto.

$$\frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i}$$

on nimeltään takaisinmaksusuhde (merkitään usein myös $R(i,n)$).

Sisäinen korko (ROI) lasketaan määrittämällä i :n arvo, jolla nettonykyarvo on nolla. Tämä on siis korkein korko, mikä investoinnista kannattaa maksaa.

Takaisinmaksuaika määritellään vastaavasti n :n arvoksi, jolla $NPV = 0$, kun korkokanta i on määrätty. Takaisinmaksuaika on oltava jollakin realistisella i :n arvolla pienempi kuin investoinnin taloudellisen käyttöikä. Muussa tapauksessa investointia ei missään tapauksessa voida pitää kannattavana. Investoinnilla vaadittava takaisinmaksuaika riippuu hankkeen toteuttajasta, rahoituksesta, toteuttajan muista liiketaloudellisista toimista ja taloudellisesta tilanteesta jne.

Nykyhinnoilla tuulivoiman tuotanto ei ole sähköyhtiöille taloudellisesti kannattavaa ilman subventioita. Kauppa- ja teollisuusministeriön myöntämä *investointituki* sekä verotuki (energiaveron palautus tuulisähkön tuottajalle) voi kuitenkin mahdollistaa tuulivoimahankkeiden liiketaloudellisesti perustellun toteuttamisen myös sähköyhtiöille. Tuulisähköstä mahdollisesti saatava ekologisen tuotannon lisähinta parantaa usein tuulivoimahankkeen kannattavuutta merkittävästi.

Tuulivoiman taloudellinen kannattavuus saattaa ajan myötä parantua oleellisesti erilaisten ympäristöperusteisten maksujen lisätessä osuuttaan sähkön loppuhinnasta ja toisaalta tuulivoimalaitosten kustannustehokkuuden edelleen parantuessa. Tuulivoimalaitos on luonteeltaan kertainvestointi, jonka käyttöaika on luokkaa 20 vuotta. Tuulisähkön hinnan voidaan näin ollen olettaa pysyvän vakiona koko tämän ajan, jolloin sitä olisi hyvä verrata ostosähkön ja oman tuotannon nykyhintojen lisäksi myös eri oletuksilla tehtyihin pitkän aikavälin hintaennusteisiin. Pitkällä aikavälillä saattaa nyt hankittava tuulivoimalaitos olla selvästi paremmin kannattava investointi kuin mitä sähkön tämänhetkinen hintataso indikoisi.

3.3 Mistä apua esiselvityksiin liittyvissä asioissa

Potentiaalisesta sijoituskohteesta tehtävän esiselvityksen olisi oltava riittävän kattava, jotta projektin jatkamisesta voitaisiin tehdä yksiselitteinen päätös ja toteuttamiseen liittyvät riskit eliminoida mahdollisimman suurelta osin jo alkuvaiheessa. Näin ollen esiselvityksen tulisi sisältää ainakin seuraavat kohdat:

- Tuulisuus- ja tuotantoarviot, jäätyriskisyymykset
- Infrastruktuurikysymykset
- Maankäytölliset ja -omistukselliset sekä ympäristötekijät
- Laitosten alustava sijoitussuunnitelma
- Em. kohtien perusteella lasketut arviot investointi- ja tuotantokustannuksista

- Arvio tuotannon arvosta ja hankkeen taloudellisuudesta
- Suositukset jatkotoimenpiteistä

Osan yllä luetelluista kohdista voi projektin toteutusta suunnitteleva taho suorittaa itse, mutta ainakin tuulisuus- ja tuotantoarvioiden osalta on erittäin suositeltavaa käyttää ulkopuolista asiantuntijaa. WASP-ohjelman ja Tuuliatlaksen hankinta ja käyttö ei sinänsä ole vaikeaa, mutta luotettavan tuulisuusarvion tekeminen edellyttää ohjelmistojen rutiiniluontoisen käytön lisäksi myös kokemusta ja näkemystä sekä tuulivoiman tuotannon fysikaalisten perusteiden hallintaa. Ohjelman antamiin tuloksiin ei kannata uskoa sellaisenaan, vaan ne on osattava tulkita kunkin kohteen erityispiirteet huomioonottaen.

Tuulioloista ja tuulienergian hyödyntämisestä Suomessa on saatavilla runsaasti kirjallisuutta (ks. lähdeviitteet), johon hanketta suunnittelevan tahon kannattaa tutustua siinä määrin kuin resurssit sallivat.

Taloudellisuuslaskelmien tekemisessä voi apuna käyttää energia-alan konsultti- ja insinööritoimistojen ohella myös ekonomisteja tai vastaavia.

Useimmille Suomen rannikkoseuduille sekä Lappiin aiemmin laaditut alueelliset tuulivoimakartoitukset toimivat hyvänä apuna esiselvityksiä laadittaessa, mutta niissä esitetyt arviot ja laskelmat on joka tapauksessa syytä päivittää, koska suunnitellussa hankkeessa käytettävien laitosten kokoluokka ja määrä sekä monet muut tekniset yksityiskohdat vaikuttavat voimakkaasti kustannus- ja tuotantoarvioihin. Myös maanomistus- ja kaavoitustilanne on saattanut muuttua ratkaisevasti monen kohteen osalta aluekartoituksen valmistumisen jälkeen.

Seuraavassa on lyhyesti lueteltu joukko tuulivoima-alalla esiselvityksiä laati-
via tahoja.

Ilmatieteen laitoksella on runsaasti kokemusta tuuliolosuhteiden ja jääty-
misen arvioinnista Suomessa sekä mittaushavaintoja eri puolilta Suomea. Ilma-
tieteen laitos suorittaa tuuliolosuhteiden ja jäätyamisen arviointia myös kaupallisiin
tuulivoimahankkeisiin liittyen.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus on tehnyt tuulisuusanalyyseja useisiin
Suomessa toteutettuihin kaupallisiin tuulivoimahankkeisiin, varsinkin tuulivoima-
rakentamisen alkuvuosina. VTT laatii myös laajempia sijoituspaikkakohtaisia esi-
selvityksiä, joissa tarkastellaan tuuliolosuhteiden lisäksi infrastruktuuri- ja taloude-
lisyyskysymyksiä. VTT:llä on niinkään erityisasiantuntemusta jäätyiskysymyk-
sissä.

Yllä mainittujen valtion laitosten lisäksi alalla toimii yksityisiä konsulttiyrityk-
siä. Myös monet yliopistot ja korkeakoulut, alueelliset tutkimuslaitokset, teknolo-
giakeskukset ja teknilliset oppilaitokset voivat tarjota erilaisia palveluja tuulivoima-
projektien toteutusmahdollisuuksien arviointiin liittyen. Näistä mainittakoon eri-
tyisesti Ahvenanmaalla toimiva Ålands TeknologiCentrum, joka hallitsee moni-
puolisesti tuulivoiman tuotantoon liittyvät kysymykset, mutta on toistaiseksi avus-
tanut vain Ahvenanmaalla toteutettuja hankkeita. Tuulivoimakonsultin valinnassa
on luonnollisesti paikallaan kiinnittää huomiota ko. tahon maineeseen ja kokenei-
suuteen.

Edellä lueteltujen tahojen lisäksi kannattaa esiselvitysvaihetta käynnistettäes-
sä myös ottaa yhteyttä paikalliseen jakeluverkkoyhtiöön.

Maankäyttöön liittyvien kysymysten selvittämiseksi on tarpeen neuvotella ainakin kunnan ja usein myös alueellisen ympäristökeskuksen, sekä joissain tapauksissa myös esim. museoviraston ja ympäristöministeriön kanssa. Näihin kysymyksiin palataan tarkemmin kohdassa 5.6.

Tuulivoiman tuotantoyhtiöiltä, joilla on omakohtaista kokemusta hankkeiden toteuttamisesta, voi saada arvokasta apua esiselvitysvaiheessa.

Tuulivoimaprojektien esiselvityksiä voi tilata myös kotimaisilta laitostoimittajien edustajilta. Tämä edellyttää kuitenkin yleensä sitoutumista kyseiseen toimittajaan jo projektin alkuvaiheessa. Joissain tapauksissa tämä saattaa olla toteuttajan kannalta edullisin vaihtoehto, mutta yleisesti ottaen toimittajien kilpailuttaminen kannattaa.

Yhden tai useamman ulkopuolisen asiantuntijan käytöstä projektille aiheutuvat kustannukset ja hyödyt on harkittava tapauskohtaisesti. Tuulisuus- ja tuotantoarviot voidaan teettää yhdellä taholla, ympäristö- ja maankäyttötarkastelut jollain toisella jne. Perustietojen kerääminen kohteesta saatetaan tällöin kuitenkin joutua tekemään useaan otteeseen, eikä esiselvityksen pilkkominen osiin näin välttämättä tuota kustannussäästöjä.

Mikäli projekti on niin alkuvaiheessa, että sijoituspaikkaa ei vielä ole lyöty lukkoon, tai jos tarkasteltava alue on laaja ja potentiaalisia sijoituskohteita paljon, on ehkä kannattavampaa laatia koko alueen kattava kartoitus (ellei tällaista ole jo aiemmin laadittu), jossa selvitetään tuuliolosuhteet sekä infrastruktuuri- ja maankäytölliset edellytykset kaikista potentiaalisista kohteista. Näin kohteet saadaan asetettua edullisuusjärjestykseen. Mikäli ensisijainen sijoituskohde osoittautuu myöhemmässä vaiheessa projektia epäsovivaksi, voidaan heti valita seuraava kohde ilman, että siitä tarvitsee enää tehdä erillistä selvitystä.

Esiselvitysvaiheeseen kannattaa panostaa; puutteellisesti tehty esiselvitys saattaa kostautua myöhemmässä vaiheessa projektia huomattavina viivästyksinä, naapureiden taholta tulevana vastustuksena, tai jopa koko projektin kaatumisena lupakysymyksiin tai taloudellisiin vaikeuksiin. Perusteellisesti laadittu esiselvitys maksanee useimmiten itsensä takaisin projektin kokonaisaikataulun nopeutumisenä, toteutukseen liittyvien epävarmuustekijöiden vähenemisenä, ja projektin myöhemmissä vaiheissa saavutettavina kustannussäästöinä.

On myös syytä muistaa, että suhteutettuna tuulivoimaprojektin kokonaiskustannuksiin ovat esiselvitysvaiheen aiheuttamat kustannukset varsin marginaalisia (paitsi aivan pienissä hankkeissa). Näin ollen laadun kustannuksella saavutettu rahallinen säästö ei useinkaan ole perusteltavissa.

4 Rahoitusjärjestelyt

4.1 Omarahoitus ja lainapääoma

Tuulivoima on hyvin pääomavaltainen sähköntuotantomuoto, jonka kannattavuus riippuu merkittävästi rahoitusjärjestelyistä.

Kuten kohdassa 3.2.2 todettiin, tuulivoiman arvo ja tuulivoimahankkeen kannattavuus riippuu toteuttajasta, toisin sanoen siitä, minkä hintaista sähkön hankintaa tuotettu tuulivoima korvaa. Hankkeen kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti myös yhtiön rahoitusrakenne.

Toimialan pääomavaltaisuus edellyttää vahvaa rahoitusrakennetta, jolloin oman pääoman osuuden on oltava riittävän suuri. Se antaa yhtiölle mahdollisuuden toteuttaa investointiohjelmaansa sekä kattaa kasvavat käyttöpääomavaatimukset toiminnan laajentuessa.

Pääomarakenteeseen vaikuttaa tietysti investoijan tausta ja yhtiömuoto. Tuulivoimahankkeen toteuttaja voi olla esimerkiksi sähköyhtiö tai energialaitos, tai hankkeen läpiviemiseksi perustettu erillinen tuulivoimayhtiö tai osuuskunta. Seuraavassa keskitytään lähinnä kahteen jälkimmäiseen tapaukseen.

4.1.1 Oman pääoman ehtoinen rahoitus

Oma pääoma muodostaa yrityksen vakavaraisuuden perustan. Se on sijoitettu yritykseen yleensä määräämättömäksi ajaksi. Esimerkiksi osakeyhtiöissä oman pääoman palauttamista on vaikeutettu lainsäädännöllisesti. Oma pääoma on riskirahoitusta. Tällä tarkoitetaan sitä, että se on juridisessa etuoikeutusjärjestyksessä viimeisenä. Yrityksen tappiot katetaan siitä ensimmäisenä. Toisaalta yrityksen voitto, kun etuoikeutetut velvoitteet on katettu, kuuluu omalle pääomalle eli omistajille.

Oma pääoma muodostuu sijoitetusta pääomasta (osake- tai osuuspääomasta) tai tulo-rahoituksena yhtiöön kertyneistä voittovaroista.

Sijoittajat omistavat yrityksen ja käyttävät siinä omistukseen perustuvaa valtaa. Vaikutusmahdollisuus voidaan sitoa osakepääomaan (osuuspääomaan) sijoittamiseen.

Kun tuulivoimahankkeen toteutusta varten perustetaan uusi, erillinen osakeyhtiö, tapahtuu omarahoitusosuuden hankkiminen normaaliin tapaan osakeannilla. Yhtiön osakepääoman alaraja tulee yhtiöjärjestyksessä määrätä niin suureksi, että sillä pystytään kattamaan alkuinvestoinneista mahdollisimman suuri osa, mieluiten kaikki.

Käyttö- ja ylläpitokustannukset sekä muut muuttuvat ja kiinteät vuosikustannukset (sähkön siirto, hallinnointi, vakuutusmaksut ym.) voidaan kattaa sähkön myynnistä osakkailta tai asiakkailta saatavilla tuloilla. Myyntihinta voidaan määrittellä verotuksellisista syistä siten, että yhtiö näyttää tilinpäätöksessään nollatuloksen.

Takuuajan umpeuduttua mahdollisesti tarvittavat lisäinvestoinnit (komponenttien uusimista tms. varten) voidaan kattaa oman pääoman lisäyksellä, suunnatulla osakeannilla, myyntihinnan korotuksella tai vieraalla pääomalla. Yhtiöjärjestykseen on syytä jättää liikkumavaraa tämänkaltaisten muutosten varalta.

Osuuskunnassa järjestelyt ovat muuten samankaltaiset, mutta alkupääoma kerätään osuusmaksuina. Myöhemmin syntyviä lisäinvestointeja voidaan rahoittaa lisäosuusmaksuina, sijoituspääomana tai lainoilla.

4.1.2 Vieraan pääoman ehtoinen rahoitus

Mikäli vierasta pääomaa tarvitaan jo investointivaiheessa, on luonnollisesti pyrittävä mahdollisimman edullisiin lainaehtoihin. Kannattavuuslaskelmissa tulee käyttää riittävän suuria varmuusmarginaaleja ja tarkastella erikseen esim. vaihtoehtoa, jossa tuulivoiman tuotanto jää ensimmäisinä vuosina huomattavasti alle arvioidun. Ensimmäiset vuodet ovat lainapääomalla toimittaessa usein kriittisimmät.

Lainarahoitus on yrityksen ulkoisen pääomarahoituksen muoto. Sille on yleensä ominaista korollisuus ja sopimuksen mukainen takaisinmaksuaika.

Tuulivoimayhtiöiden rahoitukseen soveltuvia lainoja ovat tavanomaiset pankkilainat, vakuutusyhtiölainat, rahoitusyhtiölainat ja lainat suoraan sijoittajilta.

Pankkilainat ovat yleensä joko tietyn lyhennyssuunnitelman mukaan takaisinmaksettavia tai kertalyhenteisiä ns. bullet-luottoja. Pankeilla on mahdollisuus sanoa laina irti, mikäli lainanottajalla on maksuhäiriöitä. Pankit edellyttävät yleensä myöntämilleen lainoille vakuutta, joka voi olla esimerkiksi pankkitakaus tai kiinteistökiinnitys.

Vakuutusyhtiölainat ovat myös yleinen vieraan pääoman ehtoinen rahoitusmuoto. Ne ovat joko takaisinlainaukseen tai vakuutusyhtiön sijoitustarpeeseen perustuvia. Lainat voivat olla lyhyt- tai pitkäaikaisia. Takaisinlainaus on pitkäaikaista. Sijoituslainat ovat yleensä 5 - 10 vuoden lyhennysohjelmaisia määräaikaishainoja. Takaisinlainauksella tarkoitetaan työeläkelaitoksilta työeläkevakuutusmaksuja vastaan saatuja lainoja. Laina voidaan nostaa joko siten, että TEL-vakuutusmaksuja suoritetaan velkakirjalla tai lainataan takaisin jo aikaisemmin maksettuja vakuutusmaksuja.

Vakuutusyhtiölainoille edellytetään aina turvaavaa vakuutta, joka voi olla pankkitakaus tai kiinteistökiinnitys.

Rahoitusyhtiölainat ovat pankkisivonaidosten tai pankeista riippumattomien rahoitusyhtiöiden myöntämiä usein asiakaskohtaisesti yksilöllisiä lainoja. Tyyppillisiä rahoitusyhtiöiden myöntämiä luottoja ovat investointien ja käyttöpääoman rahoitus. Investointien rahoitus voi olla leasing-rahoitusta tai sopimusrahoitusta. Käyttöpääoman rahoitusmuotoja ovat factoring-rahoitus, ostolaskujen rahoitus ja vuokrasopimusten rahoitus.

Leasing-rahoituksella tarkoitetaan tuotantovälineiden pitkäaikaista vuokrausta. Leasing-kohteita voivat olla tuotantovälineet, autot, konttorikoneet ja -kalusteet jne. Leasing-rahoitus ei yleensä edellytä vakuutta, koska kohteen omistus ei siirry vuokralaiselle.

Factoring-rahoitus on rahoitusmuoto, jossa rahoitusyhtiö antaa lainaa yrityksen myyntisaamisia vastaan.

Yritys voi ottaa myös velkaa suoraan sijoittajilta joko jälkimarkkinakelpoisena tai tavallisena velkakirjalainana. Tavallisesti tällaiset lainat ovat yrityksen ja sen pääomistajan välisiä lainoja.

Ne voivat olla vakuudettomia ja korollisia tai korottomia. Tyypillinen oman pääoman ja vieraan pääoman välimaastoon asettuva rahoitusmuoto on pääomailaina, jolla on vieraan ja oman pääoman piirteitä. Laina on yleensä hyvin pitkäaikainen. Se muistuttaa osakesijoitusta, koska sille voidaan maksaa korkoa ja lyhennyksiä vain voitonjakokelpoisista varoista. Tämä rahoitusmuoto eroaa riskirahasta eli osakesijoituksesta siinä, että se on periaatteessa maksettava joskus takaisin eikä se anna valtaa yhtiökokouksessa. Se ei oikeuta myöskään osuuteen yrityksen karttuvasta omaisuudesta.

4.2 Tukimuodot

Julkisyhteisöt vaikuttavat monin eri tavoin yrityksen rahoitusratkaisuihin. Vaikutukset voivat olla välillisiä tai välittömiä. Esimerkiksi verolainsäädännöllä on vaikutuksia eri rahoitus- ja sijoitusmuotojen kannattavuuteen. Välittömästi yrityksen rahoitusta koskevat julkisyhteisön suoraan tai erityisluottolaitosten kautta yrityksille suuntaamat rahoitusmuodot ovat: laina, korkotuki, avustus, osakesijoitus, takaus ja takuu. Välittömän tuen lisäksi julkisyhteisöt tukevat yrityksiä neuvoin ja konsulttipalveluin. Neuvontapalveluja tarjoavat mm. elinkeinoasiamiehet ja elinkeinokeskukset eri puolilla Suomea.

TE-keskukset neuvovat ja ohjaavat sekä rahoittavat yrityksiä mm. niiden perustamis- ja laajentamishankkeissa.

Valtioneuvoston päätöksessä n:o 29/1999 (21.1.1999) todetaan, että kauppa- ja teollisuusministeriö voi myöntää *avustusta* energiainvestoinneille ja niitä koskeviin selvityksiin. Tuulivoimahankkeiden osalta avustuksen osuus voi olla enintään 40 % hyväksyttävistä kustannuksista. Hyväksyttäviä kustannuksia ovat mm. investoinnin suunnittelukustannukset, koneiden ja laitteiden hankinta- ja asennuskustannukset sekä rakennustyöt.

Investointiavustusta haetaan KTM:n vahvistamalla lomakkeella. Selvityksiä ja investointeja koskevat hakemukset toimitetaan sen TE-keskuksen yritysosaan, jonka toiminta-alueella investointi tapahtuu tai jossa selvityksen kohde sijaitsee. TE-keskukset on lueteltu liitteessä 3. TE-keskus toimittaa hakemuksen mahdollisen lausunnon kera ministeriöön, joka tekee päätöksen. Kokonaisinvestoinneiltaan alle 10 Mmk suuruisista, tavanomaisen tekniikan hankkeista TE-keskukset tekevät päätökset itse. Hakemuksia otetaan vastaan jatkuvasti. Hakemus on jätettävä ennen kuin hankkeen rakennustyöt alkavat tai esim. ennen kuin hankitaan käyttöomaisuutta. Avustushakemuksen käsittely vie aikaa muutamasta viikosta muutamaan kuukauteen.

Investointiavustushakemukseen tulee liittää mm. tarkka kustannusarvio ja rahoitussuunnitelma sekä laskelmat investoinnin kannattavuudesta (korvattavan energian arvo, investoinnin korollinen takaisinmaksuaika ilman avustusta ja avustuksen kanssa jne.) ja mahdollisista kustannussäästöistä, hankkeen aikataulu, rakennussuunnitelma jne. Näin ollen hakemusta ei kannata jättää liian aikaisessa vaiheessa hanketta.

KTM suosittelee, että hankkeen muut toteutusedellytykset (luvat, muu rahoitus) on valmisteltu riittävän pitkälle, ts. että hankkeen toteutumisesta on riittävä varmuus, ennen kuin avustushakemus jätetään. Koska kunkin vuoden budjetista voidaan myöntää vain rajallinen määrä avustuksia, on KTM:n luonnollisena tavoitteena myöntää avustuksia vain sellaisille hankkeille, joiden toteutumistodennäköisyys on suuri. Pitkälle valmistellun hankkeen avustuspäätös voidaan tehdä nopealla aikataululla.

Valtion erityisrahoitusta varten on perustettu Finnvera Oyj. Siihen yhdistettiin vuoden 1999 alusta Kera Oyj ja Valtiontakuukeskus. Ryhmän sisaryhtiönä toimii Teollisen yhteistyön rahasto Finnfund ja tytäryhtiön korontasausyhtiö Fide Oy.

Finnvera (Kera) rahoittaa pk-yrityksiä. Sen myöntämästä rahoituksesta 21 % on kohdistunut aloittaviin yrityksiin. Se myöntää yritysluottoja sekä käyttöomaisuusinvestointeja että käyttöpääomaa varten. Lainojen juoksu-aika on yleensä 5 - 14 vuotta. Myös lyhytaikainen, jopa muutaman kuukauden pituinen, rahoitus on mahdollista. Yrityslainat ovat yleensä vakuudellisia.

Tuulivoimatuottajalle maksetaan tuotetusta sähköstä verotukea, joka on saman suuruinen kuin kotitalouksien maksama sähkövero, tällä hetkellä (1999) 4,1 p/kWh.

Tuulivoimahankkeen eri vaiheissa on mahdollista hakea myös EU:sta tukea eri kanavia pitkin. Tukea voi saada esim. siten, että kohteeseen liittyvä perustutkimus (tuuliolot, jäätyminen) kytketään osaksi jotakin EU-tutkimushanketta; mikäli hankkeeseen sisältyy teknisiä innovaatioita, voi EU:n demonstraatiotuki tulla kyseeseen; hankkeen tiedotus, seuranta tms. saattaa olla mahdollista liittää osaksi EU:n uusiutuvan energian tukiohjelmaa (ALTENER), jne.

4.3 Mistä apua rahoitusjärjestelyihin liittyvissä kysymyksissä

Rahoitusjärjestelyihin erikoistuneita konsultteja, ekonomisteja ym. kannattaa hyödyntää ainakin niissä tapauksissa, joissa hankkeen taustaorganisaatiolla ei ole omaa rahoitusasiantuntemusta ja -kokemusta. Asiantuntijasta on hyötyä niin omaraahoituksen kuin lainapääomankin hankinnassa. Koska kyse on pääomavaltaisesta hankkeesta, asiantuntijan käytöstä aiheutuvat kustannukset voivat maksaa itsensä moninkertaisesti takaisin.

Myös näissä kysymyksissä on saatavissa arvokkaita neuvoja ja vihjeitä tahoilta, jotka ovat aiemmin toteuttaneet tuulivoimahankkeita.

Avustuksia koskevissa asioissa on suositeltavaa kääntyä hyvissä ajoin (heti esiselvitysvaiheen valmistuttua) TE-keskuksen yritysoston/kauppa- ja teollisuusministeriön puoleen. KTM:lle on syytä raportoida säännöllisin väliajoin hankkeen edistymisestä. Tällöin avustushakemuksen jättöajankohta voidaan valita oikein, ja samalla ministeriö saa hankkeesta taustatietoa, joka nopeuttaa ja helpottaa päätöksen tekemistä.

5 Maankäytölliset tekijät ja ympäristövaikutusten arviointi

5.1 Kaavoitusasiat

Kaavoituksella eli maankäytön suunnittelulla sovitaan yhteen erilaisia maankäyttötarpeita kuten asumista, elinkeinoelämää, liikennettä, virkistystä, palveluja, luonnonsuojelua jne. Kaavoituksen toteutumista valvotaan rakentamisen lupajärjestelmän avulla. Rakennuslupajärjestelmästä kerrotaan myöhemmin lisää kappaleessa 5.3. Sekä kaavoitus- että rakennuslupajärjestelmä on säännelty maankäyttö- ja rakennuslaissa ja -asetuksessa.

Maankäytön suunnittelua ja rakentamista koskevan lainsäädännön kokonaisuudistus on juuri saatu päätökseen. Uusi maankäyttö- ja rakennuslaki (nro 132/1999) on vahvistettu 5.2.1999 ja se tulee voimaan 1.1.2000. Lain säännöksiä tarkentaa maankäyttö- ja rakennusasetus, joka on tämän oppaan kirjoitushetkellä luonnosvaiheessa. Uudella lailla korvataan nykyisin voimassa oleva, useilla osittaisuudistuksilla muutettu rakennuslaki. Lainsäädäntöä on uudistettu vastaamaan mm. kestävän kehityksen vaatimuksia. Uudistuksen jälkeen kunnat päättävät aiempaa itsenäisemmin kaavoitukseen ja lupiin liittyvistä asioista ja nykyinen kuulemismenettely korvataan avoimella ja vuorovaikutteisella suunnittelumenettelyllä.

Koska kaavoitus muodostaa rakennuslupien myöntämisen tai epäämisen perustan, tulisi hanketta suunnittelevan toiminnanharjoittajan olla selvillä tuulivoimalaitokselle suunnitellun sijoituspaikan kaavoituksellisesta tilanteesta ja kaavojen sisällöstä. Näin voidaan välttyä monelta väärinkäsitykseltä ja tiedetään, mihin voimassa olevat kaavat antavat mahdollisuudet. Lisäksi vältetään turhilta kuluilta.

Uusi kaavajärjestelmä sisältää kaksi yleispiirteisistä ja yhden yksityiskohtaisen kaavan. Yleispiirteisissä kaavoissa (maakunta- ja yleiskaava) aluevaraukset osoittavat maa-alueen pääasiallisen käyttötarkoituksen. Näillä alueilla voidaan rakentaa ja harjoittaa toimintoja, jotka eivät ole päämaankäyttömuodon mukaisia, mutta vain siinä laajuudessa, että alueen pääasiallinen luonne ja käyttö ei vaarannu. Yksityiskohtaisen eli detaljikaavan (asemakaavan) alueella rakentaminen ei saa ilman poikkeuslupaa poiketa alueen käyttötarkoituksesta.

Vaikka kaavoituksessa otetaan nykyään aiempaa yleisemmin huomioon tuulivoiman tarvitsemat aluevaraukset, vanhoissa kaavoissa ei yleensä ole esitetty tuulivoima-alueita. Näin ollen tuulivoiman rakentaminen voidaan suorittaa muille maankäyttöalueille joko kaavan yleispiirteisyyden perusteella tai poikkeusluvalla. Myös kaavojen muuttaminen voi tulla kyseeseen.

Haja-asutusalueilla, joilla on kaava, on yleensä voimassa joko maakuntakaava (entinen seutukaava) tai yleiskaava. Sellaisilla haja-asutusalueilla, missä ei ole voimassa mitään kaavaa, voidaan rakentaa pelkästään rakennusluvalla (poikkeuslupa voi kuitenkin olla tarpeen). Vuonna 1997 voimaantullut luonnonsuojelulaki

muutti käytäntöä rantavyöhykkeille rakentamisen osalta. Rantavyöhykkeelle rakentaminen edellyttää aina voimassa olevaa detaljikaavaa tai siitä vapauttavaa poikkeuslupaa, milloin voimassa olevaa yleiskaavaa ei erityisesti ole määrätty käytettäväksi rakennusluvan myöntämisen perusteena.

Vanhassa kaavajärjestelmässä taaja-asutuksen muodostuminen vaati aina detaljikaavan laatimista tai poikkeusluvan hakemista. Tuulivoiman rakentamisen aiheuttama taaja-asutuksen muodostuminen on tulkinnanvaraista ja siihen vaikuttaa mm. se, missä määrin hanke edellyttää yhdyskuntatekniikan, kuten teiden ja sähköverkon, rakentamista alueelle.

Uudessa maankäyttö- ja rakennuslaissa ”suunnittelutarvealue” vastaa pääosin vanhan rakennuslain taaja-asutusta. Kunta voi yleiskaavassa tai rakennusjärjestyksessä määritellä suunnittelutarpeen olottuvuutta rakentamispaineiden ja ympäristöarvojen perusteella. Rakentamisen edellytykset suunnittelutarvealueella ratkaisee kunnan viranomaisen rakennusluvan yhteydessä tai erikseen.

Kaava koostuu tietyn alueen kaavakartasta, kaavamääräyksistä ja kaavaselostuksesta. Kaavojen sisältämät aluevaraukset on merkitty karttaan viivoilla toisistaan erotettuna. Kutakin aluevarausta symboloi kirjaintunnus, joka on selitetty kaavassa. Kullakin kaavamuodolla on viralliset, hieman toisistaan poikkeavat merkinnät. Mitä yksityiskohtaisempi kaava, sitä yksityiskohtaisemmat ohjeet kaavamerkintöihin liittyy. Kaavoihin kuuluu aina myös kirjalliset kaavaselosteet, joista käy tarkemmin ilmi kunkin aluevarauksen tavoitteet sekä erilaiset määräykset ja suositukset.

Kaavatietojen (kirjaintunnukset jne.) perusteella voidaan tehdä päätelmiä sijoituspaikan soveltuvuudesta tuulivoimalaitokselle. Esimerkiksi asuinalueen, koulun tai sairaalan läheisyys (tai sellaisen suunniteltu sijoittaminen) voi sulkea pois tuulivoimalaitoksen rakentamisen. Näin on ensisijaisesti laita luonnonsuojelualueiden kohdalla ja joissakin tapauksissa tämä voi koskea myös virkistysalueita. Usein rannikolla tuulipotentiaaliltaan hyvät alueet on kuitenkin varattu juuri virkistyskäytölle tai muulle vastaavalle toiminnalle eikä vaihtoehtoisia alueita ole helpposti löydettävissä. Tällöin kannattaa hankkeen suunnittelussa pitää kiinni aiotusta sijoituspaikasta ja ryhtyä selvittämään kaavasta poikkeamisen mahdollisuutta tai kaavamuutoksen laatimista. Näissä tilanteissa on otettava yhteyttä erityisesti kuntaan (rakentamisesta ja ympäristöasioista vastaavat tahot).

Mitään yksiselitteistä neuvoa siitä, millaisille kaavoissa merkityille alueille tuulivoimalaitoksen saa rakentaa ja millaisille ei, ei voida antaa. Näitä asioita on aina tapauskohtaisesti erikseen punnittava, kun alueen kaikki olosuhteet ovat tiedossa. Asiaan vaikuttaa myös se, kattaako hanke vain yksittäisen voimalan vai onko kyseessä useita tuulivoimalaitoksia käsittävä hanke.

Kaavoitustilanne, toisin sanoen se, minkä tason kaavoitus sijoituspaikalla valitsee ja missä vaiheessa mahdollisesti käynnissä oleva kaavoitus on, selviää parhaiten tiedustelemalla asiaa ko. maakunnasta, kaupungilta tai kunnasta ja tutustumalla kaavoihin. Yleensä kunnan kaavoitusasioita hoitavat tahot löytyvät suoraan alueen puhelinluettelosta kunnan tai kaupungin kohdalta.

Kaavoihin pääsee tutustumaan myös muilla tavoin. Mm. maakuntakaavoihin (entisiin seutukaavoihin) voi käydä tutustumassa Suomen Kuntaliiton kirjastossa Helsingissä (koko Suomen kaavat). Muualla Suomessa vastaavat mahdollisuudet ko. alueen maakuntakaavoihin (entisiin seutukaavoihin) tutustumiseen

ovat alueen kaavoituksesta vastaavassa maakunnan liitossa (ent. seutukaavaliitot). Yksityiskohtaisempia kaavoja kannattaa edellä kuvatun mukaisesti kysellä kyseisestä kaupungista tai kunnasta.

Maakuntakaavan laadinnan yhteydessä laaditaan runsaasti erilaisia selvityksiä aluevarausten taustaksi. Toiminnanharjoittajan saattaa siksi kannattaa hanketta suunnitellessaan aloittaa maankäyttötietojen hankinta juuri maakunnan liitosta. Maakuntien liitot ovat olleet mukana useissa Suomen rannikkoalueita ja Lappia koskevissa alueellisissa tuulivoimakartoituksissa, joissa on selvitetty tuulivoiman rakentamiselle teknisesti soveltuvia kohteita kaavoitusta ja hankesuunnittelua varten. Joissakin kartoituksissa on käsitelty myös maankäyttöön ja ympäristöön liittyviä näkökohtia.

Kaavajärjestelmä

Maakuntakaava

Maakuntakaava on kaikkein yleisimmän tason kaava. Siinä esitetään alueiden käytön ja yhdyskuntarakenteen periaatteet ja osoitetaan maakunnan kehittämisen kannalta tarpeellisia alueita. Aluevarauksia osoitetaan vain siltä osin ja sillä tarkkuudella kuin alueiden käyttöä koskevien valtakunnallisten tai maakunnallisten taikka useamman kuin yhden kunnan alueiden käytön yhteen sovittamiseksi on tarpeen. (Mittakaava 1:100 000 - 1:200 000)

Yleiskaava

Yleiskaavan tarkoituksena on kunnan tai sen osan yhdyskuntarakenteen ja maankäytön yleispiirteinen ohjaaminen sekä toimintojen yhteen sovittaminen. Kunnat voivat myös laatia yhteisen yleiskaavan. Yleiskaavassa esitetään tavoitellun kehityksen periaatteet ja osoitetaan tarpeelliset alueet yksityiskohtaisen kaavoituksen ja muun suunnittelun sekä rakentamisen ja muun maankäytön perustaksi. (Mittakaava 1:5 000 - 1:10 000)

Asemakaava

Asemakaava laaditaan alueiden käytön yksityiskohtaista järjestämistä, rakentamista ja kehittämistä varten. Asemakaavan tarkoituksena on osoittaa tarpeelliset alueet eri tarkoituksia varten ja ohjata rakentamista ja muuta maankäyttöä. Asemakaava korvaa vanhan kaavajärjestelmän asema-, rakennus- ja rantakaavat. Asema-, rakennus- ja rantakaavoista käytetään myös nimitystä detaljikaavat. Voimaan tuleva yksityiskohtaisempi kaava syrjäyttää yleispiirteisemmän kaavan. Yleispiirteinen kaava ohjaa yksityiskohtaisemman kaavan laadintaa.

5.2 Maa-alueen hankinta

Tuulivoimalaitosten sijoituspaikkoja suunniteltaessa on otettava huomioon mm. niiden suhteellisen paljon maa-alaa vaativa luonne sekä sijoituspaikan ympäristön maankäyttö.

Tuulivoimalaitokset itsessään eivät tarvitse maa-alaa käytännössä muuhun kuin perustuksia sekä pystytys- ja huoltotöitä varten sekä vapaata tilaa roottorin pyörimiselle. Erilaiset ympäristötekijät kuitenkin lisäävät maa-alan suuruuteen kohdistuvia vaatimuksia. Suunniteltaessa sijoituspaikkaa melusta häiriintyvään ympäristöön on hyvä tietää, että lähimmän, laitoksen käyntiäänestä häiriintyvän kohteen ja tuulivoimalaitoksen välissä tulisi olla vähintään 300 - 500 m suojaetäisyys. Sen lisäksi ympäröivää maankäyttöä rajoittaa se, että tuulivoimalaitoksen lähiympäristö on pidettävä tuulivoimantuotantoon vaikuttavien tuuliolosuhteiden vuoksi avoimena. Erilaisia vältettäviä esteitä ovat esimerkiksi korkeat puut ja rakennukset. Useita tuulivoimalaitoksia käsittäviin tuulipuistoihin liittyy lisäksi tuotantoteknisistä syistä omat maa-alavaatimuksensa. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että laitoksia ei voida sijoittaa alle 200 m etäisyydelle toisistaan. Edelleen on tien ja sähköverkon vaatima maa-ala syytä ottaa hankintoja suunniteltaessa huomioon. Tien rakentaminen omalle maalle on helpompaa kuin ulkopuolisen maalle (ks. 5.4.7 ja 5.4.8).

Edellä esitetyn perusteella on tuulivoimahanketta suunnittelevan toiminnanharjoittajan syytä ottaa huomioon se mahdollisuus, että hänen on hankittava käyttöönsä varsinaisia tuulivoimalaitoksia varten tarvittavaa maa-alaa selvästi suuremmat alueet. Jos esimerkiksi tuulipuiston alueella on mahdollisuus harjoittaa jotakin sellaista maankäytön muotoa, joka ei tuulivoimantuotantoa häiritse, kuten esimerkiksi maanviljelyä, ei sitä ole tarpeen estää, vaan voidaan pyrkiä jonkinlaiseen yhteiskäyttöratkaisuun. Tärkeintä kuitenkin on huomata, että maa-alueiden hankintaa ei välttämättä voida rajoittaa vain tuulivoimalaitosten välittömästi tarvitsemaan maa-alueeseen.

Maa-alueita on mahdollisuus saada käyttöönsä ostamalla tai vuokraamalla tarvittava maa-alue. Jos halutulla maa-alueella on entuudestaan joku muu käyttöoikeuden haltija (esim. joku muu vuokralainen), omistajan lisäksi tarvitaan maan käytölle myös tämän toisen tahon suostumus. Tällainen saman alueen ”yhteinen” käyttöoikeus voi tulla kyseeseen esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, että suunnitellulla sijoituspaikalla on jokin linkkimasto. Kovin monissa käyttömuodoissa yhteiskäyttö ei välttämättä tule kyseeseen.

Jos halutun maa-alueen omistajaa ei muuten saada selville, voidaan kääntyä alueen maanmittaustoimiston puoleen. Asiaa on tiedusteltava siitä toimistosta, jonka piiriin kyseinen maa-alue kuuluu (maakunnittain). Maanmittaustoimistot selvittävät tarvittavat tiedot kiinteistörekistereistä, joihin kaikki Suomen kiinteistöt ovat rekisteröitynä, pientä maksua vastaan.

5.3 Rakennusluvan hakeminen

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan (125 §) rakennuksen rakentamiseen on oltava rakennuslupa. Lupa haetaan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta (esim. rakennuslautakunta).

Tuulivoimalaitokset on tähän asti pääsääntöisesti tulkittu rakennuslain määrittelemäksi rakennukseksi. Kysymys on merkittävä sikäli, että jos tuulivoimalaitosta ei pidetä rakennuksena, ei se myöskään tarvitse rakennuslupaa. Jos tuulivoimalaitosta ei pidetä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisena rakennuksena, voi-

daan sille rakennusluvan tarpeettomuudesta huolimatta kuitenkin vaatia toimenpidelupa. Toimenpideluvan myöntää sama viranomainen kuin rakennusluvankin. Uudessa maankäyttö- ja rakennusasetuksen luonnoksessa tuulivoimala on erillislaitteena mainittu toimenpideluvan vaativien laitosten ja rakennelmien luettelossa. Useamman tuulivoimalaitoksen rakentamisen osalta on tulkinnanvaraista, riittääkö toimenpidelupa vai tarvitaanko rakennuslupa. Asetusluonnoksessa on jopa maininta, että edes toimenpidelupaa ei tarvita, jos toimenpide perustuu oikeusvaikutteiseen kaavaan.

Sen selvittämiseksi tarvitaanko rakennus- vai toimenpidelupa, vai riittääkö peräti vain ilmoitus rakentamisesta, on parasta ensimmäiseksi tutustua kyseisen kunnan rakennusjärjestykseen. Jokaisella kunnalla on oma rakennusjärjestyksensä, joten niissä esitetyt luvanvaraisuudet tai ilmoitusvelvollisuudet voivat poiketa toisistaan. Myös kunnan rakennusviranomaisilta (esim. rakennustarkastajalta) voi tiedustella kunnan käytännöstä. Rakennuslupaviranomaisiin on hankkeeseen liittyen muutenkin hyvä olla ajoissa yhteydessä.

Vaikka uudessa maankäyttö- ja rakennusasetuksen luonnoksessa tuulivoimalaitos on määritelty toimenpideluvan tarvitseväksi erillislaitteeksi, on suunniteltaessa useamman tuulivoimalaitoksen rakentamista syytä varautua siihen, että tuulivoimalaitosten rakentamiseen tarvitaan rakennuslupa. Rakennuslupa on oltava ennen rakennustöiden aloittamista.

Ennen rakennus- tai toimenpideluvan hakemista on syytä selvittää suunnitelun hankkeen ympäristövaikutukset. Ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain (486/1994) 25 §:n mukaan hankkeesta vastaavan on oltava selvillä hankkeen ympäristövaikutuksista, vaikka hanke ei edellyttäisi ns. YVA-menettelyä. Jos tuulivoimalaitoksen rakentamiseen tarvitaan ympäristölupamenettelylaisa (735/1991) säädetty lupa, rakennuslupa-asian ratkaiseminen voidaan lykätä, kunnes ympäristölupa-asia on ratkaistu. Jos hankkeesta on laadittava ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain (486/1994) mukainen arviointiselostus, se tulee liittää lupahakemukseen tai ilmoitukseen. Tuulivoimalaitoshankkeen ympäristövaikutusten arviointia ja ympäristölupaa on käsitelty luvuissa 5.4 ja 5.5.

Kuten jo luvussa 5.1 on todettu, rakennuslupamenettelyllä valvotaan mm. kaavoituksen toteutumista, joten tuulivoimaa suunnittelevan toiminnanharjoittajan on oltava perillä sijoituspaikan kaavoitusilanteesta. Koska tuulivoiman tuotantoa ei toistaiseksi ole yleisesti otettu huomioon maankäytön suunnittelussa, ei tuulivoimalaitoksille useinkaan ole aluevarauksia tai muuten osoitettuja alueita. Näin ollen voi ilmetä epäselvyyksiä siitä, millaisille kaavavarauksille tuulivoimalaitoksen saa sijoittaa.

Rakennuslupaa myöntäessään on viranomaisen katsottava, että kaavoitusta noudatetaan. Tästä huolimatta voidaan rakennuslupa myöntää kaavan vastaisestikin. Tällöin rakentamiselle on kuitenkin ensin haettava poikkeuslupa. Uuden maankäyttö- ja rakennuslain mukaan poikkeuslupa haetaan asianomaisen kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta. Poikkeuslupa voidaan myöntää, mikäli se ei tuota haittaa kaavoitukselle, kaavan toteuttamiselle tai alueiden käytön muulle järjestämiselle, vaikeuta luonnonsuojelun eikä rakennetun ympäristön suojelemista koskevien tavoitteiden saavuttamista. Ennen poikkeamista koskevan asian ratkaisemista on tarvittaessa pyydettävä alueellisen ympäristökeskuksen, muun valtion

viranomaisen tai maakunnan liiton lausunto, jos poikkeaminen koskee merkittävästi niiden toimialaa. Jos poikkeaminen vaikuttaa merkittävästi naapurikunnan maankäyttöön, on pyydettävä myös naapurikunnan lausunto.

Poikkeuksen muodostaa rantavyöhyke. Luonnonsuojelulain mukaan rantavyöhykkeelle rakennettaessa tarvitaan aina detaljikaava (asemakaava) tai siitä vapauttava poikkeuslupa, milloin voimassa olevaa yleiskaavaa ei erityisesti ole määrätty käytettäväksi rakennuslupan myöntämisen perusteena. Poikkeuslupan myöntää tässä tapauksessa alueellinen ympäristökeskus. Rantavyöhykkeen leveys ulottuu rantaviivasta noin 50 - 200 metrin etäisyydelle alueen luonnonpiirteiden mukaisesti.

Se, että tuulivoimantuotantoa ei toistaiseksi ole yleisemmin otettu kaavoituksessa huomioon, saattaa tehdä rakennuslupamenettelystä tuulivoiman kannalta ongelmallisen, koska rakennuslupan saanti edellyttää tällöin harkintaa kaavan tarkoituksenmukaisesta toteuttamisesta. Kaavoitusta olisikin Suomessa syytä kehittää niin, että tuulivoima otettaisiin huomioon niillä alueilla, joilla tuulivoiman rakentaminen on tuuliolosuhteiden puolesta mahdollista.

Rakennusluvan hakeminen

Rakennusluvan hakeminen tapahtuu kirjallisella hakemuksella, jota varten on olemassa valmiita lomakkeita. Lupaa haetaan sijoituspaikan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta.

Hakemukseen on liitettävä mm. selvitys siitä, että hakija hallitsee rakennuspaikkaa, sekä rakennuksen pääpiirustukset, jotka suunnittelija varmentaa nimikirjoituksellaan. Hakijalta voidaan tarvittaessa edellyttää muutakin hakemuksen ratkaisemiseksi tarpeellista selvitystä. Hakija voi esimerkiksi liittää hakemukseensa selvityksen siitä, että naapurit tai osa naapureista ovat tietoisia hankkeesta, ja selvityksen heidän mahdollisesta kannastaan rakentamiseen. Jos rakentamisesta on laadittava ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain (486/1994) mukainen arviointiselostus, se tulee liittää lupahakemukseen tai ilmoitukseen. Jos tuulivoimalaitoksen rakentamiseen tarvitaan ympäristölupamenettelylaissa (735/1991) säädetty lupa, rakennuslupa-asian ratkaiseminen voidaan lykätä, kunnes ympäristölupa-asia on ratkaistu.

Rakennuslupahakemuksen vireilletulosta on ilmoitettava naapurille eli viereisen tai vastapäisen kiinteistön tai muun alueen omistajalle ja haltijalle. Rakennusvalvontaviranomaisen on ilmoitettava rakennuslupahakemuksesta naapureille ja varattava heille vähintään seitsemän päivää huomautuksen tekemiseen. Siltä osin kuin hakija on esittänyt selvityksen naapurien kuulemisesta, ei edellä kuvattu kuuleminen ole tarpeen. Samanaikaisesti hakijan on tiedotettava asian vireillepanosta sopivalla tavalla myös rakennuspaikalla.

Rakennuslupapaikalla on tarvittaessa toimitettava katselmus rakennuksen ympäristöön soveltuvuuden selvittämiseksi, rakentamisen vaikutusten arvioimiseksi ja naapurien kuulemiseksi. Katselmuksen ajasta on annettava tieto hakijalle sekä naapurina olevien kiinteistöjen haltijoille.

Jos rakentamisen tarkoitamaan toimintaan tarvitaan ympäristölupamenettelylaissa säädetty lupa, rakennuslupa-asian ratkaiseminen voidaan lykätä, kunnes

ympäristölupa-asia on ratkaistu, jos se mm. rakennuksen toiminnan ympäristövaikutukset huomioon ottaen on perusteltua.

Rakennuslupapäätöksestä voi valittaa 14 päivän kuluessa päätöksen antamisesta alueelliseen hallinto-oikeuteen (ent. lääninoikeus). Alueellisen hallinto-oikeuden päätöksestä voidaan valittaa KHO:een.

Poikkeusluvan hakeminen

Poikkeuslupaa (poikkeuslupa ei tarkoita rakennusluvasta valittamista) haetaan kirjallisesti asiaan tarkoitettulla lomakkeella. Hakemus osoitetaan poikkeuslupaviranomaiselle eli kunnan rakennusvalvontaviranomaiselle. Jos hakemuksen käsittely kuuluu alueelliselle ympäristökeskukselle, kunnan tulee lähettää hakemus sinne oman lausuntonsa ohella. Poikkeuslupaa haetaan alueelliselta ympäristökeskukselta silloin, kun kyseessä on rakentaminen ranta-alueelle, jossa ei ole voimassa olevaa detaljikaavaa tai milloin voimassa olevaa yleiskaavaa ei erityisesti ole määrätty käytettäväksi rakennusluvan myöntämisen perusteena.

Naapureille ja muille, joiden asumiseen, työntekoon tai muihin oloihin hankke saattaa huomattavasti vaikuttaa, on varattava tilaisuus kirjallisen muistutuksen tekemiseen. Poikkeuslupahakemuksesta on tiedotettava edellä mainituille tahoille ja varattava heille vähintään seitsemän päivää esittää muistutuksensa hakemukselta. Hakija voi liittää hakemukseensa selvityksen siitä, että naapurit tai osa naapureista ovat tietoisia hankkeesta, ja selvityksen heidän mahdollisesta kannastaan hankkeeseen. Siltä osin kuin hakija on esittänyt selvityksen naapurien kuulemisesta, ei kunnan järjestämä kuuleminen ole tarpeen.

Ennen poikkeusluvan myöntämistä on hankittava myös alueellisen ympäristökeskuksen, muun valtion viranomaisen tai maakunnan liiton lausunto, jos poikkeaminen koskee merkittävästi niiden toimialaa. Jos poikkeaminen vaikuttaa merkittävästi naapurikunnan maankäyttöön, on pyydettävä myös naapurikunnan lausunto.

Hakemukseen liitetään ns. ympäristökartta ja asemapiirros, asiakirja, joka osoittaa rakennuspaikan hallinnan tai muun perusteen hakea poikkeusta sekä selvitys naapurien kuulemisesta, jos hakija on sen tehnyt. Hakijan on esitettävä arvio poikkeamista koskevan hankkeen keskeisistä vaikutuksista sekä pyrkiä selvittämään poikkeamisen edellytykset hakemuksessaan mahdollisimman tarkasti. Poikkeuslupapäätöksestäkin voidaan valittaa päätöksestä ilmenevällä tavalla.

Poikkeuslupa poistaa rakennusluvan myöntämisen esteen. Poikkeuslupa ei siis korvaa rakennuslupaa, vaan rakennuslupa on edelleen haettava poikkeusluvan saamisen jälkeen.

5.4 Muut tarvittavat luvat

Rakennus- tai toimenpideluvan lisäksi saatetaan tuulivoimahanketta varten tarvita ympäristölupa. Mahdollisen ympäristöluvantarpeen lisäksi on hanketta suunniteltaessa hyvä selvittää hankkeen suhde ainakin seuraaviin säännöksiin:

- Ympäristövaikutusten arviointimenettely
- Luonnonsuojelulaki ja valtakunnalliset suojeluohjelmat
- Natura 2000 -verkostoon kuuluvat alueet

- Melumääräykset ja meluntorjunta
- Lentoestemääräykset
- Voimajohtojen rakentaminen
- Tien rakentaminen
- Muinaismuistojen kajoamiskielto (muinaismuistolaki)

5.4.1 Ympäristölupa

Nykyinen lupakäytäntö

Ympäristölupamenettelylaki (YLML) kokoaa yhteen päätöksentekoprosessiin useiden lakien mukaisia lupa- tai muita vastaavia päätöksiä. YLML:n mukaisen ympäristöluvan yhteydessä käsitellään seuraavat lupa- tai muut vastaavat päätökset:

- Terveydenhoitolain (THL) mukainen sijoituslupa
- Naapuruussuhdelain (NaapL) mukainen immisio- eli sijoituspaikkalupa
- Ilmansuojelulain (ISL) mukainen ilmansuojeluilmoitus sekä
- Jätelain (JäteL) mukainen jätelupa

Tuulivoimahankkeita voivat ympäristöluvassa koskea sijoitus- ja immisio- eli sijoituspaikkalupa, jolloin ympäristölupa siis on haettava. Useimmiten tilanne on kuitenkin todennäköisesti se, ettei ympäristölupaa tuulivoimahankkeelle - varsinkaan haja-asutusalueella - tarvita lainkaan.

THL:n tavoitteena on ihmisen terveydellisten haittojen torjunta. Muun muassa melu voi aiheuttaa terveydellistä haittaa. Toiminnalle, joka voi aiheuttaa terveydellisiä haittoja, on THL:n mukainen sijoituslupa tarpeen, ellei laitoksen tms. sijoituspaikkaa ole osoitettu detaljikaavassa. Sijoituslupa voi joissakin tilanteissa olla tarpeen suurelle tuulipuistolle. Yksittäisten tuulivoimalaitosten tai vain muutamia tuulivoimalaitoksia käsittävien tuulipuistojen kohdalla ympäristöluvan hakeminen, johon sijoituslupakin sisältyy, ei ole tarpeen, ellei rakenneta hyvin lähelle asutusta.

NaapL:n tavoitteena on naapurin yksityisten oikeuksien turvaaminen kohtuuttomilta rasituksilta. Laki kieltää aiheuttamasta naapurille pysyvää, kohtuutonta rasitusta mm. savun, kaasujen, tärinän, jyskeen tai muun sellaisen kautta. Immisio- eli sijoituspaikkalupa tarkoittaa viranomaisen päätöstä laitoksen sijoittamisesta sellaiseen paikkaan, ettei siitä ennalta arvioiden synny kiellettyä immisiota. Tuulipuistosta (useita tuulivoimalaitoksia) voi aiheutua sellaisia häiriöitä, joita varten voi olla syytä hakea ympäristölupa, johon immisio- eli sijoituspaikkalupa sisältyy. Jos NaapL:n mukainen immisio- eli sijoituspaikkalupa on ainoa lupa, jonka vuoksi ympäristölupa olisi tarpeen, asia käsitellään rakennuslupamenettelyn yhteydessä.

Mikäli hankkeeseen liittyen kyseeseen tulee myös THL:n mukainen sijoituslupa, haetaan siis ympäristölupa. Ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristölupaviranomaiselta (usein ympäristönsuojelulautakunta) tai alueelliselta ympäristökeskukselta (koskee vain isoja ja merkittäviä hankkeita). Kunnan viranomaiset voivat myös siirtää asian käsittelyn itseltään alueelliselle ympäristökeskukselle. Kunnan ympäristölupaviranomaisen päätöksestä voidaan valittaa alueelliseen hallinto-oikeuteen (ent. lääninoikeus) ja edelleen KHO:een. Alueellisen ympäristökeskuksen päätöksestä voidaan valittaa KHO:een.

Uusi lupakäytäntö

Uusi ympäristönsuojelulaki (YSL) implementoi EU:n nk. IPPC-direktiivin Suomen lainsäädäntöön. Direktiivi on tullut voimaan 31.10.1996 ja se tulee sisällyttää kansalliseen lainsäädäntöön kolmen vuoden kuluessa eli 31.10.1999 mennessä. Todennäköisesti uuden lain voimaantulo siirtyy vuoden 2000 alkupuolelle. Uudistuksen tarkoituksena on yhdistää aiemman ympäristölupamenettelylain mukainen lupa ja vesilain 10. luvun mukainen jätevesien johtamislupa yhdeksi ympäristöluvaksi.

Uuden ympäristönsuojelulain hankeluetteloluonnoksen mukaan asutuksen lähellä sijaitsevalle tuulivoimalaitokselle olisi haettava ympäristölupa. On kuitenkin mahdollista, että tuulivoimalaitokset voivat vielä jäädä pois hankeluettelosta, koska IPPC-direktiivin hankeluettelossa niitä ei ole.

Ympäristönsuojelulain mukainen lupahakemus käsitellään hankkeen laadusta riippuen kunnan ympäristölautakunnassa, alueellisessa ympäristökeskuksessa tai perustettavissa alueellisissa lupavirastoissa. Valitusoikeus laajenee aiempaan verrattuna. Valitusoikeuden saavat todennäköisesti myös esimerkiksi ne rekisteröidyt yhteisöt, joiden tarkoituksena on ympäristön-, terveyden- tai luonnonsuojelun tai asuinympäristön viihtyisyyden edistäminen. Muuten valitusoikeus on sillä, jonka etua tai oikeutta asia saattaa koskea, ympäristöviranomaisilla sekä muilla yleistä etua valvovilla viranomaisilla, kunnanhallituksilla sekä kuntien valvontaviranomaisilla.

Muutoksenhaku tapahtuu Vaasan alueellisessa hallinto-oikeudessa. Muutoksenhakutuomioistuimen päätökseen haetaan muutosta KHO:sta.

5.4.2 Ympäristövaikutusten arviointimenettely

Suomessa tulivat 1.9.1994 alkaen voimaan laki ja asetus ympäristövaikutusten arvioinnista (YVA-laki 468/94 ja YVA-asetus 792/94). EU:n direktiivimuutoksen vuoksi tehtiin YVA-lain muutos (267/1999) ja uusi YVA-asetus (268/1999), jotka tulivat voimaan 1.4.1999. Lain mukaan arviointimenettelyä on sovellettava hankkeisiin, joilla saattaa olla merkittäviä ympäristövaikutuksia. YVA-asetuksessa on luettelo sellaisista hankkeista, joihin YVA-lakia aina sovelletaan. Tuulivoimahankkeet eivät sisälly tähän luetteloon. Ympäristöministeriön työryhmämietinnön mukaan ympäristövaikutusten arviointimenettely olisi syytä käynnistää, jos tuulipuiston teho on yli noin 6 - 10 MW tai erillisiä yksiköitä on yli 10 kappaletta. Arviointimenettelyn tarpeeseen vaikuttaa luonnollisesti myös maisema- ja maankäyttövaikutusten merkittävyys sijaintialueella.

Lain mukaan ympäristöministeriö voi yhteysviranomaisen esityksestä määrätä lakia sovellettavaksi myös muuhun kuin luetteloituun hankkeeseen yksittäistapauksessa. YVA-asetuksen 7 §:ssä on esitetty lain soveltamisen harkinnassa huomioitavia seikkoja, joita voivat olla mm. hankkeen yhteisvaikutus muiden hankkeiden kanssa ja hankkeen sijaintiin liittyvät tekijät. Mikäli yhteysviranomaisen katsoo, että hankkeessa on sovellettava arviointimenettelyä, on sen tehtävä asiasta esitys ympäristöministeriölle. Ennen päätöksentekoa YVA-menettelyn soveltamisesta on hankkeesta vastaavaa kuultava.

Silloin kun suunnitellaan tuulipuiston rakentamista ekologisesti herkälle alueelle, kuten esimerkiksi luonnonsuojelualueen lähelle, valtakunnalliseen suoje-

luohjelmaan tai Natura 2000 -verkostoon kuuluvalla alueella tai sen lähelle, voidaan tuulipuistonkin ympäristövaikutukset katsoa merkittäviksi.

Hankkeesta vastaava, jonka hanke ei sisälly YVA-asetuksen hankeluuteen, ei automaattisesti ole velvollinen toteuttamaan lain mukaista YVA-menettelyä eikä ryhtymään toimenpiteisiin sovellettavuuden selvittämiseksi, mutta jos hän haluaa varmistua siitä, että häntä ei siihen myöskään määrätä, hän voi pyytää asiasta yhteysviranomaisen (alueellinen ympäristökeskus) lausunnon. Jos yhteysviranomaisen katsoo, ettei YVA-menettelyä ole tarpeen soveltaa, on se velvollinen antamaan lausunnon näkemyksestään.

Huolimatta siitä, mitä YVA-laki ja -asetus edellyttävät, on erillisen ympäristöselvityksen tekeminen osana tuulivoimahankkeen suunnitteluprosessia suositeltavaa riippumatta hankkeen koosta. Hankkeesta vastaavan on pienemmissäkin hankkeissa selvitettävä ympäristövaikutukset (YVA-lain 25 §:n selvilläolovelvollisuus). Ympäristöselvitys ei tässä mielessä välttämättä tarkoita em. lainsäädännön mukaista menettelyä ja selostusta, vaan omaa ympäristöselvitystä hankkeen onnistumisen turvaamiseksi. Ympäristöselvityksen laatiminen helpottaa yhteistyötä viranomaisten ja muiden alueen tahojen kanssa. Yhteistyön seurauksena taas lupa- ja muut vastaavat prosessit usein nopeutuvat. Vuorovaikutteinen ja avoin ympäristövaikutusten selvittäminen ja niistä tiedottaminen paikallisille asukkailla ja muille sidosryhmille vähentää väärinkäsityksiä ja mahdollisia ennakkoluuloja tuulivoimahankkeen ympäristövaikutuksista. Tärkeää on myös se, että asiallisten ympäristöselvitysten pohjalta ja niiden osoittamana voidaan välttää turhat ympäristövaikutukset ja minimoida vaikutuksista ne, joita ei pystytä välttämään.

Aivan kaikkien hankkeiden yhteydessä edes em. vapaamuotoinen ympäristöselvitys ei välttämättä ole tarpeen. Tuulivoimahankkeen ympäristövaikutukset on voitu selvittää jo aikaisemmin esimerkiksi kaavoituksen tai alueellisten tuulivoimaa koskevien selvitysten yhteydessä. Tilanne on aina tapauskohtaisesti arvioitava yhdessä viranomaisten kanssa. Ympäristövaikutuksien vähättelemistä on vältettävä.

5.4.3 Luonnonsuojelulaki ja valtakunnalliset suojeluohjelmat

Uusi luonnonsuojelulaki (80/1997) tuli voimaan 1.1.1997. Uudistuksella modernisoitiin Suomen yli 70 vuotta vanha luonnonsuojelulainsäädäntö ja sopeutettiin se EU:n luonnonsuojeludirektiivien vaatimuksiin. Luonnonsuojelulakia sovelletaan luonnon ja maiseman suojeluun ja hoitoon. Luonnonsuojelun perustana on biologisen monimuotoisuuden säilyttäminen. Metsien hoidossa ja käytössä sovelletaan pääosin uutta metsälakia. Luonnonsuojelulaissa esitetyt Natura 2000 -alueita koskevat säännökset on koottu omaan lukuunsa. Niiden oikeusvaikutukset eivät koske muita luonnonsuojelualueita.

Luonnonsuojelulaissa on kolme erilaista luonnonsuojelualueita: kansallispuisto, luonnonpuisto ja muu luonnonsuojelualue. Luonnonsuojelualue perustetaan samalla juridisella menettelyllä riippumatta siitä, onko kyseessä valtion vai yksityisen omistama alue. Kansallispuisto ja luonnonpuisto voidaan kuitenkin perustaa vain valtion omistamalle alueelle ja niiden perustamisesta pääsääntöisesti säädetään lailla. Kansallis- ja luonnonpuistossa on luontoa muuttava toiminta kielletty.

Alueellinen ympäristökeskus voi maanomistajan hakemuksesta tai luvalla perustaa ns. muun luonnonsuojelualueen. Perustamispäätöstä ei saa antaa, elleivät maanomistaja ja alueellinen ympäristökeskus ole sopineet alueen rauhoitusmääräyksistä ja aluetta koskevista korvauksista. Alueellinen ympäristökeskus voi ilman maanomistajan lupaa perustaa luonnonsuojelualueeksi myös muun yksityisen alueen, jos alue sisältyy valtioneuvoston hyväksymään luonnonsuojeluohjelmaan. Alueen rauhoitusmääräykset eivät saa rajoittaa maankäyttöä enemmälti kuin aluetta koskevasta suojeluohjelmasta johtuu, ellei maanomistaja ole muuhun suostunut.

Laissa luetellaan yhdeksän suojeltavaa luontotyyppiä. Näihin kuuluvia luonnontilaisia tai luonnontilaiseen verrattavia alueita ei saa muuttaa niin, että luontotyypin ominaispiirteiden säilyminen vaarantuu. Suojeltavia luontotyyppiä ovat mm. luonnontilaiset hiekkarannat, puuttomat tai vähäpuustoiset hiekkadyynit, merenrantaniityt ja tervaleppäkorvet. Alueellinen ympäristökeskus voi yksittäistapauksissa myöntää poikkeuksen, mikäli kyseisen luontotyypin suojelutavoitteet eivät huomattavasti vaarannu tai luontotyypin suojelu estää yleisen edun kannalta erittäin tärkeän hankkeen tai suunnitelman toteuttamisen.

Erityisen arvokkaiden maisemien suojelemiseksi on otettu käyttöön uusi suojelumuo, maisema-alue. Perustamispäätökseen voidaan ottaa maiseman olennaisten piirteiden säilyttämiseksi tarpeellisia määräyksiä. Maisema-alueisiin liittyvät säännökset ovat luonnonsuojelualueita koskevia lievempiä, tarkoituksena on ohjata maankäytön suunnittelua. Maanomistajalle kohtuuttomia maisema-alueita koskevia määräyksiä ei saa antaa. Valtakunnallisesti merkittävän maisema-alueen perustamisesta ja tarkoituksesta päättää ympäristöministeriö. Muusta maisema-alueesta päättää alueellinen ympäristökeskus maakunnan liiton esityksestä. Alueellinen ympäristökeskus voi yksittäistapauksissa myöntää poikkeuksen maisema-alueita koskevista määräyksistä.

Valtakunnallisesti merkittävien luonnonarvojen turvaamiseksi ympäristöministeriö voi laatia luonnonsuojeluohjelmia, joilla alueita varataan luonnonsuojelutarkoituksiin. Valtioneuvoston hyväksymään luonnonsuojeluohjelmaan kuuluvalle alueelle ei saa suorittaa sellaista toimenpidettä, joka vaarantaa alueen suojelun tarkoituksen. Toimenpiderajoitus on voimassa mahdollisesta valituksesta huolimatta, jollei alueellinen ympäristökeskus myönnä lupaa poiketa rajoituksesta.

Erilaisia luonnonsuojeluun liittyviä valtakunnallisia ohjelmia ovat mm. soijensuojelu-, lintuvesiensuojelu-, harjijensuojelu-, lehtojensuojelu-, vanhojen metsien suojelu- ja rantojensuojeluohjelma. Luonnonsuojeluohjelmien alueet eivät kuitenkaan ole varsinaisia luonnonsuojelualueita, vaan ne tulee toteuttaa eli saatetaan luonnonsuojelulain mukaisiksi suojelualueiksi. Käytännössä tämä vaihe voi olla varsin pitkä. Tuulivoimahankkeen toteuttajan on kuitenkin syytä olla selvillä suunnitellun sijoituspaikan kuulumisesta jonkin suojeluohjelman piirin ja ko. suojeluohjelman tavoitteista, sillä ne vaikuttavat käytännössä lupa- ja muiden prosessien läpiviemiseen.

5.4.4 Natura 2000 -verkosto

Suomen Natura 2000 -verkosto koostuu lintudirektiivin perusteella EU:n komissiolle ilmoitetuista linnustonsuojelualueista ja luontodirektiivin perusteella hyväksytyistä (komission tai neuvoston hyväksyntä) yhteisön tärkeinä pitämistä alueista. Menettelyllisesti Natura 2000 -alueiden valintaprosessi muistutti luonnonsuojeluohjelmien laatimista. Käytännössä alueelliset ympäristökeskukset kartoittivat Natura-ohjelmaan otettavat alueet ja laativat toimialueensa osalta ehdotuksen ympäristöministeriölle, jolle varsinainen Natura 2000 -verkoston laatiminen kuuluu. Suomessa lopullisen päätöksen EU:lle esitettävästä Natura 2000 -verkostosta teki valtioneuvosto. Vasta EU:n komissio tekee lopullisen päätöksen jonkin alueen ottamisesta Natura 2000 -verkostoon, kun kyse on luontodirektiivin mukaisesta alueesta. Lintudirektiivin osalta ei vaadita EU:n toimielimen päätöstä.

Natura 2000 -alueiden suojelutoimilla rajoitetaan vain sellaisia hankkeita Natura-alueilla tai niiden läheisyydessä, jotka heikentäisivät niitä luonnonarvoja, joiden perusteella alueet on valittu suojeluohjelmaan. Valtioneuvoston periaatepäätösten mukaisilla suojelualueilla, joista on tarkoitus perustaa luonnonsuojelualueita, Natura 2000 -verkoston suojelutavoitteet eivät mene pidemmälle kuin mitä ko. periaatepäätöksessä on todettu. Natura-alueiden luettelossa on yksilöity suojelun toteuttamistapa mainitsemalla se laki, jonka säännöksiä noudattamalla turvataan ne luonnonarvot, joiden perusteella alue on esitetty Natura 2000 -verkostoon. Alueet voidaan esittää toteutettavaksi esimerkiksi luonnonsuojelulain tai rakennuslain nojalla.

(Maankäyttö- ja) rakennuslaki on osoitettu Natura-alueiden toteuttamiseksi silloin, kun alueen luonnonarvot voidaan turvata ohjaamalla rakentamista kaavoituksen avulla. Kaavoitettujen alueiden osalta lähtökohtana on, että alueiden luontoarvot on selvitetty ja otettu huomioon jo kaavoitusvaiheessa. Naturasta ei aiheudu esteitä kaavassa osoitetulle rakentamiselle sellaisten Natura-alueiden kohdalla, jotka toteutetaan muun kuin luonnonsuojelulain perusteella. Kaavoittamattomilla taaja-asutusalueilla (suunnittelutarvealueilla) ja rantavyöhykkeellä rakentamisen edellytykset ratkaistaan kaavalla, joka (maankäyttö- ja) rakennuslain nojalla on laadittava ennen rakentamista. Muiden kuin edellämainittujen alueiden ulkopuolella oleville alueille ei saa myöntää rakennuslupaa, jos se merkityksellisesti heikentää alueen luonnonarvoja.

Jos hanke joko yksistään tai tarkasteltuna yhdessä muiden hankkeiden ja suunnitelmien kanssa ”todennäköisesti merkityksellisesti” heikentää Natura 2000 -verkostoon kuuluvan alueen luonnonarvoja, hankkeen toteuttajan tai suunnitelman laatijan on asianmukaisella tavalla arvioitava nämä vaikutukset. Sama koskee myös sellaista hanketta tai suunnitelmaa Natura-alueen ulkopuolella, jolla todennäköisesti on alueelle ulottuvia ”merkityksellisiä haitallisia” vaikutuksia. Luvan myöntävän viranomaisen on katsottava, että em. arviointi on tehty ja tämän jälkeen pyydettävä lausunto alueelliselta ympäristökeskukselta ja siltä jonka hallinnassa luonnonsuojelualue on. Viranomaisen ei saa myöntää lupaa hankkeelle, jos em. arviointi- ja lausunnotonnetely osoittaa hankkeen tai suunnitelman heikentävän Natura 2000 -verkostoon kuuluvan alueen luonnonarvoja tai jos em. arviointia ei ole tehty.

Valtioneuvoston päätöksen (20.8.1998) mukaisesti Natura-alueet eivät aiheuta maisemasta johtuvia lisävaatimuksia rakennuslupaharkintaan, koska Natura 2000 -verkostoon otettuja alueita ei ole ehdotettu verkostoon maisemallisin perustein. Natura 2000 -verkostoon on sisällytetty alueita, jotka tuuliolosuhteiltaan soveltuvat erityisen hyvin tuulivoiman hyödyntämiseen. Tällaisia alueita on erityisesti Lapin tunturialueille ja meren rannikkoalueille sijoittuvilla Natura-alueilla. Tuulivoiman hyödyntäminen näillä alueilla on Valtioneuvoston päätöksen mukaan mahdollista edellyttäen, ettei se merkityksellisesti heikennä niitä luonnonarvoja, joiden perusteella alue on Natura 2000 -verkostoon sisällytetty.

Tuulivoiman rakentaminen on siis mahdollista Natura-alueilla, joita ei ole esitetty toteutettavaksi luonnonsuojelulain nojalla. Käytännössä hankkeen toteuttaminen on helpointa alueilla, joissa tuulivoiman rakentaminen on otettu huomioon jo kaavoituksessa.

5.4.5 Melumääräykset ja meluntorjunta

Meluntorjuntaa koskevia menettelyjä käsitellään meluntorjuntalaissa ja -asetuksessa. Selkeimmän ohjeen sallituista meluarvoista käytännön, ja siten myös tuulivoimahankkeiden, kannalta antaa valtioneuvoston päätös (VNp 993/92) melutason ohjearvoista.

Melutason ohjearvoja koskevan valtioneuvoston päätöksen pääsisältö on:

Soveltamisala

Päätöstä sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyssä.

Ohjearvot ulkona

1. Asumiseen käytettävillä alueilla, virkistysalueilla taajamissa ja taajamien välittömässä läheisyydessä sekä hoito- ja oppilaitoksia palvelevilla alueilla:

- Jatkuva melutaso ei saa ylittää melun A-painotetun ekvivalenttitason (LAeq)
 - päiväohjearvoa (klo 7 - 22) 55 dB
 - yöohjearvoa (klo 22 - 7) 50 dB
 - yöohjearvoa uusilla asuinalueilla 45 dB

2. Loma-asumiseen käytettävillä alueilla, leirintäalueilla, taajamien ulkopuolella olevilla virkistysalueilla ja luonnonsuojelualueilla:

- Jatkuva melutaso ei saa ylittää melun A-painotetun ekvivalenttitason (LAeq)
 - päiväohjearvoa (klo 7 - 22) 45 dB
 - yöohjearvoa (klo 22 - 7) 40 dB

Edellä esitetyt meluohjearvot eivät erityisen hyvin sovellu tuulivoimalaitoksille, koska esimerkiksi rannikkoalueilla pelkästään tuulen aiheuttama luonnon taustamelu usein ylittää melutason ohjearvot. Toisaalta taas tuulivoimalaitosten sijaitessa selvästi ympäröivän maaston yläpuolella, esim. korkean mäen tai tunturin laella, voi niiden ääni joissakin olosuhteissa kuulua huomattavasti kauemmas kuin tasa-

maalla. Tuulivoimalaitoksia varten olisikin oleellista saada omat melua koskevat säännökset, joissa määriteltäisiin, millaisissa tuuliolosuhteissa minkäkinlaista melua saisi syntyä.

Nykyisillä meluohjearvoilla on kuitenkin se merkitys, että lupaviranomaisen on otettava ohjearvot erilaisia lupia myöntäessään huomioon. Ohjearvo on ohje, joten siinä on jouston varaa, mutta useimmiten sitä on pyrittävä noudattamaan. Meluohjearvot saattavat siten nousta kynnyskysymykseksi esimerkiksi rakennuslupaa myönnettäessä. Ohjearvoissa esitetyt melutasot on hyvä ottaa tuulivoimahankkeen suunnittelussa huomioon.

Meluntorjuntalainsäädäntö voi koskea tuulivoimalaitoshankkeita lähinnä rakennusvaiheessa. Merkittävimpanä tilapäisenä meluhaittana voivat olla mahdollisten kallioporausten sekä louhinta- ja räjäytystöiden suorittaminen louhikkoisessa tai kallioidessa maastossa. Mikäli lähistöllä ei ole häiriintyviä kohteita, ei meluntorjuntailmoitusta melutasojen voimakkuudesta huolimatta tarvitse tehdä.

Suomen meluntorjuntalaissa (MeluL) säädetään ilmoitusvelvollisiksi joukko satunnaisesti melua aiheuttavia toimintoja. Ilmoitusvelvollisuus määräytyy näin:

Jos rakentamisesta, korjaustyöstä tai kunnossapidosta tai muusta näihin rinnastettavasta tilapäisestä työstä tai toimenpiteestä tai muusta tilapäisestä tapahtumasta saattaa aiheutua melua, jonka on syytä olettaa olevan melun voimakkuuden, keston tai toistuvuuden vuoksi erityisen häiritsevää lähistöllä asuville, oleskeleville tai työskenteleville, melun aiheuttajan on tehtävä työstä, toimenpiteestä tai tapahtumasta kirjallinen ilmoitus asianomaisen kunnan ympäristönsuojelulautakunnalle.

Ilmoitus on tehtävä viimeistään kahta viikkoa ennen häiriön aloittamista. Ympäristölautakunnan päätöstä ei ole tarpeen saada ennen ilmoitetun toiminnan aloittamista, mutta toiminta voidaan määrätä keskeytettäväksi. Meluntorjuntalaki kumoutuu uuden ympäristönsuojelulain tullessa voimaan todennäköisesti vuoden 2000 aikana. Tämän jälkeen meluun liittyvät lupa-asiat siirtyvät ympäristölupamenettelyn alle.

5.4.6 Lentoestemääräykset

Ilmailuasetuksessa määrätään lentoesteiden merkitsemisestä. Toisin kuin esimerkiksi Ruotsissa ja Saksassa Suomessa ei anneta lentoesteistä mitään ohjeellisia korkeuksia. Ilmailuasetuksen (118/1996) 1 §:ssä määrätään, ettei mitään laitetta, rakennelmaa tai merkkiä saa asettaa tai järjestää niin, että sitä voidaan erehdyksessä pitää ilmailua palvelevana laitteena, rakennelmana tai merkinä tai että se häiritsee sellaisia laitteita tai lentoliikennettä tai aiheuttaa muutoin vaaraa lentoturvallisuudelle. Edelleen IlmA:sen 1 §:ssä määrätään, että sen, joka aikoo asentaa edellä mainitun mukaisen laitteen, josta saattaa olla vaaraa lentoturvallisuudelle, on etukäteen pyydettävä liikenneministeriön alaiselta ilmailulaitokselta ns. lentoestelausunto.

Ilmailuasetuksessa ei ole tarkempia ohjeita siitä, missä tapauksissa lentoestelausuntoa on pyydettävä, mutta viranomaiset ovat käytännössä vaatineet ilmailulaitoksen lausuntoa rakennuslupahakemuksen liitteeksi yli 30 m:n korkuisille esteille. Toisaalta mm. lentokenttien läheisyydessä lentoestemääräykset ovat edellä mainittua tiukempia. Vaikka tuulivoimahankkeelle ei jostain syystä vaadittaisi-

kaan rakennuslupaa, on tuulivoimahankkeessa aina syytä ottaa yhteyttä Ilmailulaitoksen lentoesteosastoon ja tiedustella tapauskohtaisesti lausuntopyyntöön tarpeellisuutta. Lausunnossa otetaan kantaa siihen, voidaanko lentoeste rakentaa suunnitellun korkuisena tai mikä on sallittu maksimikorkeus sekä siihen, miten lentoeste on lentoestemääräyksien mukaisesti merkittävä.

Suomessa ilmailuviranomainen on useimmissa tapauksissa määrännyt tuulivoimalaitoksen merkittäväksi lentoturvallisuussyistä. Useimmissa hankkeissa on riittävänä merkintätapana pidetty pelkkää lentoestevaloa. Tätä merkintätapaa voitaneen jatkossa pitää yleisenä käytäntönä.

5.4.7 Voimajohtojen rakentaminen

Tuulivoimahankkeiden yhteydessä joudutaan yleensä rakentamaan jonkin verran uutta voimajohtoa, jolla laitokset yhdistetään muuhun verkkoon. Verkon rakentamista varten tarvitaan ainakin niiden maanomistajien luvat, joiden alueelta voimajohtojen olisi mentävä. Lisäksi saatetaan tarvita rakennuslain mukainen toimenpidedelupa. Luvan tai ilmoitustarpeen selvittämiseksi on tutustuttava kunnan rakennusjärjestykseen ja/tai oltava kunnan rakennuslupaviranomaisiin yhteydessä.

Mikäli voimajohdot olisivat tulossa detaljikaavan mukaiselle alueelle, vaikuttavat kaavamääräykset siihen, mihin voimajohdot saadaan vetää (muualle kuin omalle maalle).

Muita ympäristöllisiä lupia (kuten ympäristölupaa) ei voimajohtoja varten yleensä tarvita, sillä tuulivoimahankkeiden yhteydessä ovat yleensä kyseessä keskijännitevoimajohdot. Tuulivoimapuistojen yhteydessä voidaan kuitenkin joutua rakentamaan 110 kV:n sähköjohtoja. Sähkömarkkinalain (SML 18§) mukaan 110 kV:n sähköjohdon rakentamiseen on pyydettävä sähkömarkkinaviranomaisen lupa. Sähkömarkkina-asetuksen (SMA 5 §) mukaan rakennuslupahakemuksessa on esitettävä tiedot mm. hankkeen ympäristövaikutuksista ja sen soveltuvuudesta alueen maankäyttöön. Sener on laatinut ohjeen em. ympäristöselvityksen laatimisesta. Vähintään 220 kV:n maanpäällisiä voimajohtoja, joiden pituus on yli 15 km, koskee YVA-lain mukainen YVA-menettely.

Edellä esitettyjen huomioon otettavien seikkojen lisäksi on suositeltavaa ottaa paikallinen jakeluverkkoyhtiö mukaan sähkölinjojen rakentamiseen. Verkkoyhtiön alueelle ei voimajohtoja saa rakentaa ilman verkkoyhtiön lupaa, koska verkkoyhtiöillä on monopoliasema verkon rakentamisessa omalla alueellaan.

5.4.8 Tien rakentaminen

Jos sijoituspaikalle on tarpeen tehdä tie toisen omistamaa tai hallitsemaa aluetta käyttäen, on tässä toimittava asiaan liittyvän tielainsäädännön mukaan. Yksityistielain (YksTieL) 8 §:ssä todetaan, että jos kiinteistön tarkoituksenmukaista käyttöä varten on tärkeätä saada kulkuyhteys toisen kiinteistön kautta eikä siitä aiheudu huomattavaa haittaa toisen kiinteistölle, on toisen luovutettava tietöimituksessa määrättävä alue käytettäväksi tietarkoitukseen. Tätä oikeutta toisen kiinteistön alueen pysyvään käyttöoikeuteen kutsutaan tieoikeudeksi. Tällaisista tilanteista säädetään YksTieL:ssä. Tie voidaan rakentaa omalle maalle, ellei tienteolla aiheuteta merkittäviä ympäristövaikutuksia, kuten esimerkiksi pohjavesivarantoihin liittyvää

pilaamis- tai muuttamisvaaraa (maa-aineksen ottamisella), huomattavaa luonnon turmeltumista tai ympäristön kulttuuriarvojen vähentymistä tms. yleisen edun loukkausta. Tietä ei saa tehdä niin, että voimassa olevan kaavan tai vastaisen kaavan toteuttaminen saattaa vaikeutua.

5.4.9 Muinaismuistolain kajoamiskielto

Rakentamispaikkaa selvitettyä on otettava huomioon myös muinaismuistolain mukainen kiinteisiin muinaismuistoihin liittyvä kajoamiskielto. Muinaismuistoina pidetään nykyaikaisen yhteiskunnan ulkopuolelle jääviä muistomerkkejä, luonnonmuodostumia, raunioita yms., joihin liittyy jokin historiallinen käyttöyhteys tai tapahtuma. Muinaismuiston ei siis edellisen perusteella tarvitse olla ihmisen aikaansaannos, mutta jokin käyttöyhteys on oltava.

Kiinteätä muinaismuistoa koskeva muinaismuistolain mukainen kajoamiskielto tarkoittaa, että kajoaminen (kaivaminen, peittäminen, muuttaminen, vahingoittaminen, poistaminen ym.) on kiellettyä ilman lain nojalla annettua lupaa. Kiinteät muinaismuistot on laissa luetteloitu (esim. maa- ja kivitummut, muinaishaudat, uhrilähteet ja -kivet, palvonta- ja kärkeäpaikat jne.). Lakisääteistä suojelua nauttii myös kiinteän muinaisjäännöksen lähialue, ns. suoja-alue, joka on tarpeen jäännöksen säilyttämiseksi. Mikäli tuulivoimalaitosten sijoituspaikalta löytyy em. laissa määritelty kiinteä muinaismuisto, on siitä tehtävä ilmoitus museovirastolle sekä sovittava asianomaisten viranomaisten kanssa tuulivoimalaitosten sijoittamisesta ja muinaismuiston suojelemisesta. Jos muinaismuisto löydetään ennen rakennustöiden aloittamista, kajoamisluvasta voidaan neuvotella museoviraston ja ao. lääninhallituksen kanssa. Lääninhallitus myöntää luvan saatuaan lausunnon mm. museovirastolta.

5.5 Ympäristövaikutukset ja niiden huomioon ottaminen

Tuulivoimalaitoksiin liittyviä ympäristövaikutuksia voivat olla:

- Visuaaliset eli maisemalliset vaikutukset
- Valon/varjon vilkkuminen
- Melu
- Vaikutukset eläimiin, pääasiassa lintuihin
- Vaikutukset kasvillisuuteen ja maaperään
- Mahdolliset vaikutukset viestintäyhteyksiin
- Vaikutukset vesiliikenteeseen
- Erilaiset maankäyttövaikutukset
- Vaikutukset turvallisuuteen

Suunniteltaessa tuulivoimahanketta on aina syytä kiinnittää huomiota hankkeen mahdollisiin ympäristövaikutuksiin. Sijoituspaikasta riippuu, mitkä edellä esitetyistä ympäristövaikutuksista vaativat enemmän tarkastelua ja kuinka syvällistä tarkastelun on syytä olla. Esimerkiksi jos suunniteltu sijoituspaikka on tunnettu arvokkaana linnustoalueena, on ympäristötarkasteluja laajennettava mahdollisesti linnustonselvityksellä.

Ainakin silloin jos tuulivoimalaitoksia ollaan suunnittelemassa rakentamattomalle rannikkoalueelle tai rakentamattomaan tunturimaisemaan Lapissa, on suositeltavaa laatia hankkeen ympäristövaikutuksista ympäristöselvitys. Ympäristöselvityksellä ei tässä tarkoiteta YVA-lain mukaista ympäristövaikutusten arviointiselostusta, vaan vapaamuotoista, ainoastaan merkittäviin asioihin keskittyvää raporttia tilanteesta. Jos sijoituspaikka on luontonsa puolesta herkkä, on todennäköistä, että myös esimerkiksi rakennuslupaviranomaiset tulevat lupaa harkitessaan kiinnittämään huomiota ympäristöseikkoihin. Tällöin asian käsittelyä helpottaa, jos toiminnanharjoittaja on jo valmiiksi ottanut ympäristövaikutukset huomioon ja laatinut niistä ja niiden lieventämiskeinoista selvityksen.

Käytännössä hankkeen toteuttajan kannattaa itse ensin muodostaa käsitys hankkeen mahdollisista ympäristövaikutuksista ja tehdä oma ehdotus hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin etenemisestä ja sisällöstä. Tämän jälkeen on hyvä ottaa yhteyttä kunnan ympäristö- ja rakennuslupaviranomaisiin ja/tai alueelliseen ympäristökeskukseen ja käydä epäviralliset keskustelut hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnista oman esityksen pohjalta. Viranomaiset voivat täydentää ehdotusta esimerkiksi lupapäätöksissä tarvittavien taustatietojen osalta. Näin vältetään lupaprosessia hidastavien lisäselvitysten laadinnalta.

Seuraavassa kuvataan yllä mainittuja ympäristövaikutuksia hieman tarkemmin sekä esitetään, millaisiin asioihin niiden vaikutusten arvioinnissa ja lieventämisessä on syytä kiinnittää huomiota.

5.5.1 Visuaaliset eli maisemalliset vaikutukset

Tuulivoimalaitosten maisemaan kohdistuvien vaikutusten voidaan katsoa olevan merkittävin tuulivoimalaitoksiin liittyvä ympäristövaikutus. Maisemallisesti erityisen herkkiä paikkoja voivat olla mm. valtakunnallisesti arvokkaat maisema-alueet ja kulttuurihistoriallisesti merkittävät ympäristöt (ks. ympäristöministeriön ja museoviraston selvitykset). Maakunnallisesti ja paikallisesti arvokkailla kohteilla tulee suunnittelun keinoin huolehtia siitä, ettei niiden arvo ainakaan merkittävästi heikene tuulivoiman rakentamisen takia.

Tuulivoimalaitosten maisemavaikutuksiin vaikuttavat tekijät:

1. Maiseman tyyppi

Maiseman päätyypeinä voidaan pitää rakennettua ja luonnonmaisemaa sekä maaseudun kulttuurimaisemaa. Maiseman tyyppiin vaikuttavat mm. alueen topografia (pinnanmuodot ja korkeuserot), rakennukset ja kasvillisuus. Maisemavaikutusten minimoimiseksi on ensisijaisesti suositeltavaa rakentaa jo rakennettuun ympäristöön, kuten rannikolla satama- ja teollisuusalueille ja tunturissa laskettelukeskusten läheisyyteen. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista.

2. Muodostelma (kuvio), johon tuulivoimalaitokset sijoitellaan

Tuulipuistoissa tuulivoimalaitoksia on sijoiteltu useisiin eri muotoihin: riveihin ja erilaisiin ryppäisiin. Maailmalta saatujen kokemusten perusteella voidaan suositella tuulivoimalaitosten sijoittelua geometrialtaan harmonisiin ja selkeisiin muodos-

telmiin /17/. Tämä ei epäsäännöllisten maastonmuotojen vuoksi useinkaan ole mahdollista Suomen rannikolla ja tuntureilla.

3. Tuulivoimalaitosten lukumäärä

Mitä enemmän tuulivoimalaitoksia maisemaan sijoitetaan, sitä enemmän ne luonnollisestikin leimaavat sitä. Näin on varsinkin silloin, jos laitokset eivät muodosta tuulipuistoa. Tuulivoimalaitosten lukumäärä on mahdollisuuksien mukaan suositeltavaa optimoida käyttämällä tarkoitukseen parhaiten soveltuvaa laitossyksikön teholuokkaa. Laitosten sijoittaminen ryhmiin on yleensä maisemallisesti parempi vaihtoehto kuin yksittäisten tuulivoimalaitosten hajasijoitus.

4. Tuulivoimalaitosten koko ja väri

Yleensä ottaen voidaan sanoa, että suuremmalla laitoksella on suurempi vaikutus maisemaan. Pienempi laitos tulee helpommin ikään kuin ”luonnolliseksi” osaksi maisemaa. Toisaalta suurempia tuulivoimalaitoksia tarvitaan vähemmän saman energiamäärän tuottamiseen verrattuna pienempiin tuulivoimalaitoksiin. Tuulivoimalaitosten kokoluokka on syytä suhteuttaa maisemaan. Esimerkiksi teollisuusalueille suuret tuulivoimalaitokset sopivat hyvin. Vaaleat, vähän huomiota herättävät värit ovat kokemusten perusteella ihmisten mielestä parhaita. Värisävyä olennaisempaa on kuitenkin se, onko laitoksen väri mattapintainen vaiko kiiltäväpintainen. Suositeltavaa on käyttää mattapintaisia pintamateriaaleja, sillä kiiltävä pinta näkyy huomattavasti mattaa selvemmin.

5. Lapojen lukumäärä

Kaavoitus- ja lupaviranomaiset ovat toisinaan esittäneet, että kolmilapaiset tuulivoimalaitokset antavat, varsinkin suurissa tuulipuistoissa, tasapainoisemman vaikutelman kuin kaksilapaiset. Tästä asiasta ei kuitenkaan voida antaa mitään ehdotonta suositusta. Nykyään tuulivoimalaitokset ovat lähes poikkeuksetta kolmelapaisia. Tähän kehitykseen on osaltaan vaikuttanut viranomaisten ja yleisön näkemys kolmilapaisten ”tasapainoisuudesta” kaksilapaisiin verrattuna.

6. Laitoksen toimivuus

Ihmisille tuulivoimasta muodostuvien mielikuvien kannalta on tärkeää, että tuulivoimalaitokset ovat mahdollisimman paljon toiminnassa. Jos ihmiset kokevat, että laitokset ovat jatkuvasti pysähdyksissä, kyseenalaistavat he koko tuulivoimantuotannon mielekkyyden. Tällä perusteella voidaan suositella tuulivoimalaitoksia, jotka käynnistyvät mahdollisimman alhaisilla tuulen nopeuksilla.

7. Pyörimisnopeus ja -suunta

Tuulivoimalaitosten liike lisää niiden aiheuttamia maisemavaikutuksia siinä mielessä, että liike luo rauhattomamman vaikutelman kuin liikkumaton laite tai rakennelma. Liikkeen tuomaa rauhattomuutta voidaan minimoida ja tasapainoisempaa vaikutelmaa lisätä sillä, että tuulivoimalaitokset pyörivät samaan suuntaan. Myös pyörimisnopeudella on merkitystä. Liian nopea pyörimisnopeus lisää maisemavaikutusta siten, että ihminen kiinnittää laitoksiin helpommin huomiota, jos liike ei

vastaa mielikuvaa ”normaalista”. Isoilla tuulivoimalaitoksilla on hitaampi pyörimisnopeus kuin pienemmällä tuulivoimalaitoksilla.

Tuulivoimalaitosalueen visuaalista ilmettä voidaan muokata myös alueen muu maankäyttö huomioon ottaen. Esimerkiksi Kotkan Mussalon sataman läheisyyteen rakennettavan tuulipuiston yhteyteen rakennetaan yleisölle avoin viheralue, jolle Taideteollinen Korkeakoulu suunnittelee valaistukseen ja väreihin perustuvan oman ilmeen. Oloksen tuulipuistoon Muonioon on laitosten ympäristöön tehty luontopolku, ympäristötaidetta ym.

Erillisenä kysymyksenä visuaalisten vaikutusten tarkastelussa on vielä tuotava esiin tuulivoimalaitosten joissain tilanteissa aiheuttama valon/varjon vilkkuminen. Auringon paistaessa tuulivoimalaitoksen takaa aiheuttaa lapojen pyöriminen vilkkuvan varjon, joka voi ulottua useiden satojen metrien päähän laitoksesta (auringon noustessa tai laskiessa). Tämän vaikutuksen alue on helppo laskea ja ottaa huomioon laitosten tarkkoja sijoituspaikkoja suunniteltaessa. Koska Suomessa auringon nousu- ja laskuajat sekä zeniittikulma vaihtelevat voimakkaasti vuodenajan mukaan, on esim. lähimpien asuinrakennusten kannalta ongelmallisia ajankohtia yleensä verraten harvoina päivinä vuodessa. Laitokset voidaan tarvittaessa ohjelmoida pysähtymään tarvittavaksi ajaksi (esim. puolen tunnin ajaksi) naapureiden kannalta kriittisinä päivinä, jolloin ongelma voidaan välttää ilman havaittavia tuotantotappioita.

Myös pyörivistä lavoista heijastuva aurinko voi saada aikaan välkehtimistä, joka voi näkyä erittäin kauas. Tuulivoimalaitoksissa käytetään nykyisen lähes poikkeuksetta mattapinnoitteita, jotka eivät aiheuta kovin voimakkaita heijastuksia.

5.5.2 Melu

Tuulivoimalaitoksen käyntiääni voidaan jakaa mekaaniseen ja aerodynaamiseen ääneen. Aerodynaamisella äänellä tarkoitetaan siipien liikkeestä aiheutuvaa viuhunaa. Mekaanisella äänellä tarkoitetaan puolestaan tuuliturbiinin koneiston käymisestä syntyvää ääntä. Uusimmissa tuulivoimalaitosmalleissa mekaaninen ääni on teknisillä ratkaisuilla saatu lähes kokonaan eliminoitua, eikä se tasamaalla yleensä erotu luonnollisesta taustakohinasta (tuuli, aallot) 100 - 200 m kauempana laitoksesta, mahdollisia vikatilanteita lukuunottamatta. Aerodynaamista melua taas on pystytty rajoittamaan mm. lapojen muotoilulla sekä käyttämällä hitaampaa pyörimisnopeutta alhaisilla tuulennopeuksilla.

Tuulivoimalaitoksesta aiheutuvan äänen kannalta ongelmallisimpia ovat verraten hiljaiset tuulennopeudet; käynnistysnopeudesta (noin 3 - 4 m/s) noin 8 m/s tuulennopeuteen. Tuulen aiheuttama taustamelu kasvaa tuulen voimistuessa selvästi nopeammin kuin tuulivoimalaitoksen aiheuttama melu, joten yli 10 m/s tuulennopeuksilla laitoksen käyntiääni erottuu tuulen kohinasta enää ainoastaan laitosten välittömässä läheisyydessä.

Yksittäisen tuulivoimalaitoksen aiheuttama (laskennallinen) lähtömelutaso laitoksen napakorkeudella on uusimmilla laitosmalleilla 97 - 103 dB, suurten (noin 1,5 MW) laitosten edustaessa haarukan yläpäättä. Laskennallinen lähtömelutaso

määritetään siten, että kaiken laitoksen aiheuttaman melun oletetaan olevan peräisin yhdestä pistemäisestä lähteestä roottorin keskipisteessä. Todellinen melutaso ei siis ole näin korkea missään kohdassa laitoksen konehuoneen ulkopuolella. Tornin juurella, välittömästi roottorin alapuolella, vallitseva melutaso on luokkaa 60 dB.

Tuulivoimalaitoksen aiheuttaman meluvaikutuksen merkittävyys riippuu sen itse aiheuttaman äänitason lisäksi tuulivoimalaitoksen sijainnista (äänen eteneminen ympäristöön), tuulivoimalaitoksen ja häiriintyvien kohteiden välisestä etäisyydestä, laitosten lukumäärästä ja keskinäisistä etäisyyksistä, maaston pinnanmuodoista, sekä alueen taustamelusta.

Erilaisten melun häiritsevyydestä tehtyjen tutkimusten ja melun ohjearvojen perusteella voidaan sijoitussuunnittelussa jonkinlaisena sääntönä pitää, että tuulivoimalaitoksen tai -puiston aiheuttaman äänen voimakkuus lähimmässä häiriintyvässä kohteessa ei saisi ylittää 40 dB (A). Puhuttaessa yksittäisestä, viimeisintä mallia olevasta tuulivoimalaitoksesta alittuu em. taso (tasamaalla) noin 250 - 400 metrin etäisyydellä laitoskoosta riippuen. Jos laitoksia on useita, kasvaa alitukseen vaadittava etäisyys. Käytännössä taso 40 dB (A) tarkoittaa sitä, että ulkona sen juuri ja juuri kuulee paljaalla korvalla, ja viimeistään tuulennopeuden ylittäessä 8 - 10 m/s ääni hukkuu tuulen taustakohinaan. Sisätiloihin ko. äänen voimakkuudet eivät kuulu lainkaan.

On kuitenkin syytä korostaa, että yllä esitetyt arviot pätevät tasamaalla ja neutraalin säätilan vallitessa. Stabiilissa säätilanteessa ja vaihtelevassa maastossa voi melu kantautua huomattavasti kauemmas.

Taulukko 4 Tuulivoimalaitoksen aiheuttaman melun vaimeneminen maan pintatasolla etäisyyden funktiona (äänen lähtötaso konehuoneen korkeudella). Taulukko on laskettu tasaiselle pinnalle ja neutraalin säätilan vallitessa.

| 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 |

Vertailun vuoksi todettakoon, että olohuoneen normaali melutaso on noin 50 dB, toimiston 60 dB, ja makuuhuoneen melutaso yöllä noin 30 dB.

Laitosten lukumäärä vaikuttaa meluarvoihin siten, että kahden laitoksen aiheuttama melutaso on 3 dB suurempi kuin yhden, mikä merkitsee sitä, että tietty melutaso alittuu noin 30 % kauempana kahdesta laitoksesta kuin yhdestä. Käytännössä ero on pienempi, koska laitosten välinen etäisyys (tyypillisesti 200 - 300 m) pienentää niiden yhteisvaikutusta. Useamman kuin kahden laitoksen tapauksessa melutason suhteellinen lisäys on edelleen pienempi, koska laitosten välisistä etäisyyksistä johtuen vain muutaman lähinnä olevan laitoksen aiheuttama melutaso on huomioitava.

Herkillä alueilla on hyvä pyrkiä valitsemaan käyntiääneltään mahdollisimman hiljainen laitos. Pyydettyessä tarjouksia laitetoimittajilta on hyvä esittää, min-kälaiset melupäästökriteerit laitosten olisi täytettävä. Näin päästään yhteistyössä laitetoimittajien kanssa etsimään herkälle alueella paras mahdollinen ratkaisu.

5.5.3 Vaikutukset eläimiin

Jos tuulivoimalaitokset pystytetään sellaiselle alueelle, jossa esiintyy tuulivoimahankkeesta mahdollisesti häiriytyviä eläinlajeja, on sijoituspaikan valintaan kiinnitettävä erityistä huomiota. Tuulivoimalaitosten liike ja liikkeestä aiheutuva ääni pe-lottavat herkimät eläinlajit pois laitosten läheisyydestä. On kuitenkin arvioitu, et-tä useimmat eläinlajit ajan myötä tottuvat tuulivoimalaitoksiin. Kaikkein herkimpi-en lajien suhteen ei välttämättä ole näin, vaan ne saattavat kadota tuulivoimalaitos-ten läheisyydestä kokonaan, erityisesti jos niiden pesintä häiriytyy.

Tuulivoimalaitosten sijoittelua suunniteltaessa on syytä välttää sellaisia aluei-ta, joilla tuulivoimahankkeesta mahdollisesti häiriytyvän eläinlajin tiedetään pesi-vän. Pesinnän häirinnällä voi olla suuremmat ekologiset seuraukset kuin muualla eläinlajin elinalueella aiheutettavalla häiriöllä.

Tuulivoimalaitosten vaikutuksista eläinlajeihin on eniten kiinnitetty huo-miota lintuihin. Tuulivoimalaitosten vaikutukset alueen linnustoon aiheutuvat pääasiassa lintujen törmäämisriskistä sekä käyntiäänien ja lapojen liikkeen häiritse-västä vaikutuksesta pesintään ja ravinnon etsimiseen. Lintujen pesinnälle tai ravin-non hankinnalle ei kaikkein arimpia lajeja lukuunottamatta ole todettu laitoksista aiheutuvan haittaa. Joidenkin lintujen on todettu jopa pesivän laitosten konehuo-neissa ja torneissa, mikä on osaltaan johtanut konehuoneiden tiiviimpään kote-lointiin sekä luopumiseen ristikkorakenteisista torneista.

Törmäysriskin suhteen on havaittu, että paikallislinnut tottuvat tuulivoima-laitoksiin ja osaavat lähes poikkeuksetta väistää niitä. Kilometrin mittainen tuuli-voimalarivi aiheuttaa keskimäärin vähemmän lintukuolemia kuin kilometri maan-tietä tai korkeajännitejohtoa. Törmäys saattaa syntyä esim. tilanteessa, jossa peto-lintu syöksyy laitosalueella liikkuvan jyrksijän tai linnun perään.

Myös muuttolinnut osaavat yleensä välttää laitoksia. Muuttoreitti saattaa lai-tosten rakentamisen jälkeen siirtyä lajista riippuen 50 - 500 m. Muuttolintujen levähdyspaikoille sijoitetut laitokset saattavat kuitenkin kertaluontoisesti aiheuttaa runsaasti törmäyksiä, koska muuttolinnut liikkuvat tiheinä parvina ja ovat väsynei-tä muuttomatkaista. Suuret, raskasliikkeiset linnut ovat muita alttiimpia törmäyksil-le. Pahimmat lintuonnettomuudet ovat kuitenkin olleet seurausta poikkeuksellisis-ta olosuhteista; eräässä tapauksessa laitosta oltiin korjaamassa ja se oli valaistu yö-lä, toisessa tapauksessa tuulipuiston vieressä sijaitseva laiton kaatopaikka houkut-teli paikalle valtavia lintuparvia.

Tutkimusten mukaan tuulivoimalaitos ei aiheuta enempää lintukuolemia kuin muut vastaavan kokoiset rakennelmat, toisin sanoen lapojen liike ei olennai-sesti lisää törmäysriskiä. On jopa esitetty, että lapojen liike vähentäisi törmäysris-kiä, koska se tekee tuulivoimalaitokset helpommin havaittaviksi.

Eri maissa tehtyjen lukuisten tutkimusten perusteella on arvioitu, että yksi tuulivoimalaitos aiheuttaisi keskimäärin korkeintaan 6 - 7 lintukuolemaa vuodessa. Tällöin on oletettu, että jokaista kuolleen löytynyttä lintua kohti jää 1,2 kuollutta lintua löytymättä petojen ym. syiden vuoksi /18/. Vertailun vuoksi todettakoon, että esim. Tanskassa liikenteessä kuolee vuosittain vähintään miljoona lintua ja metsästyksen seurauksena osapuulleen yhtä paljon.

Tuulivoimalahankkeissa teiden ja sähkölinjojen rakentamisen ympäristövaikutukset (biotooppien muuttuminen, estevaikutus, pesimä- ym. elintilan pieneneminen) ovat merkittävämpiä kuin tuulivoimaloiden aiheuttama törmäysriski.

Tämän hetken tutkimustulosten valossa tuulivoimalaitosten vaikutuksia eläimiin voidaan lieventää parhaiten sijoitussuunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi tuulivoimalaitosten valaisu pimeällä ei ole auttanut lintujen törmäysalttiuteen, vaan jopa hieman lisännyt sitä. Vaikutukset eläimiin ovat hyvin laji- ja sijoituspaikkakoh- taisia ja voivat vaatia tapauskohtaisia selvityksiä.

Poronhoitoalueella on tuulivoimalaitosten sijoituspaikkoja valittaessa otettava huomioon myös porotalouden harjoittajien näkemykset. Paikallisen paliskunnan yhteystiedot saa helpoiten Paliskuntain yhdistyksestä. Paliskunnan kanssa on syytä keskustella jo varhaisessa vaiheessa sijoituspaikkaa valittaessa, koska tällöin voidaan ristiriidat varmimmin välttää.

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että vasoma-alueita ja tärkeitä porojen vaelusreittejä on syytä välttää, mutta muutoin tuulivoimalaitokset eivät merkittävästi haittaa porotaloutta. Hanketta varten tarvittavan tien rakentaminen on poronhoidon kannalta kriittisempää kuin itse tuulivoimalaitosten rakentaminen ja käyttö. Näin ollen poronhoitoalueella tulisikin pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman paljon olemassaolevia teitä, ja laitoksille johtavat huoltotiet tulisi sulkea puomein ylimääräisen liikenteen estämiseksi.

5.5.4 Vaikutukset kasvillisuuteen ja maaperään

Tuulivoimalaitoshankkeen merkittävimmät vaikutukset sijoituspaikan maaperään ja kasvillisuuteen aiheutuvat rakennusvaiheen aikana. Maaperään kohdistuvat vaikutukset aiheutuvat tie- ja sähkölinjojen rakentamisesta sekä tuulivoimalaitosten perustuksien kallioporauksista. Jos tuulivoimalaitosten suunnitellun sijoituspaikan tai sinne rakennettavien tie- ja sähkölinjojen läheisyydessä tiedetään esiintyvän uhanalaisia tai suojeltuja kasveja, voi olla tarpeen tehdä kasvillisuuskartoitus. Tien rakentamisessa tarvittavan maa-aineksen oton ja tien rakentamisen osalta on syytä selvittää mahdollisten pohjavesialueiden sijainnit. Sähkölinjojen rakentamisen ympäristövaikutuksia voidaan lieventää sijoittamalla johto olemassaolevien ja laitoksia varten jatkettavien teiden varteen. Tarpeen mukaan johto voidaan rakentaa osittain ilmajohtona, osittain maakaapelina.

5.5.5 Vaikutukset tutka- ja viestintäyhteyksiin

Tuulivoimalaitosten aiheuttamat vaikutukset viestintäyhteyksiin ovat suhteellisen harvinaisia. Suomessa tällaiset kysymykset ovat nousset toistaiseksi esiin mm. Enontekiön Hetassa ja Hailuodon Marjaniemessä. Hetassa on tutkittu tuulivoimalaitoksen vaikutuksia puolustusvoimien ilmavalvontatutuksiin ja Marjaniemessä luot-

siaseman merivalvontatutkaan. Kummassakin tapauksessa todettiin, ettei haittavai-
kuttuksia ole. Laitosten todettiin näkyvän tutkissa pieninä pisteinä. Ne eivät aiheut-
taneet taustaheijastumia.

Myöskään radioliikenteelle tuulivoimalaitosten ei ole Suomessa todettu
aiheuttavan häiriötä, lukuunottamatta tuulivoimalaitoksen juurella oltaessa
ilmenevää pientä huojuntaa roottorin liikettä vastaten. Televisiokuvan varjostu-
mat ovat mahdollisia sellaisissa tapauksissa, joissa tuulivoimalaitos jää lähettimen
ja vastaanottimen väliin. Nämä ongelmat ovat kuitenkin ratkaistavissa teknisin kei-
noin. Sijoitettaessa tuulivoimalaitoksia matkapuhelinten tukiasemien, linkkiasemi-
en tms. läheisyyteen on syytä olla riittävän aikaisessa vaiheessa yhteydessä matka-
puhelinoperaattoriin, Yleisradioon ja muihin vastaaviin tahoihin sekä pyytää hei-
dän suostumuksensa sijoittamiselle erilaisen viestintäliikenteen (radio, tv, matka-
puhelimet ym.) häiriöttömyyden varmistamiseksi.

Edellä mainitut vaikutukset ovat kuitenkin koneistokohtaisia ja riippuvat
käytetyistä lapamateriaaleista. Siksi niihin voidaan tapauskohtaisesti joutua kiin-
nittämään enemmänkin huomiota.

5.5.6 Vaikutukset vesiliikenteeseen

Saaristossa ja rannikolla laivaväylien läheisyydessä on syytä ottaa sijoituspaikkoja
valittaessa huomioon vesiliikenne. Laitokset on sijoitettava riittävän kauas väylästä,
jotta vesiliikenne ei häiriytyisi. Eräässä tutkimuksessa riittäväksi etäisyydeksi esitet-
tiin 60 metriä, mutta tässä suhteessa tulee olla yhteydessä merenkulkuhallitukseen
tai paikalliseen merenkulkupiiriin. Samassa yhteydessä voidaan huolehtia siitä, et-
tei vesiliikenteelle aiheuteta muutakaan häiriötä, kuten esimerkiksi haittaa maja-
koiden, loistojen ja väylämerkkien näkyvyydelle.

5.5.7 Maankäyttövaikutukset ja yleinen turvallisuus

Tuulivoimalaitokset vaikuttavat ympäristönsä maankäyttöön siten, että tuulivoi-
mantuotantoa heikentäviä maankäyttömuotoja on rajoitettava. Näihin kysymyk-
siin liittyy myös ihmisiin ja eläimiin kohdistuva yleinen turvallisuus. Rakennettaes-
sa lähelle asuinalueita tai muita vastaavia häiriintyviä kohteita on jo pelkästään me-
lukysymyksistä syytä pitää laitosten ja kohteiden välillä tietty turvallisuusetäisyys.

Kun yleisellä tasolla puhutaan tuulivoimalaitosten turvallisuuskysymyksistä,
tarkoitetaan lähinnä sitä vaaraa, että tuulivoimalaitoksesta irtoaisi jokin osa tai tal-
vella kovaa lunta tai jäätä. Riski irtoilemiseen on hyvin pieni ja vaikka irtoilemisia
tapahtuisikin, on havaittu, että irtoava kappale putoaa yleensä tuulivoimalaitoksen
roottorin halkaisijan sisäpuolelle. Tämän tyyppisen turvallisuuden kannalta riittä-
vänä suojaetäisyytenä pidetään $1,5 \times$ (tornin korkeus + lavan pituus), jos laitoksen
läheisyydessä liikkuu yleisöä. Turvallisuusriski on kuitenkin niin pieni, että esi-
merkiksi maanviljelyä 100 metriä lähempänä tuulivoimalaitosta ei ole syytä rajoit-
taa, mikäli se muuten on mahdollista. Rannikolla jäätyminen voi muodostua
ongelmaksi isoilla laitoksilla. Tuntureilla laitokset varustetaan käytännössä aina
jäänestöjärjestelmällä, joka eliminoi jäistä aiheutuvan vaaran lähes täysin.

Hyvän turvallisuustason ylläpitäminen vaatii ehdottomasti laitosten säännöllistä huoltoa ja kunnossapitoa laitevalmistajien tms. ohjeiden mukaan. Huoltojen laiminlyönnot voivat heikentää turvallisuustasoa nopeasti.

Tuulivoimalaitoksista yleensä, mutta myöskin suositeltavasta turvallisuus-ettäisyydestä, on hyvä esimerkiksi kyltein kertoa alueella liikkuville ihmisille. Näin saadaan tuulivoimalaitokset ihmisille muutenkin tutummiksi.

5.6 Mistä apua maankäyttö-, lupa- ja ympäristöasioissa

Niin rakennuslupa- kuin ympäristökysymyksissäkin on paikallistuntemus valttia. Suunnitteilla olevan sijoituspaikan ympäristöön kannattaa tutustua omakohtaisesti ja keskustella alueen ihmisten kanssa heidän suhtautumisestaan tuulivoimaan. Näin saadaan kuva alueen nykytilanteesta ja osataan paremmin kohdistaa lisäselvityksien tarpeet.

Tuulivoimahankkeisiin liittyen merkittävin lupakysymys on rakennuslupamenettely. Siinä nivoutuvat yhteen maankäytölliset tekijät, kaavoitus ja itse rakennusluvan saanti. Parhaiten lisätietoja tähän asiaan liittyen saa kunnan rakennusviranomaisilta. Kunnasta voi jo hankkeen suunnittelun alkuvaiheessa kysellä, miten hankkeeseen mahdollisesti suhtauduttaisiin, jos sellainen olisi jollekin tietylle alueelle tulossa. Aivan ensimmäiseksi sijoituspaikan soveltuvuutta kannattaa ehkä tiedustella kunnan kaavoituksesta vastaavilta viranomaisilta. Sieltä voi kysellä kaavoitustilannetta, sijoituspaikan aluevarauksia ja sitä kuinka tiukasti jollakin kaavalla mahdollisesti halutaan suojella jotakin aluetta. Myös maakuntien liitot ovat hyvä tietolähde mm. jo siksi, että maakuntakaavoituksen yhteydessä laaditaan erilaisia taustaselvityksiä. Näitä tekijöitä tulisi selvittää jo esiselvityksen tai aluekartoituksen yhteydessä (ks. luku 3).

Ympäristövaikutuksiin liittyvissä kysymyksissä voidaan kääntyä kaupungin tai kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen puoleen. Monissa kaupungeissa on esimerkiksi ympäristönsuojelutoimisto, jolla on yleensä käyttökelpoista materiaalia seudun ympäristön tilasta. Heidän asiantuntemustaan kannattaa hyödyntää myös muutoin kuin raportteihin tutustumalla. Luonnonsuojeluun liittyvissä asioissa kannattaa ottaa yhteyttä alueelliseen ympäristökeskukseen. Viranomaisilta saatava tieto voi usein olla täysin riittävää hankkeen ympäristövaikutusten arvioimiseksi. Lisätietojen tarpeessa voi kääntyä erilaisten tutkimuslaitosten ja yhdistysten puoleen.

Puolueetonta asiantuntija-apua kaikkiin näihin kysymyksiin saa myös konsulteilta. Lupaprosessin läpiviemisen ja ympäristöselvityksen laatimisen voi antaa konsultin tehtäväksi, jolloin konsultti hoitaa kaikki tarvittavat yhteydenotot ja tiedonhankinnan.

6 Tuulivoimalaitoksen valinta

6.1 Tuulivoimalaitostyytit

Tällä hetkellä markkinoilla on toistakymmentä kansainvälisesti operoivaa tuulivoimalaitosten valmistajaa, joiden valikoimissa on eri tyyppisiä laitoksia eri kokoluokissa. Näiden lisäksi on runsaasti lähinnä paikallisille markkinoille (Saksa, Espanja, Italia, Intia...) keskittyneitä pienempiä valmistajia, joiden käytännön mahdollisuudet kotimaansa ulkopuolelle tapahtuviin laitetoimituksiin ovat rajalliset.

Kaupalliset laitokset ovat tällä hetkellä lähes poikkeuksetta kolmelapaisia vaaka-akselisia laitoksia, joiden roottori on torniin nähden tuulen yläpuolella.

Kaksilapaisista laitoksista on tällä hetkellä luovuttu lähes kokonaan, mutta niitäkin saatetaan tuoda uudestaan markkinoille erityisesti offshore-sovelluksiin. Yksilapaisiakin laitoksia on valmistettu. Pystyakselisia laitoksia on kokeiltu, mutta konsepti on toistaiseksi osoittautunut suurissa laitoskokoluokissa teknisesti ongelmalliseksi.

Laitokset voidaan jakaa eri tyypeihin sen mukaan, miten niiden tuottamaa tehoa rajoitetaan suurilla tuulennopeuksilla. Päätyypit ovat sakkaukseen perustuva ja lapakulman säätöön perustuva tehonrajoitus. Niin sanottu aktiivinen sakkauksäätö pyrkii yhdistelemään kummankin pääperiaatteen hyviä puolia. Roottorin pyörimisnopeuden mukaan laitokset puolestaan voidaan jakaa vakio-, kaksi- ja muuttuvanopeuksiin. Voimansiirtomekanismin mukaan laitokset voidaan edelleen jakaa vaihteellisiin ja vaihteettomiin.

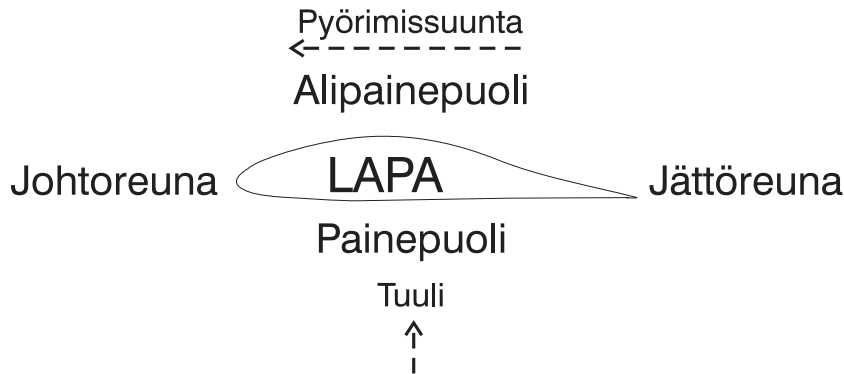
Laitostyyppiä valittaessa on syytä varmistaa, että ko. laitostyyppi on kunnolla testattu ja sillä on tyyppihyväksyntä. Tyyppihyväksynnän myöntäviä viranomaisia ovat mm. Risørn testausasema Tanskassa, Germanischer Lloyd, Hollannissa sijaitseva ECN, sekä Det Norske Veritas. Tyyppihyväksyntä ei kuitenkaan takaa sitä, että kaikki kyseistä laitostyyppiä edustavat yksittäiset laitokset automaattisesti täyttävivät tyyppihyväksynnän edellyttämät vaatimukset. Tähän palataan myöhemmin luvussa 7.6.

6.1.1 Roottorin toiminta tehon rajoittajana – sakkaurajoitus, aktiivinen sakkaurajoitus tai lapakulmasäätöön perustuva rajoitus

Lavan pyörimissuunnan etureunaa nimitetään johtoreunaksi ja takareunaa jättöreunaksi. Lavan tuulen puoleista tasoa nimitetään painepuoleksi ja vastakkaista puolta alipainepuoleksi, kuten kuvassa 10 on esitetty.

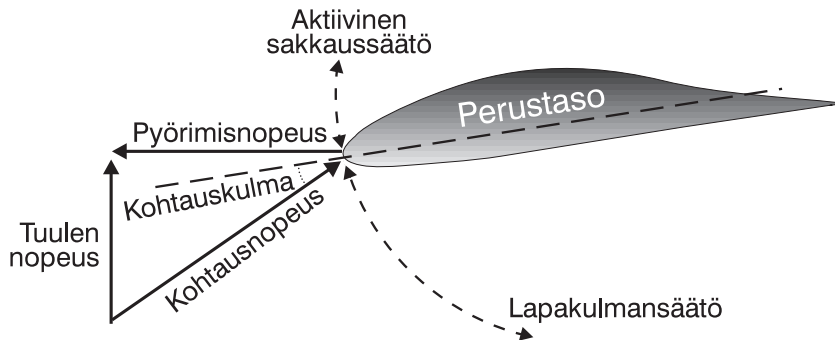
Tuulivoimalaitoksen koneisto on mitoitettu tietylle teholle ns. nimellisteholle. Tuulen nopeutta, jolla mitoitettu nimellisteho saavutetaan, sanotaan nimellistehotuulennopeudeksi. Tuulen nopeuden ylittäessä nimellistuulennopeuden laitoksen tuottamaa tehoa aletaan rajoittaa, jotta laitos ei toimisi ylisuurella teholla. Nimellistuulennopeus pyritään valitsemaan siten, että säästetyillä valmistuskustannuksilla

pystytään kompensoimaan tehonrajoituksen vuoksi menetetty energiantuotto. Koska jälkimmäinen tekijä riippuu kunkin sijoituskohteen tuuliolosuhteista, tarkemmin sanoen tuulen nopeusjakaumasta, on laitoksen valinta aina sijoituskohdespesifinen kysymys. Toiset laitostyypit soveltuvat paremmin kovatuulisiin, toiset vähätuulisempiin kohteisiin. Käytännössä monilla valmistajilla on standardimallin lisäksi pitkälapaisia malleja heikkotuulisiin olosuhteisiin ja lyhyempilapaisia kovatuulisiin paikkoihin. Myös kiinteälapakulmaisia laitoksia pystytään ”virittämään” juuri kyseisen kohteen tuulet optimaalisesti hyödyntäväksi säätämällä lapakulma-asetuksia muutaman ensimmäisen toimintakuukauden kokemusten perusteella.



Kuva 10 Tuulivoimalalaitoksen lapaprofiiliin liittyvät nimitykset.

Tehon rajoittaminen voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla: sakkaukseen perustuen, aktiivisella sakkaussäädöllä tai lapakulman säädöllä. Kaikki rajoitustavat perustuvat lavan ja tuulen välisen kohtauskulman muuttumiseen.



Kuva 11 Lavan ja tuulen kohtauskulma.

Megawattikokoluokan laitoksissa roottorin halkaisija on luokkaa 60 metriä ja lavan kärkinopeus yli 200 km/h. Lavoissa on geometrista kiertoa, jolla pyritään siihen, että kohtauskulma pysyy mahdollisimman optimaalisena koko lavan mitalla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että lavan tyvessä lavan perustaso on lähes tuulen suuntainen kääntyen kärkeä kohti mentäessä yhä enemmän pyörimissuuntaan.

Sakkausrajoitus ("stall")

Perinteisesti tehoa on rajoitettu passiivisella sakkauksella: Tuulen nopeuden kasvaessa ja lavan pyörimisnopeuden pysyessä vakiona tuulen kohtauskulma pyörivään lapaan nähden kasvaa. Kohtauskulman kasvaessa riittävän suureksi siiven tyhjiöpuolella virtaus muuttuu laminaarisesta turbulenttiseksi, eli lapa alkaa sakata, jolloin lavan hyötysuhde pienenee. Nimellistuulennopeuteen vaikuttavat lavan siipi-profiili, roottorin pyörimisnopeus ja lavan kiinteä asetuskulma.

Kun sakkaus alkaa, putoaa teho aluksi tuulennopeuden kasvaessa. Tietyn rajan jälkeen lavan taakse syntyvät pyörteet eivät enää pysty rajoittamaan tehon kasvua tuulennopeuden yhä kasvaessa, ja teho kääntyy jyrkkään nousuun. Viimeistään siinä vaiheessa kun nimellisteho on uudelleen saavutettu, laitos tulee pysäyttää vaurioiden estämiseksi. Pysäytys tapahtuu automaattisesti ja se perustuu yleensä tuotetun tehon seurantaan; kun teho on tietyn ajan pysynyt tiettyä raja-arvoa suurempana, laitoksen pysäytysmekanismina toimivat kärkijarrut kytkeytyvät päälle.

Kiinteälapakulmaisten laitosten yksi ylimääräinen riskitekijä ovat tietyissä sakkaustilanteissa syntyvät itseään vahvistavat värähtelyt, jotka saattavat johtaa lapojen rikkoutumiseen. Ongelma on noussut esiin laitoskokojen suurentuessa, koska lapojen pidentyessä painovoiman vaikutuksesta syntyvät, lapojen pyörimissuunnassa esiintyvät värähtelyt tulevat yhä vaikeammiksi hallita. Tuhoisat värähtelytilanteet voidaan käytännössä varsin tehokkaasti estää konehuoneeseen ja napaan asennettavilla värähtelyantureilla, jotka pysäyttävät laitoksen vaaratilanteissa. Tällöin kuitenkin menetetään tuotantoa, ja tietyissä olosuhteissa laitos saattaa pysähdellä lähes jatkuvasti. Toinen tapa vähentää värähtelyjä ovat erilaiset lapaprofiilin modifikaatiot, joilla sakkausta pystytään hallitsemaan paremmin. Myös lapoihin asennettavia mekaanisia vaimentimia on kokeiltu menestyksellisesti.

Toinen sakkauslaitosten ongelma on sakkausominaisuuksien muuttuminen vallitsevien sääolosuhteiden (lämpötila, ilmanpaine ja -kosteus), turbulenssin, jäätymisen, lavan likaantumisen jne. mukaan. Kylmä ilma on tiheämpää kuin lämmin, jolloin sakkaussäätöinen laitos tuottaa helposti ylitehoja tuulisina talvipäivinä. Tämä kannattaa huomioida erityisesti Suomen kaltaisissa ilmasto-oloissa. Ylitehot saattavat johtaa laitoksen toistuvaan pysähtelyyn tai (jos pysäytysrajaa nostetaan pysähtelyn välttämiseksi) mekaanisten ja/tai sähköisten komponenttien ylikuormittumiseen ja laiterikkoihin. Toistuvat pysäytykset ja käynnistykset lyhentävät niinkään mekaanisten ja sähköisten komponenttien elinikää (ja pienentävät hyödyksi saatavaa talviaikaista tuotantoa).

Lapakulmasäätöön perustuva tehonrajoitus ("pitch control")

Lapakulmasäätöisessä laitoksessa lapakulmaa säädetään seuraamalla laitoksen tuottamaa tehoa siten, että alle nimellistehotuulennopeudella toimittaessa lapakulma pyritään pitämään optimissaan. Lapakulma elää hieman, kun laitos koko ajan etsii parasta mahdollista tuotantoa. Joissakin laitoksissa lapakulma säätö tapahtuu erikseen jokaisessa lavassa.

Tuulen nopeuden ollessa nimellistehonopeutta suurempi lapa kääntyy tuuleen päin, kohtauskulma pienenee optimista, ja lavan hyötysuhde laskee. Suurilla tuulennopeuksilla laitoksen teho pidetään koko ajan mahdollisimman lähellä nimellistehoa. Kun tuulen nopeus kasvaa yli maksimituulennopeuden, laitos pysäyttää itsensä kääntämällä lavat tuulen suuntaiseksi, johtoreuna tuuleen päin (kohtauskulma 0°).

Lapakulmasäätöinen laitos toimii pienillä tuulennopeuksilla paremmalla hyötysuhteella kuin laitos, jonka lapakulma on kiinteä. Suurella tuulennopeudella lapakulman muutokset aiheuttavat nopeita tehonvaihteluita, varsinkin tuulen ollessa puuskittaista. Näitä on onnistuttu hillitsemään toisaalta asentamalla kullekin lavalle erillinen säätömekanismi, ja toisaalta sallimalla pyörimisnopeuden rajallinen vaihtelu puuskissa.

Itseään vahvistavia värähtelyjä ei lapakulmasäätöisissä laitoksissa esiinny, koska niiden syntyyn vaaditaan sakkaustilanne.

Aktiivinen sakkausrajoitus ("active stall")

Alle nimellistuulennopeudella aktiivisakkaussäätöinen laitos toimii samoin kuin lapakulmasäätöinen tuulivoimalaitos; laitos optimoi lapakulmaa, jolloin saavutetaan kiinteälapakulmaiseen roottoriin verrattuna jonkin verran korkeampi hyötysuhde. Kun tuulen nopeus ylittää nimellistuulennopeuden, lapa alkaa sakata kuten passiivisessa sakkausrajoituksessa, mutta sakkauksen määrää säädellään muuttamalla lavan asetuskulmaa siten, että suurilla tuulennopeuksilla voimalaitos toimii kaiken aikaa lähellä nimellistehoa. Lapakulmasäätöisen laitoksen tavoin myöskään aktiivisakkauslaitoksessa ei esiinny yliteho-ongelmia kylmissä lämpötiloissa.

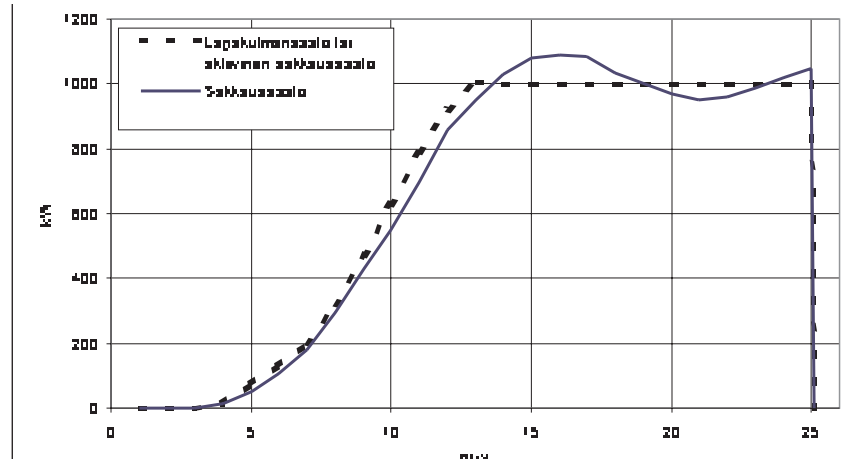
Kun tuulen nopeus kasvaa yli maksimituulennopeuden, laitos pysäyttää itsensä kääntämällä lavat tuulen suuntaiseksi, jättöreuna tuuleen päin (kohtauskulma 180°).

Itseään vahvistavia värähtelyjä esiintyy aktiivisessa sakkausrajoituksessa huomattavasti vähemmän kuin perinteisessä sakkausrajoituksessa; lapakulman jatkuva "eläminen" estää tehokkaasti vaarallisten resonanssien synnyn.

Aktiivisen sakkaussäädön ja lapakulmasäädön ero suurella tuulennopeudella on, että lavat kääntyvät niissä eri suuntiin (ks. kuva 11), jolloin molemmissa tapauksissa lavan hyötysuhde pienenee ja laitoksen tehoa saadaan hallittua. Lapakulmasäätöinen laitos vaatii selvästi suurempia lapakulman muutoksia, etenkin tuulen vaihdellessa nimellistuulennopeuden molemmin puolin.

Lapakulmasäädöllä ja aktiivisakkauksella varustettu laitos toimii alle nimellistuulennopeudella hieman paremmalla hyötysuhteella kuin kiinteälapaiset sakkausrajoituksiset laitokset. Nimellistuulennopeudella ja sitä suuremmilla tuulennopeuksilla lapasäätöinen ja aktiivisella sakkauksella varustettu laitos toimii tasaisella maksimiteholla (tarkasteltaessa 10 minuutin keskitehoa; lyhyellä aikavälillä näidenkin laitosten tuottama teho vaihtelee). Sakkausrajoituksinen laitos saavuttaa huipputehon nimellistuulennopeudella ja teho pienenee tuulen kasvaessa, kun sakkaus alkaa. Vielä suuremmalla tuulella sakkausrajoitteisen laitoksen teho alkaa kasvaa sakkauksesta huolimatta. Kuvassa 12 on esitetty esimerkinomainen yhteenveto eri rajoitusmekanismeilla varustettujen 1 MW laitosten tehokäyristä.

Tehonrajoitus vaikuttaa osaltaan myös kullekin laitostyypille ominaisen huipunkäyttöajan määrääntymiseen; jos tehoa aletaan rajoittaa alhaisemmillä tuulennopeuksilla (ts. jos nimellistehotuulennopeus on pienempi), laitoksella saavutetaan samoissa tuuliolosuhteissa suurempi huipunkäyttöaika kuin laitoksella, jonka nimellistuulennopeus on suurempi. Tällöin luonnollisesti menetetään tehonrajoituksen vuoksi enemmän energiaa suurilla tuulennopeuksilla.



Kuva 12 Sakkauksrajoituksen sekä aktiivisella sakkauksaädöllä ja lapakulmasääteillä varustettujen tuulivoimalaitosten esimerkinomaiset tehokäyrät.

Kumpaakaan kahdesta perustyyppistä (kiinteälapainen, kääntyvälapainen) ei voida yksiselitteisesti pitää toista parempana. Valinta riippuu monista tekijöistä, joista osa on subjektiivisia arvostustekijöitä. Huoltokustannusten ja vikautuvuuden osalta ei kattavaa, puolueetonta vertailuaineistoa ole saatavilla, joten laitostyyppien erot tässä suhteessa ovat enemmän tai vähemmän spekulatiivisia.

Lapakulmasääteisen ja aktiivisakkauksella varustetun laitoksen hyviä puolia sakkauksrajoitukseen verrattuna:

- Pienemmät rasitukset; tästä johtuen on mahdollista saavuttaa kevyempi rakenne
- Pienemmät rasitukset myös laitoksen ollessa lepotilassa
- Ei tarvita erillistä pysäytysmekanismia
- Pysäytys voidaan tehdä ”pehmeästi”, koneisto rasittuu vähemmän
- Ei jatkuvien ylitehojen aiheuttamia ongelmia kylmissä lämpötiloissa
- Tehokäyrä on suhteellisen tarkasti ennustetun mukainen
- Laitos käynnistyy alhaisemmillä tuulennopeuksilla
- Parempi hyötysuhde sekä pienillä että suurilla tuulennopeuksilla
- Edellisistä johtuen hieman parempi tuotto roottorin kokoon nähden

Huonoja puolia:

- Monimutkainen rakenne, paljon liikkuvia osia, näin ollen mahdollisesti enemmän vikautumisriskejä ja suuremmat huoltokustannukset
- Kalliimpi hinta kilowattia kohti

6.1.2 Vakiokierrosnopeus, kaksinopeuksinen tai muuttuva kierrosnopeus

Kaupallisista laitoksista valtaenemmistö on vakio- tai kaksinopeuksisia, mutta tulevaisuudessa muuttuvanopeuksisten markkinaosuus saattaa kasvaa. Tällä hetkellä eriasteisesti muuttuvanopeuksisia laitoksia on saatavilla jo useilta toimittajalta.

Kaupallisten muuttuvanopeuksisten laitosten tehonrajoitus perustuu lapakulmansäätöön, mutta myös sakkausrajoituksisia muuttuvanopeuksisia laitoksia kehitellään.

Vakionopeuksisessa laitoksessa roottori pyörii vakionopeudella tuulennopeudesta riippumatta. Roottorin pyörimisnopeus määräytyy verkon taajuudesta (50 Hz), generaattorin napaluvusta ja vaihteiston välityssuhteesta. Tyypillinen pyörimisnopeus on 500 - 600 kW laitoksilla 25 - 30 rpm ja 1 - 1,5 MW laitoksilla 15 - 25 rpm. Asynkronigeneraattorin magnetointia kasvatetaan tuulennopeuden kasvaessa, jolloin generaattori jarruttaa roottoria suuremmalla voimalla, ja ulos saatava teho kasvaa. Koska vakionopeuksisen laitoksen roottori toimii maksimi-hyötysuhteella vain tietyllä tuulennopeudella, jää keskimääräinen hyötysuhde pienemmäksi kuin muuttuvanopeuksisella laitoksella.

Muuttuvanopeuksisten laitosten pyörimisnopeuden määrää koneisto itse. Vakiona ei pysy pyörimisnopeus, vaan pyörimisnopeuden ja tuulennopeuden suhde eli kärkinopeussuhde (tip speed ratio, TSR). Tämän ansiosta kärkinopeussuhde säilyy jatkuvasti lähellä optimia ja roottori toimii lähellä maksimihyötysuhdetta tuulennopeudesta riippumatta. Optimaalinen kärkinopeussuhde on tyypillisesti luokkaa 7 - 8, eli tuulennopeudella 5 m/s muuttuvanopeuksisen laitoksen lavan kärjen nopeus on luokkaa 35 - 40 m/s ja tuulennopeudella 10 m/s luokkaa 70 - 80 m/s.

Käytännössä kaikkein nopeimpien tuulennopeuden vaihteluiden seuraaminen ei ole mahdollista. Lisäksi roottorin pyörimisnopeuden ei anneta (tuulen nopeuden kasvaessa) enää kasvaa, kun nimellisteho on saavutettu. Useimmat laitokset toimivat pyörimisnopeusalueella noin 1:2, mikä vastaa tuulennopeuksia käynnistysnopeudesta nimellistehonopeuteen.

Muuttuvanopeuksisten laitosten tuottamaa sähköä ei voida suoraan syöttää verkkoon. Yleensä tuotetaan vaihtuvataajuuksista vaihtovirtaa, joka tasasuunnataan ja invertoidaan sen jälkeen verkkotaajuiseksi vaihtovirraksi. Myös muut menetelmät ovat mahdollisia.

Energiantuotannossa saavutettu lisähyöty vakionopeuksiseen laitokseen verrattuna on suhteellisen vaatimaton. Kun vielä otetaan huomioon ylimääräiset (tehoelektronikan aiheuttamat) tehohäviöt, jää lisähyöty 3 - 5 % tasolle.

Muuttuvanopeuksisen laitoksen hyviä puolia:

- Parempi hyötysuhde verrattuna vakionopeuksiseen laitokseen
- Hitaasta pyörimisnopeudesta johtuen hiljaisempi käyntiäni alhaisilla tuulennopeuksilla
- Optimaalinen tuotanto sijoituspaikasta riippumatta
- Lavoista voidaan tehdä kapeampia ja kevyempiä
- Myös torni saadaan kevyemmäksi
- Laitoksen tuottamaa reaktiivista tehoa voidaan säätää

- Tehoelektronikan komponenttien kehittyminen ja halpeneminen mahdollistanevat suuren kehityspotentiaalin tulevaisuudessa

Huonoja puolia:

- Monimutkainen rakenne ja tästä johtuen mahdollisesti suurempi vikautumisherkkyys ja myös korkeat huoltokustannukset
- Toistaiseksi vielä kallis ratkaisu (mk/kW)
- Kiihtyvyysoimien aiheuttamat pyörimissuuntaiset rasitukset voivat mahdollisesti lyhentää lapojen elinikää

Eräiden laitosvalmistajien kehittämissä konsepteissa muuttuva kierrosnopeus toimii vain tietyllä tuulennopeusalueella; esim. vain tehokäyrän nousevalla osalla, jolloin saavutetaan parempi hyötysuhde alhaisilla tuulennopeuksilla, tai vain nimellistehonopeutta suuremmilla tuulennopeuksilla, jolloin pyörimisnopeuden muutokset auttavat nopeiden tehonvaihteluiden rajoittamisessa.

Kaksinopeuksiset laitokset tarjoavat monia muuttuvanopeuksisen etuja ilman säätösystemin monimutkaisuuden ja tehoelektronikan tuomia ongelmia, ja konsepti onkin tällä hetkellä markkinoiden yleisin. Kaksinopeuksiset pyörivät hitaasti 7 - 8 m/s tuulennopeuteen asti, minkä jälkeen pieni (yleensä kuusinaipainen) generaattori kytketään pois päältä, ja roottori kiihdyttää nopeutta kunnes saavutetaan suuremman (yleensä nelinapaisen) generaattorin määräämä pyörimisnopeus (joka on siis 50 % suurempi). Näin saadaan pienillä tuulennopeuksilla käyntiääni pidettyä hiljaisena ja lisäksi saavutetaan parempi hyötysuhde energian tuotannossa.

6.1.3 Vaihteeton vai vaihteellinen voimansiirto

Lähes kaikki kaupalliset laitokset perustuvat toistaiseksi mekaanisen ylennysvaihteen käyttöön roottorin (hidas akseli) ja generaattorin (nopea akseli) välissä. Vaihte on yleensä kolmivaiheinen. Vaihteettomia laitoksia on ollut kaupallisesti saatavilla vuodesta -94.

Vaihteettomassa laitoksessa on erittäin moninapainen generaattori, jolloin verkon vaatimaan taajuuteen päästään jo varsin hitaalla pyörimisnopeudella. Tämän ratkaisun olennainen etu vaihteelliseen verrattuna on se, että painavasta, runsaasti huollettavia ja vikautuvia liikkuvia osia sisältävästä vaihdelaatikosta päästään kokonaan eroon. Kääntöpuolena on erikoisgeneraattorin ja tehoelektronikan korkea hinta sekä generaattorin suuri koko ja paino. Erikoisgeneraattorin ja tehoelektronikan huolto on vaativaa, ja nämäkin komponentit voivat olla vikautumisherkkiä. Edellä lueteltujen etujen ja haittojen yhteisvaikutusta käytettävyyteen ja ylläpitokustannuksiin, laitoksen koko käyttöiän yli laskettuna, on vaikea arvioida.

Myös näiden kahden päätyypin yhdistelmäratkaisua, joka koostuu yksi- tai kaksivaiheisesta ylennysvaihteesta ja suhteellisen hitaasti pyörivästä generaattorista, on kehitelty, joskaan sellaista ei vielä ole kaupallisesti saatavilla. Tämän ”hybridiratkaisun” motivaationa on vaihteen ja generaattorin yhteispainon ja -hinnan optimointi.

6.1.4 Kaksi vai kolme lapa

Kolmilapainen konsepti on tällä hetkellä vallitseva roottorityyppi. Kaksilapaisia roottoreita valmistaneet toimittajat ovat lähes täysin siirtyneet käyttämään kolmilapaista ratkaisua. Myös yksilapaisia laitoksia on rakennettu, mutta niiden myyntimenestys on jäänyt vaatimattomaksi.

Roottori toimii optimissaan sitä pienemmällä kierrosnopeudella, mitä pitemmät lavat ovat ja mitä enemmän lapa on. Kolmelapainen roottori toimii pienemmällä kierrosnopeudella kuin kaksilapainen, jolloin melu jää pienemmäksi. Lavan ohittaessa tornin muodostuu lavan ja tornin väliin painekenttä, joka aiheuttaa lapaan värähtelyjä. Kolmelapainen roottori toimii näissä värähtelyissä tasapainoisemmin kuin kaksilapainen, joka tarvitsee roottorin napaan erikoisratkaisuja, jotta värähtelyt eivät vaurioita roottoria. Lisäksi kaksilapaisia laitoksia on moitittu epäesteettisestä ulkonäöstä; kolmilapaisen laitoksen liikettä pidetään yleisesti harmonisempana ja sen sanotaan antavan myös pysähtyneenä levollisemmän vaikutelman.

Vaikka kaksilapainen tyyppi on tällä hetkellä harvinainen, konseptilla on etuja, jotka saattavat tuoda sen takaisin markkinoille varsinkin tulevaisuuden offshore-laitoksiin: kaksilapainen roottori on kolmelapaista kevyempi ja halvempi. Kaksilapaisen roottorin pyörimisnopeus on kolmelapaista suurempi, jolloin vaihteiston välityssuhde saadaan pienemmäksi ja vaihteisto näin ollen kevyemmäksi ja halvemmäksi. Vaikka kaksilapainen roottori aiheuttaa enemmän melua kuin kolmilapainen, offshore-laitoksissa melu ei ole ongelma. Kaksilapaisen roottorin kokoaminen ja asentaminen on helpompaa kuin kolmelapaisen. Offshore-laitoksiin kaksilapaisia roottoreita voitaisiin koota maalla ja kuljettaa useita vierekkäin laivan kannella.

6.1.5 Muita huomioon otettavia seikkoja

Laitoksen tehokäyrän muoto ja tätä kautta energiantuotto asennettua tehoa kohti riippuu edellä lueteltujen lisäksi monista tekijöistä, joista seuraavassa käsitellään muutamia tärkeimpiä:

Roottorin koon suhde generaattorin kokoon vaikuttaa energiantuotantoon merkittävästi. Suurella roottorilla varustettu, generaattoriteholtaan pieni laitos soveltuu heikkotuulisiin kohteisiin, koska se hyödyntää paremmin alhaiset tuulenopeudet. Vastaavasti erittäin tuulisissa kohteissa kannattaa käyttää pientä roottoria ja suuritehoista generaattoria.

Laitoksen nimellisteho on usein hieman harhaanjohtava, koska sakkausrajoituksisella laitoksella se on usein määritetty selvästi laitoksen huipputehoa pienemmäksi. Esim. nimellisteholtaan 600 kW laitoksen huipputeho voi olla jopa lähes 700 kW. Nimellisesti samantehoiset laitokset saattavat antaa samassa kohteessa hyvin erilaisia huipunkäyttöaikoja, mikä on ehdottomasti pidettävä mielessä erityyppisten laitosten suorituskykyä vertailtaessa.

Korkea huipunkäyttöaika ei sinällään ole ratkaiseva tekijä, vaan olennaista on laitoksen energiantuotannon ja kustannusten keskinäinen optimointi. Heikomin tuottava mutta halpa laitos saattaa olla jossain sijoituspaikassa edullisempi valinta kuin paremmin tuottava kallis laitos. Jossain toisessa, lähellä sijaitsevassa

mutta tuuliolosuhteiltaan toisentyypisessä kohteessa edullisuusjärjestys saattaa jo olla päinvastainen.

Laitosten taloudellisuusvertailussa oletetaan eri laitostyypeille yleensä yhtä suuret käyttökustannukset sekä sama tekninen käytettävyys ja elinikä. Tämä laskentatapa saa helposti hankintahinnaltaan edulliset, teknisesti yksinkertaiset laitokset näyttämään edullisemmilta kuin teknisesti edistykselliset mutta hankintahinnaltaan kalliimmat laitokset. Laitoksen edullinen hinta (mk/kW) ei saisi olla tärkein valintakriteeri, varsinkin kun muistetaan, että erot nimellisteholtaan samankokoisten laitosten vuosituotannossa saattavat olla kymmeniä prosentteja.

Myös tornin korkeus vaikuttaa laitoksen tuottamaan energiaan ja sen hintaan. Korkeammalla maanpinnasta keskituulennopeus on suurempi ja näin saavutetaan suurempi energiantuotanto, mutta korkeampi torni on kalliimpi ja vaatii tukevamman perustuksen. Sijoituskohteelle ominainen tuulennopeuden korkeusprofiili määrää tornin optimaalisen korkeuden. Peitteisessä maastossa normaalia korkeamman tornin käyttäminen on usein taloudellisesti perusteltua (myös koska se vähentää turbulenssia ja pidentää näin ollen laitosten elinikää). Myös ympäröivän maaston pinnanmuodot vaikuttavat tuulennopeuden korkeusprofiiliin; kukkulan laella korkeusprofiili on erilainen kuin meren rannalla. Näitä tekijöitä on syytä tutkia laitosten vertailuvaiheessa esim. WA^{SP}-laskentamallilla. Tässä yhteydessä on kuitenkin korostettava, että keskieuropalaisiin olosuhteisiin kehitetyt laskentamallit yleensä aliarvioivat voimakkaasti metsän vaikutusta tuulennopeuden korkeusprofiiliin, eikä niitä ainakaan toistaiseksi voida käyttää turbulenssin arvioimiseen.

Muita laitoksen valinnassa huomioonotettavia seikkoja ovat mm. seuraavat käyttöön ja huollettavuuteen vaikuttavat tekijät:

- Osa laitoksista toimitetaan putkitornilla varustettuna, osa hieman halvemmalla ristikkotornilla. Jotkut toimittajat tarjoavat molempia vaihtoehtoja. Suomen sääolosuhteissa putkitorni on ehdottomasti parempi ratkaisu huollettavuuden kannalta; kovalla pakkasella ja tuulella ristikkotorniin kiipeäminen on epämiellyttävää ja jopa riskialtista. Lisäksi putkitorni suojaa paremmin kaapeleita ja pääkeskusta.
- Myös konehuoneen koko ja muoto saattavat olla huollon kannalta huomionarvoisia etenkin talvisia sääoloja silmälläpitäen. Korkealla konehuoneella varustetun laitoksen huolto voidaan suorittaa ilman, että konehuoneen kattoa tarvitsee avata. Tällöin ei konehuoneeseen myöskään pääse likaa, pölyä, kosteutta, lunta, hyönteisiä jne.

6.2 Laitosvalmistaja

Tuulivoimalaitoksia valmistavista yrityksistä merkittävimmät ovat Tanskassa, Saksassa, Yhdysvalloissa ja Hollannissa. Lisäksi valmistajia on mm. Espanjassa, Italiassa, Ruotsissa, Japanissa, Belgiassa jne.

Suomessa ei toistaiseksi harjoiteta kaupallisessa mittakaavassa laitosten kokoonpanoa, lukuunottamatta aivan pieniä laitoksia (Windside). Alihankintoina toimitetaan suurten, tässä oppaassa käsiteltävien laitosten pääkomponenteista

mm. vaihteistoja ja generaattoreita. Suomeen pystytettyjen laitosten tornit ovat usein kotimaisia.

Suomen markkinoiden kannalta tärkeimpiä valmistajia ovat tanskalaisten ohella lähinnä saksalaiset. Sen sijaan esimerkiksi USA:ssa ja Japanissa sijaitseville yrityksille Suomen markkinat ovat liian kaukaiset ja pienet. Tähän mennessä kaikki Suomeen pystytetyt suuren kokoluokan laitokset ovat olleet tanskalais- tai saksalaisvalmisteisia. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi joitakin Suomen kannalta merkittävimpiä laitoistoimittajia. Luettelo on rajoitettu siten, että se kattaa valmistusvolyymiltaan suurimmat eurooppalaiset kaupallisten laitosten valmistajat sekä ne Euroopan ulkopuoliset valmistajat, joilla on pysyvä edustus Euroopassa. Tarkemmat tiedot alla luetelluista yrityksistä ja niiden tuotteista on esitetty liitteessä 2.

Seuraavilla laitosvalmistajilla on oppaan kirjoitushetkellä toimiva kaupallinen edustus Suomessa: Bonus (Synoptia Oy), NEG Micon (Fortum Advanced Energy Systems), Vestas (Insinööritoimisto Erkki Haapanen Ky). Nordex ja Enercon hoitavat Suomen markkinat Ruotsin edustajiensa kautta.

6.2.1 Tanska

Useimmat tanskalaiset valmistajat ovat suosineet perinteisiä ratkaisuja (sakkausrajoitus, kolme lapaa, yksi tai kaksi kierrosnopeutta), mikä osaltaan on luotettavan toimivuuden tausta. Tanskalaisten etuna on pitkäaikainen kokemus ja maahan kertynyt tietotaito. 1980-luvulla valtio panosti merkittävästi tuulivoimalaitosten valmistustekniikan kehittämiseen, mikä näkyy nimenomaan testaus- ja tyyppihyväksyntäasioissa. Kaikilla tärkeimmillä valmistajilla on ISO 9001 -sertifiointi. Voidaan perustellusti sanoa, että huonoa tanskalaisvalmisteista laitosta ei nykypäivänä enää voi hankkia. Tärkeimmät valmistajat ovat varsin tasapäisiä kilpailijoita.

Seuraavassa esitetyt tiedot perustuvat valmistusmäärien, laitosvalikoimien, liikevaihtolukujen ym. osalta vuoden 1999 tilanteeseen, ellei erikseen mainita. Markkinoiden ja laitoskokojen voimakas kasvu sekä yritysostot ym. muuttavat tilannetta jatkuvasti.

Maaailman suurin tuulivoimalaitosten valmistaja vuonna 1998 oli NEG Micon, joka on Nordtankin ja Miconin fuusiona syntynyt yritys. Myös WindWorld kuuluu nyttemmin NEG Micon -konserniin, vaikka valmistaakin (toistaiseksi) tuotteitaan omalla tuotemerkillä. Yhteensä NEG Micon on valmistanut tuulivoimalaitoksia yli 2000 MW nimellistehoja vastaavan määrän. Laitokset ovat sakkaussäätöisiä ja kaksinopeuksisia. Myynnissä olevat laitostyyppit ovat nimellisteholtaan 600, 750, 1000 ja 1500 kW. Offshore-markkinoille suunnatun 2 MW laitoksen prototyyppi otettiin käyttöön kesällä -99. NEG Miconin edustaja Suomessa on Fortum Advanced Energy Systems (entinen Neste Advanced Power Systems eli NAPS).

Suomeen vuosina 1990 - 1995 toimitetuista laitoksista lähes kaikki olivat Nordtankin valmistamia. Osittain tämä selittyy sillä, että NAPS aloitti ensimmäisenä tuulivoimalaitosten toimittamisen Suomeen. Myös aktiivinen osallistuminen kauppa- ja teollisuusministeriön NEMO-tutkimusohjelmaan loi NAPS:ille etulyöntiaseman ensimmäisissä Suomessa toteutetuissa, tutkimus- ja demonstraatioluonteisissa tuulivoimaprojekteissa. NEG Micon (tai Nordtank) on tähän mennessä toimittanut Suomeen yhteensä noin 25 tuulivoimalaitosta, joista valtaosa sijaitsee Perämeren rannikolla.

Toiseksi suurin tanskalaisyrityksistä vuonna 1998 oli Vestas Wind Technology A/S, jonka valmistamia laitoksia on toiminnassa yli 2000 MW nimellistehoa vastaava määrä. Vestaksen laitokset ovat lapakulmasäätöisiä. Osa malleista on kaksi-, osa yksinopeuksisia. Valikoimaan kuuluu laitoksia kokoluokissa 225, 600, 660 ja 1650 kW. Offshore-markkinoille suunnatun 1,8 MW laitoksen prototyyppi otetaan käyttöön syksyllä -99. Suomeen Vestas on toimittanut seuraavat laitokset (yhteensä 7 kpl):

- Sottunga 225 kW vuonna 1992,
- Eckerö 500 kW vuonna 1995,
- Lemland 4 x 600 kW vuonna 1997,
- Lumijoki 660 kW vuonna 1999.

Yrityksen kaupallinen edustaja Suomessa on Insinööritoimisto Erkki Haapanen Ky. Sottungan laitoksen toimitti Neste NAPS, joka tuolloin vielä edusti Vestasta. Muut Ahvenanmaan Vestas-laitokset on toimittanut Vestaksen Ruotsin edustaja (Vestasvind Svenska AB).

Kolmanneksi suurin tanskalaisyritys vuonna -98 oli Bonus Energy A/S, joka on valmistanut tuulivoimalaitoksia yhteensä noin 1000 MW nimellistehoa vastaavan määrän. Bonus valmistaa kaksinopeuksisia sakkauslaitoksia kokoluokissa 300, 600, 1000 ja 1300 kW. Kahdessa suurimmassa mallissa käytetään tehonrajoituksessa aktiivisakkausta. Offshore-markkinoita varten Bonus on kehittänyt 2 MW prototyyppin, joka on ollut käytössä vuoden -98 lopusta lähtien.

Bonus on tehnyt yhteistyötä VTT:n ja Kemijoki Oy:n kanssa ja on toistaiseksi ainoana valmistajana toimittanut kaupallisella jäänestöjärjestelmällä varustettuja tuulivoimalaitoksia arktisiin olosuhteisiin. Bonuksen edustaja Suomessa on Synoptia Oy. Tähän mennessä Bonus on toimittanut Suomeen seuraavat laitokset (yhteensä 18 kpl):

- Lammasoivi 2 x 450 kW vuonna 1996, 1 x 600 kW vuonna -98,
- Olos 2 x 600 kW vuonna -98, 3 x 600 kW vuonna -99,
- Pori 8 x 1000 kW vuonna -99,
- Kotka 2 x 1000 kW vuonna -99.

Neljäs suuri tanskalaisvalmistaja on Nordex GmbH, joka kuuluu saksalaiseen Babcock Borsig -konserniin. Nordex on valmistanut tuulivoimalaitoksia noin 500 MW nimellistehoa vastaavan määrän. Yhtiön markkinaosuus on voimakkaassa kasvussa ja se on menestynyt erityisen hyvin suurten laitosten (1 MW tai yli) myynnissä. Nordex valmistaa laitoksia kokoluokissa 150, 250, 600, 800, 1000 ja 1300 kW. Offshore-markkinoille suunnatun 2,5 MW laitoksen prototyyppi otetaan käyttöön syksyllä -99. Markkinointi Suomeen hoidetaan Ruotsin toimiston (Nordex AB) kautta. Nordex on toimittanut Suomeen seuraavat laitokset:

- Oulunsaloon 1 x 1300 kW vuonna -99,
- Uuteenkaupunkiin 2 x 1300 kW vuonna -99.

6.2.2 Saksa

Suurin saksalainen valmistaja on Enercon, jonka valikoimassa on 30, 250, 500, 600 ja 1500 kW laitokset. Enerconin laitokset edustavat innovatiivisia ratkaisuja; ne ovat vaihteettomia, muuttuvanopeuksisia ja lapakulmasäätöisiä laitoksia. Jotta

vaihteisto voidaan jättää pois, moninapaisesta kehämallisesta generaattorista tulee väistämättä suuri, mikä on tunnusomainen piirre Enerconin laitoksissa. Enercon on valmistanut yli 2200 laitosta, joiden yhteenlaskettu nimellisteho on yli 1000 MW. Tähän mennessä Enercon on toimittanut Suomeen (Ahvenanmaalle) kuusi laitosta:

- Kökar 500 kW vuonna 1997,
- Vårdö 500 kW vuonna 1998,
- Finström 2 x 500 kW vuonna 1998,
- Finström 1 x 600 kW vuonna 1999,
- Föglö 1 x 600 kW vuonna 1999.

Toinen suuri saksalaisvalmistaja on Tacke, joka konkurssin seurauksena ostettiin USA:laiseen Enron-yritysryhmään vuonna 1997. Tacke valmistaa tällä hetkellä 600 kW aktiivisakkaussäätöistä laitosta ja 1500 kW muuttuvanopeuksista lapakulmasäätöistä laitosta. 2 MW laitoksen prototyyppi pystytetään syksyllä 1999. Toistaiseksi Tacke ei ole myynyt laitoksia Suomeen.

Saksassa pystytettiin vuonna 1998 yli 1000 uutta tuulivoimalaitosta, joiden yhteenlaskettu nimellisteho oli lähes 800 MW. Suurista markkinoista johtuen Saksassa on useita etupäässä kotimarkkinoille keskittyneitä pieniä tuulivoimalaitosvalmistajia, kuten AN-Windenergie, DeWind, Fuhrländer, HSW Husumer Schiffswerft, Jacobs Energiesysteme, Seewind, Südwind ja Windtechnik-Nord, joista kukin on valmistanut kymmeniä tai satoja tuulivoimalaitoksia. Osa edellämaituista on perustanut yhteisyrityksen Pro+Pro, joka on kehittänyt 1,5 MW lapakulmasäätöisen muuttuvanopeuksisen laitostyyppin.

6.2.3 **Hollanti ja Belgia**

Hollannissa toimii nykyään NEG Micon -konserniin kuuluva NEG Micon Holland (entinen NedWind) ja Belgiassa Turbowinds, joka tuli alalle ostettuaan osan belgialais-hollantilaisesta HMZ WindMasterista vuonna 1995. Kolmas Benelux-maissa toimiva laitevalmistaja on Lagerwey the WindMaster (nimi muuttui Lagerweyn ostettua hollantilaisen osan HMZ WindMasterista).

NedWindin omien laitosmallien (kaksi- ja kolmelapaisia aktiivisakkauslaitoksia kokoluokissa 250, 500 ja 1000 kW) valmistus on loppumassa ja yhtiö on muuttumassa pelkäksi NEG Miconin myynti- ja huolto-organisaatioksi. NedWindin NW 50 oli ensimmäinen kaupallisesti saatavilla oleva 1 MW laitos.

Turbowinds valmistaa laitoksia kokoluokissa 300 - 600 kW ja on myös kehittänyt 1,3 MW mallin.

Lagerwey on valmistanut etupäässä alle 100 kW laitoksia, mutta sen valikoimissa on myös 250 kW ja 750 kW laitostyyppi. Viimeksimainittu on vaihteeton ja muuttuvanopeuksinen.

6.2.4 **Muita**

Yhdysvalloissa toimiva Enron Wind Corporation valmistaa Zond-merkkistä 750 kW muuttuvanopeuksista tuulivoimalaitosta, jota myydään lähinnä USA:n markkinoilla. Lisäksi Enron omistaa saksalaisen Tacken.

Japanilainen Mitsubishi valmistaa 300 ja 600 kW tehoisia kolmilapaisia yksinopeuksisia lapakulmasäättöisiä laitoksia, joita on Japanin lisäksi myyty lähinnä USA:n ja Iso-Britannian markkinoille.

Espanjan erittäin nopeasti kasvavilla kotimarkkinoilla toimivat espanjalaiset MADE, Ecotécnia, Desarrollos Eólicas ja Gamesa Eólica, jotka valmistavat tuulivoimalaitoksia 200 - 600 kW kokoluokassa (viimeksi mainittu valmistaa Vestaksen laitoksia lisenssillä).

Ruotsissa toimivat Nordic Windpower ja Zephyr, jotka molemmat kehittävät tuulivoimalaitoksia, mutta tuotteet ovat juuttuneet prototyyppivaiheeseen. Nordic Windpower pyrkii käynnistämään 1000 kW laitoksen sarjavalmistuksen vuoden 2000 kuluessa.

6.3 Tarjouspyynnön laatiminen

Mikäli investoija on ns. julkinen yritys (esim. yleiseen verkkoon sähköä toimittava yritys tai valtio- tai kuntaomisteinen yritys toimialasta riippumatta), se kuuluu julkisia hankintoja säätelevän lainsäädännön piiriin. Hankinta on tällöin suoritettava tiettyjen määräysten mukaisesti. Muussa tapauksessa (esim. kuluttajaomisteinen tuulivoimayhtiö) hankinta voidaan suorittaa vapaammin.

Julkisia hankintoja koskevan lainsäädännön tavoitteena on varmistaa kaikille Euroopan Talousalueella toimiville toimittajille ja urakoitsijoille tasaväkkiset mahdollisuudet tarjota tuotteitaan ja palveluitaan julkisten yritysten hankinnoissa.

Julkisissa hankinnoissa hankintamenettelyn suhteen on kolme vaihtoehtoa; avoin, rajoitettu ja neuvottelumenettely. Kaikissa tapauksissa on ennen tarjouspyyntöjen tai neuvottelukutsujen lähettämistä julkaistava hankintailmoitus (rajoitetun ja neuvottelumenettelyn tapauksessa riittää ennakoilmoitus eli ns. kausi-ilmoitus) Suomen ja EU:n virallisissa lehdissä. Lainsäädännön mukaan tulee tarjousten tekemiseen antaa aikaa vähintään 52 vuorokautta hankintailmoituksen jättöpäivästä, mikäli hankinnasta ei ole julkaistu ennakoilmoitusta, ja vähintään 36 vuorokautta, mikäli ennakoilmoitus on julkaistu.

Avoimessa menettelyssä kaikki ETA-alueella sijaitsevat alalla toimivat yritykset voivat osallistua tarjouskilpailuun. Rajoitetussa menettelyssä halukkaat yritykset lähettävät tilaajalle pyynnön osallistumisesta tarjouskilpailuun, ja ennalta sovitut kriteerit täyttävälle yrityksille lähetetään tarjouspyyntö. Neuvottelumenettelyssä lähetetään suoraan (hankinta- tai ennakoilmoituksen julkaisemisen jälkeen) neuvottelukutsu vähintään kolmelle yritykselle.

Laitetoimittajille lähetettävän tarjouspyynnön tulee sisältää ainakin seuraavat kohdat:

- Haluttu tuulivoimalaitoksen kokoluokka ja/tai tyyppi sekä laitosten lukumäärä
- Millä tarkkuudella hinnat ja materiaali on eriteltävä tarjouksessa
- Sijointipaikan kartta, johon yksittäisten laitosten paikat on merkitty
- Sijointipaikan tarkka sanallinen kuvaus (ympäristö, maasto, tiestö, verkko)
- Sijointipaikan tuuliolosuhteet (esim. WA^{SP}-tulostus tai vastaava, josta ilmenee vähintään Weibull-parametrit sektoreittain)

- Luettelo projektiin mahdollisesti liittyvistä erityisvaatimuksista (esim. ympäristönäkökohdat, kuljetukseen ja pystytykseen liittyvät kysymykset jne.)
- Lista kaikista yksityiskohdista, joita vaaditaan esitettäväksi tarjouksessa (tekniset tiedot, takuuehdot, toimitusehdot, maksuehdot, jne.)
- Hintaerittelyt ja kuvaukset muista palveluista, joita toimittaja voi tarjota (huolto- ja varaosapalvelu, kuljetuksen ja pystytyksen aikaiset vakuutukset, käytön aikaiset vakuutukset, suomenkieliset käyttömanuaalit, käyttökoulutus jne.)
- Tarjouksen viimeinen jättöpäivä ja toimitustapa, maksuaikataulu, voimassaoloaika ym. juridiset kysymykset

Lisäksi on syytä varmistua laitosten ja valmistajan laatutakeista (laitosten tyyppihyväksynnät, yrityksen laatuserifikaatit). Niin ikään on hyvä varmistua valmistajan taloudellisesta tilanteesta. Tarjoukseen kannattaa vaatia liitteeksi esim. yrityksen tilinpäätös ja tase kolmen viime vuoden ajalta sekä nykyinen tilauskanta. Jos valmistaja joutuu konkurssiin, aiheuttaa huolto- ja varaosapalvelun järjestäminen vaikeuksia ja lisäkustannuksia.

Sijoituspaikean sääolojen kuvaus (minimi- ja maksimilämpötilat, äärituulen nopeudet, jäätymisolot, rannikolla myös esim. liikkuvat jäät) on syytä esittää ja vaatia, että tarjotun laitoksen on toimittava moitteettomasti näissä oloissa. Toimittajat voivat itse ehdottaa teknisiä yksityiskohtia, joilla sääoloista aiheutuvat erityisvaatimukset otetaan huomioon. Tiettyjä yleisiä periaatteita (tuulimittarin jäätyttömyys, arktiset öljyalaadut, vaihteiston lämmitys, mahd. lapalämmitys jne.) voidaan sisällyttää myös tarjouspyynnön spesifikaatioihin, mutta vaatimuksia ei kannata määritellä niin tiukasti, että ne selvästi suosivat yhtä tiettyä laitostoimittajaa.

Tarjousten tekemiselle on varattava riittävästi aikaa. Tarjoajille on varattava myös mahdollisuus tutustumiskäyntiin ko. sijoituskohteessa tarjouksen valmisteluvaiheessa.

Tarjouspyyntöasiakirjojen laatimisessa voidaan käyttää apuna puolueetonta asiantuntijaa, joka on perillä sekä projektin suorittamiseen liittyvistä että tuulivoimaspesifisistä kysymyksistä.

6.4 Tarjousten evaluointi

Koska tuulivoimalaitokset edustavat tyypillisesti 70 - 80 % hankkeen kokonaiskustannuksista, on tarjousten evaluointiin syytä paneutua tarkasti. Tarjousten vertailussa kannattaa kiinnittää huomiota edellä kohdassa 6.1 laitoistyyppien eroista todettuihin asioihin.

Tarjousvertailun tarkoituksena on ensinnäkin hankintahinnan ja laitoksen tuotannon keskinäinen optimointi. Nämä tekijät ovat suhteellisen luotettavasti arvioitavissa, mutta eivät yksinään riitä päätöksenteon pohjaksi. Muilla, vaikeammin arvioitavilla tekijöillä, on käytännössä merkittävä vaikutus laitoksen valintaan: Taloudellisuusvertailussa oletetaan tyypillisesti kaikille laitoistyypeille yhtä pitkä käyttöikä, yhtä korkea tekninen käytettävyys ja samansuuruiset korjauskustannukset (kilowattia kohti). Tämä vertailutapa suosii teknisesti yksinkertaisia, hankintahinnaltaan edullisia laitoksia. Hankintahinnaltaan kalliimpi laitos saattaa

kuitenkin käytössä osoittautua teknisesti selvästi luotettavammaksi kuin hankintahinnaltaan edullisempi laitos.

Vertailtaviin laitostyyppien lyhyt käyttöhistoria ja tyyppikohtaisten tuotanto- ja vikatilastojen vaikea saatavuus vaikeuttaa näiden tekijöiden arviointia. Tarjousvertailuun liittyvien teknisten erityiskysymysten vuoksi onkin suositeltavaa käyttää asiantuntijaa tukena hankintapäätöstä tehtäessä, tai vähintäänkin tutustua eri tyyppisten laitosten käyttöhistoriaan Suomessa ja muualla vastaavissa ilmastolosuhteissa.

6.4.1 Tuotantoverailu

Eri laitostyyppien suorituskyky on aina sijoituspaikkaspesifinen kysymys, ja näin ollen suorituskykyvertailu tulee tehdä jokaiselle sijoituspaikalle erikseen. Kuten edellä kohdassa 6.3 todettiin, sijoituspaikan tuulennopeusjakauma (Weibull-jakauma tai vastaava) tulee liittää tarjouspyyntöön. Laitostoimittajat saattavat liittää tarjoukseensa tähän perustuvan oman arvionsa laitoksensa arvioidusta vuosituotannosta ko. kohteessa, mutta arviot on hyvä joka tapauksessa tarkistuttaa puolueettomalla asiantuntijalla, jotta ne olisivat paremmin keskenään vertailukelpoisia. Parhaiten tämä onnistuu tarkoitukseen soveltuvalla analyysiohjelmalla (esim. WA^{SP}). Myös seuraavassa esitettävällä yksinkertaisemmalla menetelmällä päästään kohtuullisen luotettaviin arvioihin.

Weibull-jakauman kertymäfunktio on muotoa

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k},$$

missä v on tuulennopeus ja A ja k Weibull-parametrit $/2/$. $F(v)$ kertoo, miten suuren osan ajasta tuulen nopeus on alle v m/s.

Sijoituspaikan Weibull-jakauman parametrit A ja k saadaan tarjouspyynnön liitteenä olevasta tuulisuusanalyysistä. Yllä esitetty Weibull-jakauman kertymäfunktio voidaan muodostaa esim. taulukkolaskentaohjelmalla. Se osuus ajasta, jolloin tuulennopeus on arvojen v_2 ja v_1 välissä saadaan laskemalla erotus $F(v_2) - F(v_1)$. Tuulen nopeusjakauma sijoituskohteessa voidaan näin ollen muodostaa seuraavasti:

| Tuulen nopeus välillä | Vastaava frekvenssi |
|-----------------------|---------------------|
| 0...1 m/s | $F(1) - F(0)$ |
| 1...2 m/s | $F(2) - F(1)$ |
| 2...3 m/s | $F(3) - F(2)$ jne. |

Frekvenssit kerrotaan edelleen vuoden tuntien lukumäärällä (8760) ja tuulivoimalaitoksen tehokäyrän (tehokäyrä on esitettävä tarjouksessa) vastaavilla pisteillä (kunkin tarkasteluvälin puolivälistä) ja summataan. Näin saadaan kohtuullisen hyvä arvio kyseisen tuulivoimalaitoksen vuosituotannolle (kWh) ko. sijoituskohteessa:

$$8760 * \sum_n [(F(n+1) - F(n)) * P(n+0,5)],$$

missä n saa arvot laitoksen käynnistymisnopeudesta pysäytysnopeuteen.

Weibull-jakauman suhteen on syytä muistaa, ettei se koskaan tarkasti vastaa sijoituspaikan todellista tuulennopeusjakaumaa /met. Taustat/. Mikäli ero todelli-

sen jakauman ja Weibull-sovituksen välillä on suuri, voi tästä aiheutua merkittävä virhe eri laitostyyppien välisten tuotantoerojen arvioimisessa.

6.4.2 Kustannusvertailu

Kuten edellä todettiin, on nimellisteholtaan yhtä suurien laitosten tuotannossa usein suuriakin eroja. Taloudellisuusvertailu tulee tehdä nimenomaan tarkastellen tuotettua energiamäärää (kWh) suhteessa kokonaisinvestointikustannuksiin (mk) ja käyttö- ja ylläpitokustannuksiin (mk/a).

Tarjouksia evaluoitaessa kannattaa vertailla tarkasti, mitä eri toimittajien antamat hinnat sisältävät (kuljetus, kuljetuksen aikaiset vakuutukset, perustussuunnittelu, pystytys, asennus, takuuajainen huolto, koulutus, varaosat, kaukokäyttö ym.). Nämä lisäkustannukset, joista osa tai kaikki saattavat joissakin tarjouksissa sisältyä hintaan, muodostavat laitoksen hankintahinnasta jopa 20 %. Tarjouspyyntö kannattaakin yleensä laatia niin, että kaikista em. kustannuksista vaaditaan eritely.

Lisäksi tulisi huomioida eri laitostyyppien erilaiset vaatimukset perustusten, kuljetus- ja pystytyskaluston, sekä muuntamon ja muiden sähkölaitteiden suhteen, ja arvioida näiden erojen vaikutus kokonaisinvestointeihin.

Eri laitostyyppien väliset erot käyttö- ja ylläpitokustannuksissa ovat vaikeasti etukäteen arvioitavissa. Usein joudutaankin käytännössä tyytymään karkeaan tarkasteluun, jossa kyseisten kustannuserien oletetaan riippuvan ainoastaan hankittavien laitosten lukumäärästä ja yksikkötehosta. Laitosten teknisistä eroista (esim. säätöperiaate) johtuvia eroja on tässä suhteessa hyvin vaikea arvioida ennakkoon.

6.4.3 Tekninen vertailu

Koska kilpailevien toimittajien tarjoukset ovat taloudellisesti yleensä varsin tasaväkisiä (ja koska pelkkä taloudellisuusvertailu helposti suosii hankintahinnaltaan edullisia mutta teknisesti yksinkertaisia laitoksia), laitostyyppin valinnassa on syytä ottaa huomioon monia vaikeasti arvioitavia ja osin subjektiivisiakin tekijöitä. Näitä ovat ennen kaikkea:

- Laitoksen ja sen pääkomponenttien ennakoitu taloudellinen käyttöikä sekä soveltuvuus sijoituspaikan sääoloihin
- Laitoksen ennakoitu vikautuvuus ja huolto- ja varaosajärjestelyjen toimivuus
- Huoltotarve sekä laitoksen helppo huollettavuus vaikeissakin sääolosuhteissa
- Tuotanto- ja käytettävyytystakuut
- Kaukokäyttöjärjestelmän yhteensopivuus tuulivoimalaitosinvestoijan olemassaoleviin järjestelmiin
- Sähkön laatu ja verkkoyhteensopivuus
- Laitostoimittajan taloudellinen tila, tunnettuus, kokeneisuus ja aiemmat referenssit Suomessa ja muualla vastaavissa ilmasto-olosuhteissa
- Tyypinhyväksyntä- ja laadunvarmistuskysymykset
- Vaatimukset pystytyskaluston, tiestön ja pystytysalueen suhteen (etenkin vaikeassa maastossa tai ahtaissa rakennuspaikoissa)
- Hiljainen käyntiääni (etenkin tiheästi asutuilla tai ympäristöllisesti herkillä alueilla)

- Soveltuvuus ympäristöön; ulkonäkö, dimensiot ym. (esim. sijoituspaikan detaljikaava tai hankkeelle saatu poikkeuslupa voi rajoittaa tuulivoimalaitoksen maksimikorkeutta)

Myös korkea kotimaisuusaste ym. arvostustekijät voivat tapauskohtaisesti vaikuttaa laitoksen valintaan, esimerkiksi rahoituksellisista tai PR-syistä. On kuitenkin syytä muistaa, että julkisia hankintoja ohjaava lainsäädäntö kieltää kotimaisuusasteen käytön virallisena valintakriteerinä (koska tavoitteena on nimenomaan taata kaikille Euroopan talousalueella toimiville yrityksille tasavertaiset lähtökohdat tarjouskilpailussa).

6.5 Mistä apua laitoksen valinnassa

Laitostoimittajilta ja Suomessa toimivilta edustajilta saa luonnollisesti teknisiä esitteitä, hintatietoja ym. informaatiota. Tarjouksia kannattaa joka tapauksessa pyytää useammilta tahoilta, ja vertailussa on hyvä hyödyntää puolueetonta asiantuntijaa – myös siinä tapauksessa, että projektin hoito annettaisiin tarjouskilpailun voittajalle avaimet käteen -periaatteella.

Yksi vaihtoehto on antaa tarjouskilpailu kokonaisuudessaan konsultin hoidettavaksi. Tämä laatii tarjouspyyntödokumentit, hankkii tarjoukset ja suorittaa tarjousvertailut tiiviissä yhteistyössä tilaajan kanssa.

Laitoshankintaa suunnittelevan kannattaa haastatella tahoja, joilla on käyttökokemusta tuulivoimalaitoksista Suomen olosuhteissa. Joissain tapauksissa on suositeltavaa kysellä käyttökokemuksia myös esim. muista Pohjoismaista.

Sopimusvaihe

Kun maa-alue on saatu omaan hallintaan, investoinnin edellyttämä rahoitus alkaa olla koossa, tarvittavat luvat (pääpiirteissään) saatu, ja sitovat tarjoukset laitostoimituksesta on saatu ja vertailtu, voidaan käynnistää hankintasopimuksen valmistelu.

Tuulivoimalaitoksen toimittajan valintaan liittyvät kysymykset käsiteltiin pääosin edellä luvussa 6. Koska muiden rakennusvaiheeseen liittyvien laitetoimittajien sekä suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden valinta riippuu laitostoimittajan ja mahdollisen konsultin kanssa tehtävistä sopimusjärjestelyistä, käydään seuraavassa lyhyesti läpi eräitä vaihtoehtoisia toteutusmalleja.

7.1 Eri toteutusmalleja

Laitostoimittaja saattaa olla halukas toteuttamaan projektin kokonaistoimituksena (avaimet käteen -periaatteella). Tällöin toimittaja vastaa kaikista asennukseen ja käyttöönottoon liittyvistä kysymyksistä.

Jos hankkeen toteuttajalla on oma vahva tekninen organisaatio, se voi valvoa laitostoimittajan kokonaistoimituksen tai myös vastata itse osittain tai kokonaan projektin toteutussuunnittelusta ja koordinoinnista.

Yksi vaihtoehto on antaa projektin toteutusvalvonta ja koordinointi konsult(e)ille. Varsinkin jos toteuttajana on jokin sellainen taho, jolla ei ole projektin toteutukseen ja valvontaan vaadittavaa kokemusta ja resursseja, tämä saattaa olla suositeltava tapa toteuttaa projekti. Konsultti voi teettää osan suunnittelutöistä alihankintoina. Pienissä projekteissa konsultin käytöstä aiheutuvat kulut muodostuvat helposti kokonaiskustannuksiin nähden turhan suuriksi, jolloin konsulttitoiminnan kannattaa teettää vain tietyt tuulivoimaspesifiset työvaiheet, kuten tuulisuus- ja tuotantoarviot. Pienissä projekteissa saattaa myös avaimet käteen -toimitus (mikäli toteuttajalla ei ole omaa suunnittelu- ja urakointihenkilöstöä) olla houkutteleva vaihtoehto.

Seuraavilla sivuilla on kaaviomuodossa esitetty joitakin päätyyppisiä laitoksen tilaajan kannalta. Kaaviot on tarkoitettu lähinnä havainnollistamaan projektin toteutukseen liittyviä sopimussuhteita. Käytännössä toteutuskuvio on useimmiten päätyyppien välimuoto tai yhdistelmä; sopivin toteutustapa on aina projektikohtainen ja riippuu mm. paikallisten tahojen osallistumisesta, projektin tavoitteista (paikallisten tahojen työllistäminen, tietotaidon siirtyminen omaan käyttöön, tutkimus- ja kokeilutavoitteet ym.), projektin kokoluokasta ja aikataulusta jne.

Suunnittelusopimuksen hyviä puolia:

- Tilajalla on vahvat vaikutusmahdollisuudet projektin toteutustapaan, tekniseen tasoon ja kustannuksiin
- Tilaja voi työllistää omia resurssejaan ja tekninen tietämys laitoksesta jää tehokkaasti oman henkilöstön käyttöön

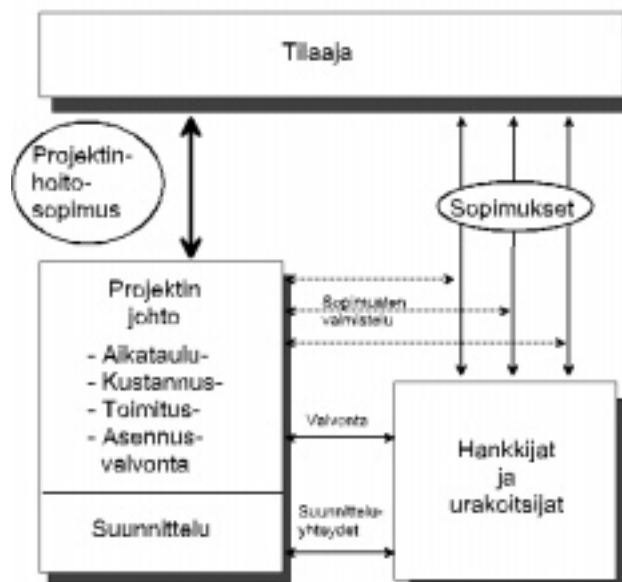
Huonoja puolia:

- Tilaajalla on oltava oma asiantunteva projektin johto- ja hoitokysymykset hallitseva henkilöstö
- Omaa projektihenkilöstöä voi olla vaikea työllistää kun projekteja ei ole

Suunnittelusopimus



Projektinhoitosopimus



Projektinhoitosopimuksen hyviä puolia:

- Ei sido tilaajan resursseja
- Tilaaja voi osallistua projektiin joustavasti haluamassaan laajuudessa ja haluamissaan tehtävissä
- Kunkin osaprojektin hinta/laatusuhde määritellään kunkin hankinnan yhteydessä, jolloin yhtenäinen laatutaso koko projektin osalta voidaan säilyttää

Huonoja puolia:

- Kokonaiskustannus- ja aikatauluylityksistä riskin kantaa tilaaja. Riski voidaan kuitenkin hallita tarkalla kustannus- ja aikatauluvalvonnalla sekä mahdollisilla palkkio- ja sanktiojärjestelyillä

- Ei välttämättä kustannustehokkain ratkaisu pienissä projekteissa
- Tietämys laitoksesta ei siirry ”itsestään” oman henkilöstön käyttöön

Kokonaistoimitus



Kokonaistoimitussopimuksen hyviä puolia:

- Ei sido tilaajan resursseja, ei vaadi omaa tuulivoima-asiantuntemusta
- Sopimuksen solmimisen jälkeen hinta tiedetään varmuudella

Huonoja puolia:

- Sopimusvaiheessa suunnittelu on kesken, joten tilaaja ei tiedä tarkasti, mitä hän sovitulla hinnalla saa
- Toimittaja pyrkii minimoimaan kustannuksensa, jolloin tekninen taso saattaa kärsiä
- Tilaaja ei voi toteutuksen aikana vaikuttaa teknisiin ratkaisuihin ja laatuun ilman erityisjärjestelyjä ja lisäkustannuksia
- Tietämys laitoksesta ei siirry ”itsestään” oman henkilöstön käyttöön

7.1.1 Sähkö- ja asennustyöt

Useimmissa tähän mennessä toteutetuissa hankkeissa paikallinen verkkoyhtiö on aktiivisesti osallistunut hankkeeseen. Tällöin sähkö- ja asennustöiden suunnittelussa ja urakoinnissa on luontevaa noudattaa seuraavaa työnjakoa: laitostoimittaja vastaa pienjännitetöistä ja kaukokäytöstä, kun taas verkkoyhtiö vastaa 20 kV muuntajista ja verkostotöistä.

Vaikka paikallinen verkkoyhtiö ei osallistuisikaan hankkeeseen, voi sähkösuunnittelun ja urakoinnin silti teettää heillä. Toinen vaihtoehto on käyttää sähkösuunnittelussa insinööritoimistoja, ja urakat voi teettää paikallisilla sähköurakoitsijoilla. Suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden valinta voidaan tehdä tarjouskilpailun pohjalta.

7.1.2 Maarakennus ja voimalaitosalueen suunnittelu

Aluesuunnittelun voi tehdä laitostoimittaja, investoija itse (mikäli tällä on omia suunnitteluresursseja) tai insinööritoimisto. Käytännössä eri sopimusosapuolilta (laitostoimittaja, nostourakoitsija, sähkösuunnittelija jne.) tarvitaan runsaasti lähtötietoja aluesuunnittelua varten, joten suunnitteluprosessi edellyttää lähes jatkuvaa yhteistyötä ja tiedonvaihtoa eri osapuolten kesken riippumatta siitä, mikä taho suunnittelusta vastaa.

Tie- ja maarakennustyöt teetetään yleensä paikallisilla urakoitsijoilla. Maarakennustöiden suunnittelusta ja urakoista kannattaa yleensä järjestää tarjouskilpailu, ainakin suuremmissa urakoissa.

Perustussuunnitelmat tekee yleensä laitostoimittaja tai insinööritoimisto laitostoimittajan antamien periaatekuvien ja kuormituslaskelmien sekä rakennuspai- kalla suoritetun maaperätutkimuksen pohjalta. Maaperätutkimuksen kustannuk- sista vastaa pääsääntöisesti investoija. Perustukset tekee yleensä jokin paikallinen urakoitsija investoijan tai tämän valtuuttaman konsultin valvonnassa.

7.1.3 Kuljetus ja nostotyöt

Useimmiten laitostoimittaja vastaa laitoksen kuljetuksesta, tekee nostosuunnitel- man ja valitsee nosturiurakoitsijan. Erityisolosuhteissa, kuten vaikeapääsyisillä ran- noilla ja saaristossa, vaaditaan mahdollisesti erityisjärjestelyjä.

Kuljetukseen ja pystytykseen liittyvät vastuut ja vakuutukset on selvitettävä tarkasti toimitussopimusta solmittaessa. Nostojärjestelyistä on syytä järjestää kol- menkeskinen palaveri (laitostoimittaja, nosturiurakoitsija, tilaaja) hyvissä ajoin, jot- ta nosturin tarvitsemat maapohjan vahvistukset, raivaustyöt ym. voidaan suorittaa koordinoitusti perustustöiden kanssa.

7.1.4 Suoritusarvojen testaus

Suomessa käyttöön otettuja laitoksia ei yleensä ole testattu puolueettoman asian- tuntijan toimesta. Poikkeuksen muodostavat Korsnäsin tuulipuisto sekä Pyhä- tun- turin tutkimuslaitos, joissa VTT suoritti laitosten tehokäyrän testauksen. Näitä tut- kimuksellisia hankkeita lukuunottamatta ei toistaiseksi ole tarkasti testattu, vastaa- vatko laitosten ominaisuudet toimittajan lupaamia/takaamia arvoja. Meri-Porin tuulipuistossa tullaan takuumittaukset tekemään VTT:n ja Energia-Ekonon toi- mesta.

Vastaisuudessa olisi erittäin suotavaa kehittää testausjärjestelmä Suomeen rakennettaville tuulivoimalaitoksille. Tämä on olennaista jo laitosten omistajien oikeusturvankin kannalta. Käyttöönottotesteistä on annettu kansainvälisiä stan- dardeja, joita tulisi noudattaa. Puolueettomat asiantuntijat tarjoavat apua suori- tusarvotestaukseen liittyvissä kysymyksissä.

7.2 Hankintasopimuksen laatiminen ja sopimusneuvottelut

Kaikkia edellä kohdassa 7.1 esitettyjä tekijöitä on syytä pohtia jo tarjouspyyntöä laadittaessa, tai viimeistään tarjouksia arvioitaessa. Eri tarjouksissa esitetyt toimi-

tuslaajuudet saattavat poiketa toisistaan, toimittajilla on mm. aiemmasta maakoh-
taisesta kokeneisuudesta ja muista intresseistä riippuen erilaiset preferenssit ja val-
miudet osallistua hankkeen toteutukseen, ja myös tilaajan omat intressit ja val-
miudet vaikuttavat toteutusorganisaation valintaan ja eri osapuolten väliseen työn-
jakoon.

Viimeistään laitostoimittajan kanssa solmittavaa hankintasopimusta laaditta-
essa ja neuvoteltaessa on hankkeen toteutuksen yksityiskohdista päästävä yhteis-
ymmärrykseen. Väljästi ja tulkinnanvaraisesti laadittu tai monilta osin avoimeksi
jätetty ”yksityiskohdista sovitaan myöhemmin” -tyyppinen hankintasopimus saat-
taa houkutella helpoudessaan, mutta se voi kostautua toteutusvaiheessa ennakoimattomina lisätöinä ja -kustannuksina, väärinkäsityksistä aiheutuvina viivästyksi-
nä, sekä suoranaistena teknisinä puutteina tai yhteensopivuusongelmina rakennus-
ja asennusvaiheessa.

Energiantuotantoinvestoinneissa on myös tärkeää muistaa sopimusten pitkä
vaikutusaika. Hankittaville laitoksille myönnetään jopa viiden vuoden takuu, ja
niiden odotettavissa oleva elinikä on 20 vuotta, minkä ajan huolto- ja varaosapal-
veluiden tulisi toimia moitteettomasti. Tänä aikana ehtivät sekä tilaajan että toimit-
tajan yhteyshenkilöt yleensä vaihtua useampaankin otteeseen, ja mikäli sovitusta
ehdoista ei löydy ”mustaa valkoisella”, saattavat sopimuksen osapuolet pahim-
massa tapauksessa ajautua välimiesmenettelyyn tai oikeusprosessiin.

Kattava ja yksityiskohtainen hankintasopimus saattaa myös parantaa projek-
tin taloutta, koska rahoitus- ja vakuutuslaitokset pitävät tällöin hankkeeseen sisälty-
viä riskejä pienempinä ja voivat näin ollen myöntää lainan, pankkitakauksen tai
vakuutuksen edullisemmin ehdoin.

Hankintasopimuksen tulisi pitää sisällään ainakin seuraavat asiat:

- Toimituksen laajuus ja sisältö, eri osapuolten vastuiden rajapinnat
- Toimitusaikataulu, kummankin osapuolen töiden kannalta kriittiset päivä-
määrät sekä niihin sidotut myöhästymissakot
- Sitoutuminen voimassa olevien lakien ja viranomaismääräysten
noudattamiseen
- Suunnitteludokumenttien toimittaminen, muu kirjeenvaihto ja yhteydenpito
projektin kuluessa
- Vakuutukset, vastuut (myös kolmannelle osapuolelle aiheutuvista
vahingoista)
- Kokoonpanon, asennusten ja rakennustöiden valvonta; vastuut ja työnjako
- Toimituksen hyväksymiskriteerit ja hyväksymisprotokolla
- Omistusoikeuden siirtyminen
- Takuehdot (ml. tuotetakuu ja suoritustakuut kuten tehokäyrä, käytettävyys,
meluarvot) sekä niihin sidotut korvausveloitteet
- Tilaajan henkilöstölle annettava käyttökoulutus
- Sopimuksen purkautumisen ehdot (mm. laitoksen epätyydyttävä toimivuus
tai toimituksen huomattava viivästyminen), korvausveloitteet
- Hinta, maksuerät ja -ehdot
- Vakuudet
- Optiot, niiden hinnat ja voimassaoloajat
- Erimielisyyksien sovittelu, sopimukseen mahdollisesti tehtävät muutokset

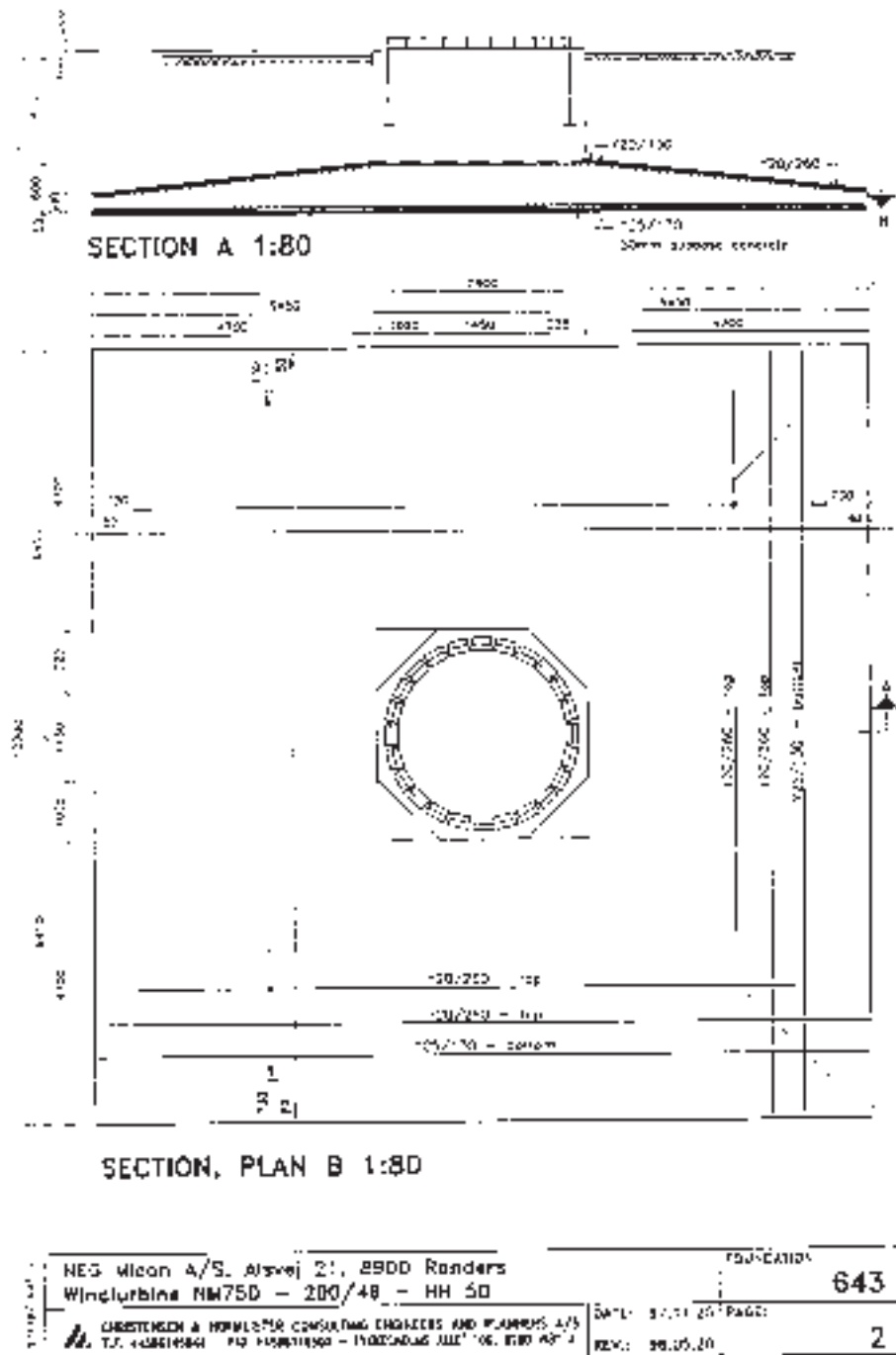
Sopimuksen teknisten liitteiden tulisi sisältää ainakin:

- Laitoksen tekniset spesifikaatiot ja pääpiirustukset
- Käytetyt alihankkijat pääkomponenttien osalta, pääkomponenttien spesifikaatiot
- Suoritusarvot, jotka toimittaja takaa (tehokäyrä, meluarvot jne.)
- Perustusten ja muiden pohjatöiden sekä sähköasennusten suunnittelussa tarvittavat laitostyyppikohtaiset lähtötiedot
- Rakennuspaikan kartat ja kuvaukset siinä laajuudessa ja tarkkuudessa kuin ne sopimusta laadittaessa ovat valmiina.

Ainakin siinä tapauksessa, että tilaajalla ei itsellään ole tarvittavia teknisiä resursseja ja aiempaa kokemusta sopimusjuridiikasta, on suositeltavaa käyttää ulkopuolista asiantuntijaa sopimusvalmistelun tukena. Myös laitostoimittajilla on valmiita sopimus pohjia. Tilaajan on kuitenkin syytä muistaa, että vaikka toimittaja yleensä onkin varsin yhteistyöhaluinen ja -kykyinen, tämä valvoo sopimusvalmistelussa kuitenkin ensisijaisesti omaa etuaan. Tilaajan oikeusturvan kannalta sopimuksen neuvottelemisen ”oman” sopimusmallin pohjalta on tässä mielessä huomattavasti turvallisempi ratkaisu.

8.2 Perustaminen, maa- ja tierakentaminen

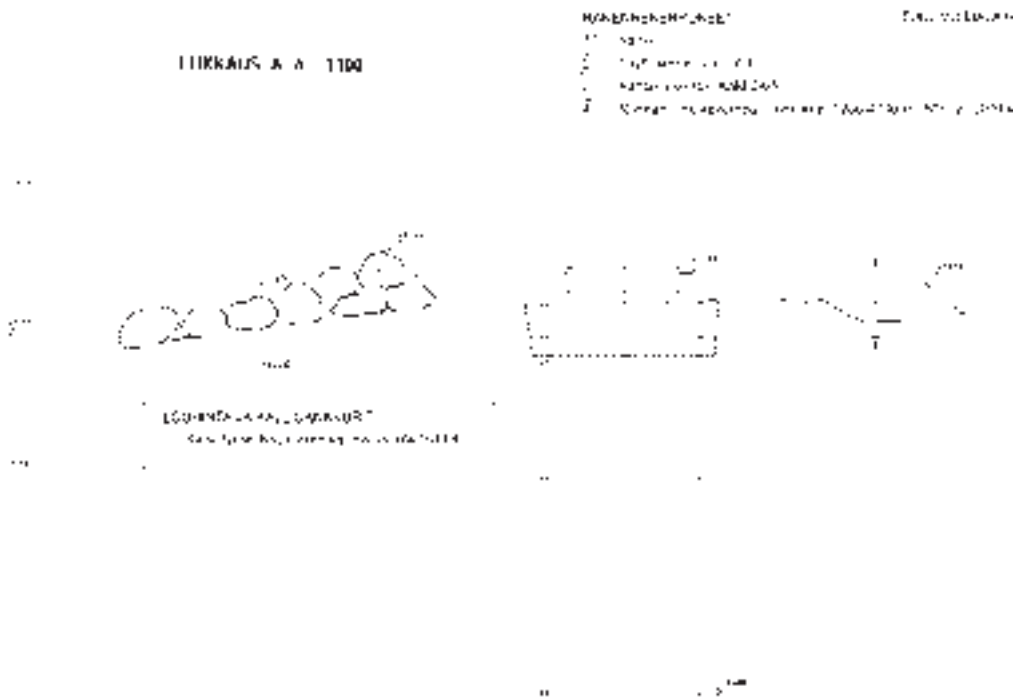
Jos sijoituskohteen maaperä on pehmeää tai peruskallio murenevaa tai syvällä maan pinnasta, on käytettävä massiivista perustusta; isoon maakuoppaan valettua betonilaattaa (esim. 1 MW laitokselle luokkaa 12 x 12 x 1,5 m), johon tuulivoimalaitoksen torni kiinnitetään perustuslieriön, -levyjen tai -pulttien avulla. Laatta peitetään maatyönteellä, joka lisää perustuksen lujuutta. Joissain tapauksissa perustus on paalutettava riittävän lujuuden saavuttamiseksi. Betonin kuivumiseen on varattava aikaa kahdesta neljään viikkoa, perustuksen koosta ja käytettävästä betonilaa- dusta riippuen, ennen kuin laitoksen pystytys voidaan aloittaa. Esimerkki massiivi- sesta perustuksesta on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14 Tyypillinen massiivinen laattaperustus.

Suomessa peruskallio on monin paikoin kova, ehjä ja lähellä maan pintaa tai sen yläpuolella, jolloin voidaan käyttää kallioperustusta. Kallioperustus ankkuroidaan kiinteään kallioon useilla kymmenillä useiden metrien mittaisilla harjaterästangoilla. Ankkuritangot juotetaan kallioon porattuihin reikiin (injektointimenetelmä). Tangot kiinnitetään samaan terässokkeliin kuin torni. Sokkeli ja tangot kiinnitysrautoineen valetaan yhteen betonilla. Esimerkki kallioperustuksesta on esitetty kuvassa 15.

Kallioperustus on yleensä edullisempi kuin massiivinen perustus, ja sen tekemiseen vaaditaan kevyempi koneisto. Massiivista perustusta varten on kaivettava tai louhittava iso kuoppa, ja etenkin kalliolouhinta edellyttää raskasta kalustoa (kaivinkone, kuorma-auto). Lisäksi louhittuun kuoppaan voi kerääntyä vettä, mikä hankaloittaa rakentamista.



Kuva 15 Esimerkki kallioperustuksesta.

Perustustöiden yhteydessä on huolehdittava myös laitosten maadoituksesta. Maadoitusjärjestelyt riippuvat mm. maaperän laadusta (resistiivisyys). Ohjeet maadoituksen järjestämisestä saadaan laitostoimittajalta. Maadoitus sisältää sekä ns. operatiivisen maadoituksen että ukkossuojauksen.

Perustusten tekoon sekä laitosten kuljetukseen ja pystytykseen vaadittavat maa- ja tierakennustyöt riippuvat sijoituskohteen maasto-olosuhteista ja maaperästä, laitosten dimensioista, lukumäärästä ja konfiguraatiosta, sekä käytettävästä perustus- ja pystytystekniikasta. Yleisluontoisesti voidaan todeta, että kustannusyistä on maa- ja tierakennustyöt pyrittävä minimoimaan tai, milloin tämä ei ole mahdollista, pyrittävä vastaavasti maksimoimaan laitosten tuotanto rakentamalla tuuliolosuhteiltaan mahdollisimman hyvään kohteeseen.

8.3 Sähkötyöt

8.3.1 Verkon rakentaminen

Tuulivoimalaitoksia voidaan kytkeä kokonaistehosta riippuen

1. Yksikkökohtaisen muuntajan tai useamman yksikön yhteisen muuntajan kautta olemassaolevaan keskijännitejohtoon
2. Oman liityntäjohtoon kautta 110/20 kV asemalle
3. Oman 110 kV syöttöjohtoon ja muuntoaseman kautta 110 kV verkkoon.

Vaihtoehto 1 tulee kyseeseen yleensä maksimissaan 5 MW kokonaistehoilla. Tällöin verkkoon liitettävää kapasiteettia rajoittaa verkon vahvuus: verkon laatu, kulu- tus kyseisen säteittäisen syöttöjohtoon varrella, mahdolliset silmukkarakenteet, se- kä etäisyys lähimmälle 110 kV asemalle. Jos saman johdon varrelle rakennetaan useampia pieniä puistoja, on mahdollista liittää hieman suurempi kokonaisteho li- säämättä jännitteen vaihteluja. Myös yhdessä pisteessä verkkoon liitettävien laitosten yksikköteho ja lukumäärä vaikuttavat liitettävän kokonaistehon maksimimää- rään; puuskista johtuvat nopeat tehonvaihtelut eivät kasva lineaarisesti laitosten lu- kumäärän mukaan. Kokemuseräisesti voidaan nopeiden tehonvaihteluiden olet- ta kasvavan verrannollisesti laitoslukumäärän neliöjuureen. Näin ollen voidaan yksikköteholtaan puolta pienempiä laitoksia liittää yhdessä pisteessä verkkoon jo- pa nelinkertainen (ei kaksinkertainen) määrä.

Vaihtoehto 2 tulee kannattavaksi vasta suhteellisen suurilla kokonaistehoilla. Siirtokapasiteettina voidaan tällöin pitää 5 MW/linja. Tämän suuruissa puistoissa useankaan kilometrin johdonrakennustyöt eivät enää merkittävästi rasita hank- keen taloudellisuutta, varsinkin jos tällä tavoin päästään rakentamaan tuuliolosuh- teiltaan olennaisesti parempiin sijoituskohteisiin.

Kolmas vaihtoehto, oma 110 kV syöttöjohto, tulee kyseeseen vain hyvin suu- rilla kokonaistehoilla (10 MW tai enemmän).

Seuraavissa tarkasteluissa keskitytään lähinnä ensimmäiseen vaihtoehtoon, koska se tulee mitä ilmeisimmin olemaan Suomessa lähivuosina edelleenkin ylei- simmin käytetty.

Verkon rakennustöissä käytetään sijoituspaikasta ja tuulipuiston konfiguraa- tiosta riippuen ilmajohtoa, maakaapelia tai merikaapelia tai jopa kaikkia edellä mainittuja. Ilmajohto on edullisin ratkaisu, mutta Suomen rikkonaisilla rannikoilla joudutaan usein turvautumaan kalliimpiin ratkaisuihin. Myös maisemansuojellii- set syyt edellyttävät joissain kohteissa maa- tai merikaapelin käyttöä. Tuntureilla on puurajan yläpuolella käytettävä maakaapelia jo pelkästään jää- ja lumikuor- mienkin vuoksi.

Varsinkin pienissä hankkeissa on verkonrakennustyöt pyrittävä minimoi- maan. Mikäli tämä ei sopivien sijoituskohteiden puutteen vuoksi ole mahdollista, on vastaavasti pyrittävä rakentamaan tuuliolosuhteiltaan mahdollisimman edulli- seen kohteeseen korkeampien kustannusten kompensoimiseksi. Suuremmissa (muutamia megawatteja tai enemmän) projekteissa verkonrakennuskustannukset eivät enää ole kriittinen tekijä.

Tuulipuistot rakennetaan usein haja-asutusalueille, joiden verkko on heikko. Tämä rajoittaa puistojen kokoa. Verkon vahvistaminen on kallista, mutta se saattaa kannattaa, mikäli se mahdollistaa selvästi suuremman puiston rakentamisen kohteeseen. Suomessa useimmiten maaston rikkonaisuus ja maankäytölliset tekijät aiheuttavat sen, ettei kovin suuria tuulipuistoja voida rakentaa olemassaolevan 20 kV verkon läheisyyteen.

8.3.2 Muuntajat

Laitoksia verkkoon kytkettäessä käytetään yleensä yksikkökohtaisia puistomuuntamoita tai muuntajat sijoitetaan tuulivoimalaitoksen tornin sisään. Erikoistapauksissa yhdellä puistomuuntamalla voidaan sähköistää useampia laitosyksiköitä, tosin tällöin pienjännitteen siirtoetäisyydet ja häviöt kasvavat. Toinen vaihtoehto on käyttää tuulivoimalaitoksen torniin sijoitettavaa muuntajaa. Tornissa muuntamotila erotetaan joko välitasolla tai erillisellä seinämällä, jossa on lukittava ovi.

Muuntamoissa käytetään täysin normaalia tekniikkaa. Jos käytetään puistomuuntamoita, voidaan ainakin yksi niistä varustaa lämmitetyllä valvontahuoneella, johon voidaan sijoittaa energiamittaukset.

8.3.3 Pienjännitetyöt

Laitoksen toimittaja vastaa asennuksista laitoksen generaattorin ja pääkeskuksen välillä. Yksittäisten tuulivoimalaitosten pääkeskuksista vedetään lyhyet, max. 200 - 250 m pienjännitelinjat muuntajille (milloin ei käytetä yksikkökohtaisia muuntajia). Pienjännitejohdoissa on yleensä suositeltavaa käyttää maakaapelia. Kallioisessa maastossa ne voidaan vetää myös pinta-asennuksena, jolloin ne suojataan kaapelikouruilla.

Laitokset kytketään kaukokäyttöön optisella datakaapelilla ja/tai puhelinkaapelilla. Joissain tapauksissa myös langaton yhteys (GSM) on mahdollinen. Liityntä tehdään yleensä suoraan kunkin laitoksen pääkeskuksen tietoliikenneporttiin. Puiston sisällä kaapelit lasketaan yleensä samoihin uriin vahvavirtakaapeleiden kanssa.

Kaukokäyttöjärjestelmällä kytketään tuulipuisto valvonta-asemalle, joka voi sijaita esim. sähköyhtiön tiloissa, mikäli se osallistuu projektiin. Kaukokäyttöjärjestelmällä voidaan:

- Pysäyttää/käynnistää kaikki laitokset
- Pysäyttää/käynnistää yksittäiset laitokset
- Seurata koko puiston tilaa
- Seurata yksittäisten laitosten tilaa

Lisäksi kaukokäyttöjärjestelmiin on mahdollista saada erilaisia hälytyksiä, esimerkiksi tekstiviestinä GSM-puhelimeen.

Tuulivoimalaitoksen sähköistystöihin kuuluvat myös maadoitukset (huom. maadoitustyöt on tehtävä koordinoitusti perustustöiden kanssa!). Maadoitus on suunniteltava huolellisesti ilmastollisten ylijännitteiden (salamaniskut) takia. Mikäli riittävän matalaimpedanssinen maadoitus voidaan toteuttaa jokaiselle laitokselle ja muuntajalle erikseen, tämä saattaa olla paras vaihtoehto. Alueilla, joilla maaperän resistiivisyys on suuri, saattaa olla tarpeen liittää koko sijoituskohde yhtenä-

seen maadoitusjärjestelmään. Tämä on suositeltu käytäntö USA:n tuulipuistoissa. Oikean maadoitustavan määrittäminen onnistuu usein luontevimmin ja asiantuntevimmin paikalliselta verkkoyhtiöltä.

8.3.4 Loistehon tarve ja käynnistysvirran rajoittaminen

Tuulivoimaloissa on useimmiten epätahtigeneraattori, joka tarvitsee loistehoa magnetointiin. Loistehontarve on jo tyhjäkäynnissä suhteellisen suuri ja se kasvaa tuotetun tehon mukaan. Nykyään lähes kaikki laitoksen tarvitsema loisteho tuotetaan laitoskohtaisilla kompensointikondensaattoreilla ja verkosta otettavan loistehon tarve on uusilla laitostyypeillä varsin vähäinen.

Kun tuulivoimalaitos kytketään verkkoon, se ottaa magnetoituakseen suuren virran verkosta. Tätä käynnistysvirtaa rajoitetaan joko pehmokäynnistimellä tai käynnistysvastuksilla noin nimellsvirran suuruiseksi. Tästä huolimatta tuulivoimalaitos aiheuttaa hetkellisen aleneman verkkojännitteeseen. Yksittäisten tuulivoimalaitosten kytkeminen verkkoon ei tuota hankaluuksia kunhan käytetään virranrajoitinta. Tuulipuistoissa puolestaan useamman yksikön täsmälleen samanaikainen kytkeytyminen verkkoon on erittäin epätodennäköistä, koska kukin laitos mittaa itsenäisesti tuulen nopeutta ja aloittaa käynnistyksen, kun laitoskohtainen tuulimittari on pysynyt tietyn rajan yläpuolella esim. 10 minuutin ajan. Kun laitosten väliset etäisyydet ovat 200 - 300 m luokkaa, on käytännössä mahdotonta, että kahden rinnakkaisen laitoksen katolla olevat tuulimittarit antaisivat ”lähtökäskyn” samalla sekunnilla tai edes muutaman sekunnin sisällä. Lisäksi verkkoon kytkeytyminen tapahtuu vaihtelevalla viiveellä ”lähtökäskystä”, koska pyörimisnopeuden kiihtyminen synkroninopeuteen kestää vaihtelevan ajan, tuulennopeuden vaihteluista riippuen.

Pehmokäynnistimet koostuvat tehoelektroniikkakomponenteista ja syöttävät jonkin verran yliaaltoja sähköverkkoon, mutta koska käynnistysten lukumäärää vähennetään mm. eri kytkentätapahtumien viivästyksillä noin 4 - 5:een/vrk ja virran rajoitus kestää noin sekunnin, tämä ei ole ongelma.

8.3.5 Suojaus

Jakeluverkkoon kytkettävän tuulivoimalan suojaus on suunniteltava niin, että voimalaitos kytkeytyy irti verkosta aina kun sen syöttöjohdolla sattuu jokin vika tai syöttöjohto muusta syystä erotetaan verkosta (vrt. SLY:n suositus pienvoimalaitoksen sähkönjakeluverkkoon liittämistä). Tuulivoimalan kytkeminen jännitteettömään verkkoon on verkkoyhtiön henkilökunnan turvallisuuden vuoksi myös estetävä. Tuulivoimala, jota ei irroteta heti vian sattuessa verkosta, syöttää sähköä vikaan kohtaan ja mahdollisen valokaaren sammuminen viivästyy, minkä seurauksena pikajälleenkytkentä, joka ehkä muuten olisi onnistunut, epäonnistuu. Jos syöttöjohto, johon tuulivoimala tai -puisto on liitetty, kytketään irti verkosta ja eristetyssä verkonosassa on riittävästi loistehon tuotantoa, saattaa jännite generaattoreiden ansiosta nousta hyvinkin nopeasti vaarallisen korkeaksi. Saarekekäyttöön ja siihen liittyvien vaaratilanteiden välttämiseksi generaattorit on varustettava yli- ja alijännite- tai -taajuusreleillä. Lisäksi generaattorit on varustettava tarpeellisilla oikosulku- ja ylikuormitussuojilla. Takatehorele pitää huolen siitä, ettei tuulivoimala toimi

moottorina tiettyä aikaa kauemmin. Tuulivoimalat voidaan suojata verkosta tulevia ylijännitteitä vastaan venttiilisuojilla.

Käytännössä kaupalliset, tyyppihyväksytyt tuulivoimalaitokset on varustettu riittävillä suojausmekanismeilla, joten edellä esitetyt vaaratilanteet ovat nykyään varsin teoreettisia.

8.4 Laitoksen kuljetus ja pystytys

8.4.1 Maanteitse tapahtuva kuljetus ja pystytys

Laitokset kuljetetaan tavallisimmin rekoilla ja erikoiskuljetusautoilla rakennuspaikalle ilman välilastauksia. Torni, konehuone ja lavat kuljetetaan kukin erikseen.

Torni ja lavat ovat laitoksen komponenteista kuljetusten kannalta kriittisimmät pituutensa vuoksi ja torni myös painonsa vuoksi, vaikka torni yleensä kootaan kahdesta tai useammasta osasta paikan päällä. Lapojen pituus on yleensä 20 - 35 metriä, jota luokkaa on myös tornin osien pituus. Tornin paino voi olla yhteensä jopa 100 tonnia. Konehuone on painava, MW-laitoksilla 40 - 60 tonnia, ja saattaa tästä syystä aiheuttaa ongelmia.

Laitostoimittajat esittävät tarjouksessa tiestövaatimukset. Vaatimukset koskevat tien, siltojen ja mahdollisten lossien tai lauttojen kantavuutta ja leveyttä sekä mutkien kaarresädettä ja tien jyrkkyyttä. Useimmiten tietä täytyy tasoittaa, vahvistaa ja/tai oikoa, ja raivata puustoa tien varsilta ennen kuljetusta.

Laitoksen pystytysmenetelmä riippuu laitostyyppistä. Yleensä nostomenetelmään ei laitostyyppin valinnan jälkeen enää voida vaikuttaa tornin osien lukumäärää lukuunottamatta. Pystytyksessä on otettava huomioon säärajoitukset; voimakkaalla tuulella pystytystä ei voida suorittaa.

Jos torni koostuu useammasta osasta, se pystytetään osa kerrallaan ja osat kiinnitetään toisiinsa pystytyksen yhteydessä. Seuraavaksi nostetaan yleensä konehuone ilman roottoria, ja viimeisenä nostetaan paikan päällä koottu roottori ja kiinnitetään se konehuoneeseen.

Joissain (pienemmissä) laitostyypeissä lavat kiinnitetään roottoriin ja roottori konehuoneeseen jo ennen nostoa. Käytettäessä tätä nostotapaa kolmilapaisissa laitoissa kiinnitetään ainoastaan kaksi lapaa ennen nostoa, ja kolmas lapa nostetaan ja kiinnitetään roottoriin viimeisenä. Kolmas tapa on kiinnittää pelkkä roottorin napa konehuoneeseen ennen nostoa ja nostaa tämän jälkeen roottori lapa kerrallaan.

Menetelmästä riippuen pystytykseen tarvitaan 1 - 2 nostokapasiteetiltaan 100 - 800 tonnin nosturia. Nosturi saattaa joissain tapauksissa olla kaikkein vaikein kuljetettava: tien nousukulma ei saa missään kohtaa ylittää kullekin nosturityypille ominaista kriittistä nousukulmaa, nosturin paino ja leveys asettavat omat vaatimuksensa yhdystielle ja aluejärjestelyille jne. Tämä saattaa aiheuttaa ylimääräisiä maansiirtotöitä tai johtaa jopa koko sijoituskohteen hylkäämiseen.

Suurten nostureiden saatavuus ja kuljetus rakennuspaikalle on usein projektin toteutuksen kannalta kriittinen tekijä sekä aikataulun että kustannusten suhteen. Kaikkein suurimpia nostureita on Suomessa ainoastaan muutamia, ja nosturin kuljettaminen toiselta puolelta Suomea vain yhden tai kahden laitoksen nostamista varten on erittäin kallista. Mikäli nosturi lisäksi seisoo rakennuspaikalla usei-

ta päiviä odottamassa esim. myrskyn laantumista, aiheutuu tästä edelleen lisäkustannuksia. Useimmiten laitostoimittaja kuitenkin antaa kiinteähintaisen tarjouksen nostoista ja vastaa näin ollen odottamattomista lisäkustannuksista.

Suurimmat nosturit on koottava paikan päällä ja purettava osittain jokaista siirtymätaivalta (laitokselta toiselle) varten, mikä on myös huomioitava pystytykseen tarvittavaa aikaa arvioitaessa.

8.4.2 Offshore-pystytys

Offshore-kohteissa sekä vaikeapääsysisissä kohteissa rannikoilla ja saaristossa voidaan käyttää myös proomukuljetusta ja proomusta tapahtuvaa pystytystä. Tähän mennessä on rakennettu vain muutamia offshore-tuulipuistoja, mutta tulevaisuudessa offshore-rakentaminen tulee kasvamaan erittäin voimakkaasti. Yksinomaan tanskalaisten offshore-rakennusohjelman tavoitteena on rakentaa 750 MW tuulienergiaa Itämeren ja Pohjanmeren matalikoille vuoteen 2005 mennessä ja 3300 MW lisää vuoteen 2030 mennessä, jolloin tuulivoima kattaa noin 50 % Tanskan sähköntarpeesta. Tämän lisäksi lähinnä Hollannissa, Saksassa ja Ruotsissa on näköpiirissä laajamittaisten offshore-tuulipuistojen rakentaminen. Voidaan olettaa, että myöhemmin offshore-tuulivoimaa rakennetaan muidenkin maiden aluevesille, myös Suomeen.

Tanskassa offshore-tuulipuiston optimikooksi on arvioitu noin 120 - 150 MW. Tällöin sähkön siirron osuus kustannuksista on mahdollisimman pieni. Puiston kokoa rajoittaa kesäkauden pituus, jolloin tuulivoimalaitosten pystytys on mahdollista. Perustuksina voidaan käyttää pohjaan kiinnitettäviä metallirakenteita tai massiivisia betonirakenteita ja veden syvyys voi olla 5 - 10 metriä, jopa 15 metriä. Mitä syvempään veteen rakennetaan, sitä kalliimmaksi perustuksen tekeminen tulee. Metallirakenteiset perustukset tulevat todennäköisesti syrjäyttämään betoniperustukset.

Tornin, koneiston ja roottorin nostoon tarvitaan 1 tai 2 raskasta nosturia, nostokapasiteetiltaan 100 - 800 tonnia. Proomun koon tulee olla laitoskoosta riippuen vähintään 20 x 50 m ja minimisyvyys pystytyspaikalla proomutyypistä riippuen 2 - 4 m. Merenkäynti voi vaikeuttaa proomupystytystä huomattavasti. Pystytys on ajoitettava kesäaikaan, ja hankkeen aikataulu tulee suunnitella huolellisesti. Sääolosuhteet vaikeuttavat luonnollisesti paitsi pystytystä, myös offshore-laitosten huoltoa. Erityisesti keväällä ja syksyllä saattaa huollon kanssa tulla ongelmia, kun jäät ovat liian heikkoja kantamaan autoa tai moottorikelkkaa, mutta tarpeeksi vahvoja estämään veneellä liikkumisen. Hydrokopteri on käyttökelpoinen väline keli-rikkoajan huolloissa. Suuria offshore-laitoksia rakennettaessa helikopteritasanteen tekeminen laitoksen yhteyteen saattaa olla tulevaisuuden vaihtoehto.

Varsinaisten offshore-kohteiden ohella myös vaikeapääsysisissä kohteissa rannikoilla ja saaristossa proomukuljetus ja proomusta tapahtuva pystytys on varteenotettava vaihtoehto. Tällöin laitokset on sijoitettava mahdollisimman lähelle rantaa. Rantavesien syvyys ja karikkoisuus on rajoittava tekijä käytettäessä proomupystytystä. Jos ranta on syvä, proomu pääsee riittävän lähelle ja voidaan käyttää kevyempää nostokalustoa. Proomupystytyksen huomattavana etuna on, että tienrakennuskustannuksilta vältytään kokonaan. Vastaavasti proomun käytöstä ja myöhemmin vesitse tapahtuvasta huollosta ja ylläpidosta aiheutuu lisäkustannuk-

sia. Joissain tapauksissa proomupystytys saattaa kuitenkin olla edullisin vaihtoehto, varsinkin jos tällä tavoin päästään rakentamaan tuuliolosuhteiltaan edullisemmille paikoille.

Suomen olosuhteissa offshore-rakentaminen on tietyissä tapauksissa mahdollista siten, että perustukset tehdään jään päältä ja laitos pystytetään joko jään päältä tai proomusta. Parhaiten jään päältä operoiminen on mahdollista Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin läänin rannikolla, jossa jään muodostus on suurinta ja rantavedet ovat usein erittäin matalat. Pakkasella jäätä voidaan vahvistaa pumpaamalla vettä jään päälle.

8.4.3 Erityismenetelmiä

Yksi erityistekniikka laitosten kuljetukseen ja pystytykseen on raskaan helikopterin käyttö. Tämä voisi tulla kyseeseen etenkin tunturialueilla ja vaikeapääsyisillä rannikoilla. Suomessa ei tiettävästi ole riittävän raskasta helikopterikalustoa, ja ulkomaisten (sotilas)helikopterien käytölle saattaa olla vaikea saada työlupaa. Tätä vaihtoehtoa ei ole vielä kokeiltu Suomessa, mutta onnistuessaan se saattaisi olla kustannustehokas. Hankalissa paikoissa ja huonoissa olosuhteissa on mahdollista käyttää helikopteria huoltotoimenpiteiden suorittamiseen.

Saksassa on esitetty suunnitelmia suurten ilmalaivojen käytöstä tuulivoimalaitosten kuljetukseen. Ilmalaivalla tuulivoimalaitokset voitaisiin tuoda kokonaisuina paikalle suoraan tehtaalta (useampia laitoksia kerralla). Tämä menettely edellyttäisi todennäköisesti sekä suurta laitospakettia että suurta projektikokoa. Tulevaisuudessa etenkin merelle rakennettaessa saattaa tämäkin rakentamistapa tulla käyttöön.

8.5 Käyttöönotto

Kun laitokset on pystytetty ja tarvittavat sähkö- ja viestiliikenneasennukset on tehty, suoritetaan pystytyksen ja asennustöiden lopputarkastus. Tässä yhteydessä tilaaja ja toimittaja toteavat, että työt on suoritettu sopimuksen mukaisesti ja laitosten käyttö voidaan turvallisesti aloittaa.

Ennen varsinaisen kaupallisen sähköntuotannon alkamista toimittaja suorittaa vielä ns. testiajon, yleensä kestoaltaan 100 - 200 tuntia kutakin laitosyksikköä kohti, jonka tarkoituksena on varmistaa, että laitos toimii niinkuin pitää. Testiajon alussa voidaan vielä tehdä tarpeellisia korjauksia, säätöjä jne. Jälkimmäinen osa testiajosta kannattaa sopia luonteeltaan keskeytymättömäksi, ts. mikäli tänä aikana laitos pysähtyy muusta kuin hyväksyttävästä syystä (esim. tuulen loppuminen, verkkovika), on testiajo aloitettava alusta uudelleen.

Tilaaja ja toimittaja tarkastavat testiajojen jälkeen yhdessä laitoksen keskusyksikön ”lokikirjan”, johon on kirjautunut muistiin testiajon aikaiset tehon tuotot, käyttökeskeytykset ja niiden ajankohdat ja syyt jne. Mikäli testiajo täyttää ennalta sovitut kriteerit, laitosten kaupallinen käyttö voidaan aloittaa.

Yleensä tätä seuraavat 1,5 - 3 kuukautta määritellään vielä ns. hienosäätöperiodiksi, jonka kuluessa toimittaja voi vielä tehdä pieniä korjauksia ja säätöjä ja jonka aikana tekninen käytettävyyden saa olla varsinaista takuuarvoa alempi.

8.6 Suoritusarvojen testaus

8.6.1 Testauksen tarkoitus

Tuulivoimalaitoksen tai -puiston suoritusarvojen testauksen tarkoituksena on ensisijaisesti varmistaa, että laitoksen/laitosten suoritusarvot ovat toimittajan antamien takuuarvojen mukaiset. Mikäli tuulivoimalaitos toimii takuuarvoja huonommin (mittaustoleranssit huomioiden), toimittaja on velvollinen korvauksiin. Testaus on suoritettava takuuajan puitteissa, kuitenkin vasta laitosten testiajojen ja lopullisten hienosäätöjen jälkeen.

Tuulivoimalaitosten tehokäyrän mittauksen mittausjärjestelyt ja mittauspaikan vaatimukset on standardoitu esim. IEC-standardissa 61400-12:1998 ”Wind turbine performance testing”. Jotta tuulivoimalaitoksen toimittaja hyväksyisi tehokäyrätestauksen, testauksen suorittajan tulee olla puolueeton asiantuntijataho.

Sakkausrajoituksisten laitosten toimittaja saattaa ”virittää” koneistoa muuttamalla lapakulmaa. Tällöin laitos tuottaa vuositasolla odotettua paremmin, mutta aiheuttaa vastaavasti ylisuuria tehopiikkejä kovilla tuulilla, etenkin talvisin, jolloin ilma on keskimääräistä tiheämpää. Tämä saattaa alentaa ratkaisevasti mekaanisen voimansiirron ja/tai sähköisten komponenttien elinikää. Lisäksi vakuutus ei välttämättä korvaa vahinkoa, mikäli osoittautuu, että laitosta on ”viritetty”. Mikäli viritys voidaan testeillä osoittaa, on laitetoimittaja velvollinen säätämään laitteiston uudelleen omalla kustannuksellaan.

Tehokäyrän testauksen suhteen on muistettava, että mittaustoleranssit ovat suuret (varsinkin, kun suomalaiset sijoituspaikat ovat usein maastoltaan hankalia), ja vajavaisen suorituskyvyn toteennäyttäminen tästä johtuen usein hankalaa, ellei laitos toimi räikeästi takuuarvoja heikommin. Lisäksi tehokäyrämittauksissa tarvittava laitteisto ja työaika aiheuttavat suurehkot kustannukset. Käytännössä tehokäyrän tarkistusmittauksia ei siis välttämättä kannata tehdä, ellei ole aihetta epäillä, että tuulivoimalaitos tuottaa selvästi (yli kymmenen prosenttia) huonommin kuin mitä sen tehokäyrän mukaan pitäisi, tai ellei kyseessä ole useista suurista laitoksista koostuva tuulipuisto. Lisäksi kaikissa sijoituspaikoissa IEC-standardin mukainen tehokäyrän tarkistusmittaus ei ylipäänsä ole mahdollista, koska lähes kaikissa suunta-sektoreissa on metsää, toisia tuulivoimalaitoksia, tai muita ilmavirtausta häiritseviä esteitä. Monet laitostoimittajat eivät hyväksy minkäänlaisia lievennyksiä kansainvälisiin mittausstandardeihin.

8.6.2 Tiivistelmä IEC-standardin mittausjärjestelystä

Mittausta varten tarvitaan erillinen mittausmasto, johon sään ja tuulen havaintolaitteet sijoitetaan mitattavan tuulivoimalaitoksen napakorkeudelle, sekä laitteet tuulivoimalaitoksen tuotannon seurantaan. IEC-standardissa on hyvin tiukat kriteerit sijoituspaikan mittaussektoreiden esteettömyydestä. Jos sektori ei täytä kriteerejä, sitä ei voida ottaa huomioon tuloksia analysoitaessa.

Mitattavan tehon tulee olla laitoksen nettoteho, ts. laitoksen verkkoon syötämä teho (mitattuna muuntajan pienjännitepuolelta, jotta muuntajan ominaisuudet eivät vaikuttaisi tuloksiin). Sateen ja jäätyksen vaikutus tuotettuun tehoon on

eliminoitava mittaustuloksista, ja testien aikana ei luonnollisestikaan saa tehdä muutoksia tai säätöjä testattavien tuulivoimalaitosten koneistoihin.

Testaus koostuu mittausjaksosta, jonka aikana mitataan tuulen nopeuden ja suunnan, ilmanpaineen ja lämpötilan, sekä laitojen nettotehojen aikasarjat. Mittausjakson tulee olla riittävän pitkä siten, että saadaan riittävän paljon eri tuulen nopeuksia.

Tuulen nopeutta mitattaessa tulee käyttää anemometrejä, joiden virhe on enintään $\pm 0,1$ m/s tuulennopeusalueella 4 - 25 m/s. Mittarit kalibroidaan ennen ja jälkeen mittausjakson tuulitunnelissa (esim. IL, VTT). Anemometri on sijoitettava siten, että sillä mitattu tuuli mahdollisimman tarkasti vastaa tuulta testattavien laitojen napakorkeudella ilman turpiinien häiritsevää vaikutusta. Anemometri suositellaankin sijoitettavaksi 2 - 4 roottorinhalkaisijan etäisyydelle testattavista laitoista niiden etupuolelle vallitseviin tuulensuuntiin nähden, mahdollisimman tarkasti laitojen napakorkeudelle. Suomessa tätä suositusta on usein vaikea toteuttaa maaston kompleksisuudesta johtuen.

Tuulen suuntamittauksien avulla eliminoidaan mittaustuloksista ne ajanjaksot, jolloin laitokset varjostavat anemometriä tai toisiaan, tai tuulen suuntasektorissa on muita esteitä, esimerkiksi metsää. Ilman paineen ja lämpötilan mittausten avulla voidaan laitoksen tuottama teho korjata standardiolosuhteita (15 °C, 1013,3 mbar) vastaavaksi. Tämä antaa kuitenkin virheellisiä tuloksia lapakulmasäätöisille laitoille (vrt. kappale 5.1.1). Jäätymistä on mitattava erillisellä anturilla.

Muuttuvanopeuksisissa laitoissa on myös roottorin pyörimisnopeutta mitattava kineettisen energian muutosten laskemiseksi ja kompensoimiseksi.

Minimi datankeräysnopeus on 0,5 Hz. Data keskiarvoistetaan nopeiden tuulennopeuden- ja tehonvaihteluiden eliminoinniseksi. Yleensä tarkasteltavina suurina käytetään 10 minuutin aikakeskiarvoja.

8.6.3 Muiden suoritusarvojen todentaminen

Yleensä suoritustakuisiin kuuluvat tehokäyrän lisäksi käytettävyyden ja melutaso. Näistä ensimmäinen voidaan helposti todentaa laitoksen keskusyksikköön rekisteröityvien tietojen ja/tai kaukokäyttöjärjestelmän avulla.

Melumittauksiin on niinkään olemassa kansainvälisiä standardeja ja suosituksia, mm. IEA:n ”Recommended Practices for Wind Turbine Testing, Part 4. Acoustics”. Myös meluarvojen testauksen osalta takuumittauksia vaikeuttavat suuret toleranssit; melumittausten tarkkuus on tyypillisesti ± 2 dB, ja takuumelutason ylitys 2 dB:llä on jo erittäin poikkeuksellista.

9 Projektin jälkihoito

Vaikka tämän kappaleen otsikko on ”projektin jälkihoito”, on seuraavassa esitettyihin seikkoihin ehdottomasti varauduttava jo hyvissä ajoin ennen laitosten pystytystä. ”Jälkihoito” viittaa tässä yhteydessä siihen, että kyseiset toimenpiteet aktualisoituvat vasta laitosten pystytyksen yhteydessä tai sen jälkeen.

9.1 Vakuutukset

Toimittaja vastaa yleensä laitosten vakuutuksista kuljetuksen ja pystytyksen ajan. Vakuutusten siirtyminen tilaajan vastuulle sidotaan sopimuksessa yleensä omistusoikeuden siirtymiseen; mikäli laitosten omistusoikeus siirtyy tilaajalle esim. tavaran saapuessa rakennuspaikalle, on kohtuullista, että tilaaja vastaa myös niiden vakuutusmaksuista siitä eteenpäin. Tällöin on yleensä kyse vain kolmannelle osapuolelle aiheutuvan vahingon kattavasta vakuutuksesta, koska toimittajan vakuutus kattaa joka tapauksessa tavaran vahingoittumisen nostotöiden yhteydessä.

Koska aikaviive laitosten saapumisesta rakennuspaikalle niiden pystytykseen ja käyttöönottoon on yleensä hyvin lyhyt, ei vakuutusten osittainen päällekkäisyys rakennustöiden aikana ole merkittävä kustannuserä, joten vakuutuksen alkamisajankohta kannattanee määrittää ”varman päälle” jonkin verran ennakoon.

Tuulivoimalaitoksen tai -puiston vakuutusmaksut ovat tähänastisten kokemusten valossa merkittävä menoerä; noin kolmannes tai neljäsosa vuotuisista käyttö- ja ylläpitokustannuksista. Luonnollisesti vakuutusmaksut voidaan pitää hyvinkin alhaisina, mutta tällöin todennäköisesti korjauskulut muodostuvat aikaa myöten vastaavasti suuremmiksi. Perusoletuksena voitaneen pitää, että vakuutus- ja korjauskulujen summa on ainakin pitkällä aikavälillä ja suurissa tuulipuistoissa vakio. Lyhyellä aikavälillä ja yksittäisen laitoksen tapauksessa sattuman osuus on luonnollisesti suurempi.

Vähäinen kokemus tuulivoimalaitosten käytöstä kotimaassa saattaa vielä toistaiseksi pitää vakuutusmaksuja korkealla tasolla. Tulevaisuudessa, tekniikan tullessa tutummaksi ja käyttökokemusten karttuessa, vakuutuslaitokset eivät ehkä aseta enää yhtä korkeita varmuusmarginaaleja laitosten vakuutusmaksuille.

Vakuutustarjouksia voi kotimaisten yhtiöiden lisäksi kysellä esim. tanskalaisista vakuutuslaitoksista. Eri yhtiöiden tarjoamien vakuutusmaksujen ja -ehtojen keskinäinen edullisuusjärjestys on luonnollisesti tapauskohtaista.

9.2 Takuut, huoltosopimukset, varaosat, koulutus, manuaalit

Kaikista näistä seikoista on ehdottomasti syytä sopia jo hankintasopimusta valmisteltaessa.

Materiaalitakuu laitoksille annetaan yleensä kahdeksi vuodeksi, mutta myös 3 tai jopa 5 vuoden takuu-aika on mahdollinen (joskin pidempi takuu-aika yleensä nostaa laitoksen hintaa jonkin verran). Takuun voimassaolo edellyttää laitostoimittajan kanssa solmittavaa takuuhuoltosopimusta.

Käytettävyystakuu merkitsee sitä, että laitoksille taataan yleensä vähintään 95 % käyttöaste. Käytettävyystakuun kesto-aika saattaa vaihdella valmistajakohtaisesti, mutta yleensä se on yhtä pitkä kuin materiaalitakuun kesto-aika.

Myös tehokäyrän oikeellisuus taataan yleensä. Mikäli takuuarvoon ei päästä, toimittaja on korvausvelvollinen. Tehokäyrän testaus on yleensä suoritettava takuiden voimassaoloaikana. Korvausmenettely sovitaan hankintasopimuksessa. Osa laitostoimittajista myöntää tuotantotakuun siinä muodossa, että ostajalle taataan esim. 95 % lasketusta normaalivuoden tuotannosta. Tämänkaltaisen takuun osalta on syytä sopia tarkasti yksityiskohdista: kuka määrittää tuotantoennusteen, miten määritellään ”normaalivuosi” jne. Tehokäyrän oikeellisuuden testausta on käsitelty kohdassa 8.6.

Toimiva huolto on olennaista projektin taloudelliselle onnistumiselle. Jokainen tunti, jonka tuulivoimalaitos seisoo laitevian takia, maksaa omistajalle rahaa. Varaosapalvelun tulee näin ollen sijaita lähellä ja varaosien valmiina kotimaassa tai jopa tuulipuiston yhteydessä sijaitsevassa huoltorakennuksessa. Kuljetus esim. Tanskasta vie turhaan arvokasta aikaa, yleensä useita päiviä vaikka käytettäisiin kuriiria. Laitostoimittaja vastaa varaosapalvelun sujuvuudesta ja hoitaa tarvittavat järjestelyt.

Käyttäjäkoulutus suoritetaan laitostoimittajan toimesta, yleensä sekä tehtaalla että kotimaassa, 5 - 10 päivän kurssina sille henkilöstölle, joka käytännössä osallistuu laitosten asennustöihin ja käyttötoimenpiteisiin. Usein koulutusjakso on hienan ennen rakennustöiden alkamista, jolloin tilaajan henkilöstö voi avustaa toimittajaa rakennus- ja asennustöissä.

Laitteiston mukana toimitetaan käyttö- ja huoltokirjat säilytettäväksi käyttökeskuksessa ja jokaisessa tuulivoimalaitoksessa.

Ne laitostoimittajat, joilla on toimiva edustus Suomessa, ovat sikäli hyvässä asemassa projektin jälkihoidon järjestämisessä, että koulutus ja manuaalit ovat saatavana kokonaan tai osittain suomenkielisinä.

9.3 Tiedottaminen, opastus, tuotannon seuranta

Projektin toteutusvaiheessa kannattaa tuulivoiman julkisuusarvo hyödyntää. Rakennustöistä on tiedotettava viranomaisille ja alueen asukkaille.

Kun laitosten toimivuus on varmistettu, voidaan järjestää julkinen avajaistilaisuus, johon kutsutaan ainakin paikallisia poliittisia päättäjiä, sähköyhtiön johto, alueen asukkaat ja kansalaisjärjestöt, sekä tiedotusvälineet. Joissain tapauksissa projektilla saattaa olla jopa valtakunnallista uutisarvoa.

Avoin tiedottaminen ja edellä kuvatun kaltainen avajaistilaisuus ovat merkityksellisiä tuulivoimalaitoksista syntyvän yleisen mielipiteen kannalta. Varsinkin jos projekti on ensimmäinen seudulla, helpottaa hyvin hoidettu tiedottaminen seuraavien projektien kulkua huomattavasti.

Opastus tuulivoimalaitoksille kannattaa järjestää lähimmille pääteille. Laitosten läheisyyteen voidaan pystyttää opastaulu, jossa esitellään projektia ja tuulivoimaa yleisemminkin. Tauluun voidaan asentaa digitaalinäyttö, joka kertoo laitosten hetkellisen tuotantotehon, tuulennopeuden ja esim. viimeisen kuukauden tai vuoden aikana tuotetun kokonaissähköenergian. Joissain tapauksissa olisi lisäksi hyvä mainita turvallisuusetäisyydestä esim. putoilevien jääkappaleiden varalta. Taulussa voitaisiin myös mainita, mistä saa lisätietoja projektista.

Mahdollisuuksien mukaan voidaan järjestää myös opastettuja tutustumiskäyntejä laitoksille.

Tuotannon seuranta on paitsi tärkeää hankkeen taloudellisen kehityksen seuraamiseksi, myös välttämätöntä riippumatta siitä, ovatko laitokset paikallisen sähköjakelijan vai jonkin muun tahon omistamia; verkossa siirretyn tai verkkoon myydyin sähkömäärän seuranta on joka tapauksessa järjestettävä laskutusta varten.

Laitostoimittajat seuraavat kaikkien toimittamiensa laitosten tuotantoa. Lisäksi Suomen Tuulivoimayhdistys pitää yllä koko maan kattavaa tuotanto- ja vikatilastoa. Omistajan on syytä pitää myös omaa tilastoa laitoksistaan ja tilastoida kuukausittaisen tuotannon lisäksi ainakin seisokit, niiden kestot ja aiheuttajat, huoltotoimenpiteet ja korjaukset.

Projektin kulku

10.1 Eri toteutustapoja

Projektin toteutustapa riippuu mm. seuraavista tekijöistä:

- Potentiaalisten sijoituskohteiden lukumäärä alueella
- Hankkeen käynnistäjänä toimiva taho
- Paikallisen jakeluverkkoyhtiön halukkuus osallistua projektiin
- Paikallisten asukkaiden suhtautuminen tuulivoimaan
- Alueen/sijoituskohteen ympäristöarvot
- Hankkeen laajuus

10.1.1 Potentiaalisten kohteiden lukumäärä

Mikäli sijoituskohde on tiedossa jo esiselvityksen käynnistysvaiheessa ja on oletettavaa, ettei laitosten sijoittaminen ko. kohteeseen tule herättämään mainittavaa vastustusta, on helpointa teettää esiselvitys kyseisestä kohteesta. Mikäli esiselvitys on jo tehty esim. aluekartoituksen yhteydessä, kannattaa tulokset joka tapauksessa päivittää käyttäen tuotanto- ja kustannustarkasteluissa uusimpia saatavilla olevia laitostyyppejä. Myös kohteen maanomistus- ja kaavoitustilanne on päivitettävä.

Mikäli esiselvityksen tulokset puoltavat etenemistä, projekti voidaan tämän jälkeen toteuttaa nopeasti, ja hankkeen toteutumista voidaan pitää suhteellisen varmana. Jos kuitenkin hanke myöhemmässä vaiheessa kaatuu esim. rakennuslupa- tai maanhankintakysymyksiin, joudutaan aloittamaan nollatilanteesta ja käynnistämään uusi esiselvitys.

Esiselvityksessä tulisi paneutua tuuliolosuhteiden arvioinnin lisäksi infrastruktuurikysymyksiin, maanomistuksellisiin ja -käytöllisiin sekä ympäristöllisiin tekijöihin, ja taloudellisuustarkasteluihin. Joissain tapauksissa yksi tai useampi em. tekijöistä on jo etukäteen riittävällä tarkkuudella selvillä, jolloin esiselvitysvaihe voidaan suorittaa hyvinkin nopeasti ja edullisesti. Näin on asian laita esim. silloin, jos lähistöllä hyvin samantyyppisessä kohteessa sijaitsee tuulivoimalaitos, jonka toimintaa on seurattu jo vähintään vuoden ajan.

Jos taas tarkasteltava alue on laaja ja potentiaalisia sijoituskohteita paljon, on todennäköisesti kannattavampaa teettää koko alueen kattava kartoitus, jonka tuloksena parhaat sijoituskohteet (huomioottaen kaikki edellä mainitut tekijät) saadaan selville. Jos aluekartoitus on jo aiemmin tehty, riittää kevyt päivitys kiinnostavimpien kohteiden osalta. Jos myöhemmässä vaiheessa projektia osoittautuu, ettei laitoksia jostakin syystä voida pystyttää ensisijaiseen kohteeseen, voidaan lähteä yrittämään muita kohteita ilman, että niistä tarvitsee enää hankkia lisätietoja. Esiselvitysvaihe muodostuu tällöin hieman pidemmäksi ja kalliimmaksi, mutta vastaavasti projektin toteutuminen on varmempaa ja lupaprosessien voidaan olettaa nopeutuvan jossain määrin. Esiselvitysvaiheen osuus koko projektin kustan-

nuksista on joka tapauksessa hyvin marginaalinen, ainakin mikäli ollaan suunnittelemassa useamman kuin yhden laitoksen hankkimista.

10.1.2 Maanomistusolot, maanomistajan suhtautuminen

Useissa hankkeissa maanomistajan suhtautuminen hankkeeseen on osoittautunut avaintekijäksi projektin toteutettavuuden ja aikataulun kannalta, oli maanomistaja sitten yksityinen, yritys, tai julkisyhteisö. Maanomistajan kanssa on aloitettava yhteydenpito mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, käytännössä heti kun potentiaalisimmat sijoituskohteet alkavat hahmottua. Jos maanomistaja kokee tullessa si-
vuutetuksi hankkeen valmistelussa, on ongelmia lähes väistämättä edessä.

Usein on olosuhteiden pakosta neuvoteltava monien maanomistajien kanssa, kun tontit ovat pieniä ja tonttirajat mutkittavat maastossa. Laitosten väliset etäisyydet, niiden sijoitteluun vaikuttavat maasto-olosuhteet (korkeuserot, maaperän laatu, puusto), sekä olemassaolevien teiden hyödyntäminen ja uusien teiden linjaus ovat kaikki tekijöitä, joihin maanomistajien suhtautuminen vaikuttaa – joko suoranaisesti maa-alueen hankinnan yhteydessä tai viimeistään rakennuslu-
paproessin (rajanaapureiden valitusoikeus) yhteydessä.

Jos maanomistaja vaikuttaa kovin innokkaalta myymään tontin – vieläpä edulliseen hintaan – kannattaa varmistua, ettei aluetta olla suojelemassa tai kaa-
voituksellisin keinoin asettamassa rakennuskieltoon.

10.1.3 Kohteen ympäristöarvot, yleisön suhtautuminen

Jos sijoituskohteen läheisyydessä on ympäristöllisesti arvokkaita alueita, tai jos lähiseudulla ei ennestään ole toiminnassa kaupallisia tuulivoimalaitoksia, voi ympäristöselvitys olla avainasemassa hankkeen toteutumiseksi. Hyvin suurilta tai muuten ympäristövaikutuksiltaan merkittäviltä hankkeilta edellytetään lakisääteistä YVA-menettelyä. Jos kohde sen sijaan on ympäristöllisesti selkeästi hyväksyttävissä ja tiedetään lähiseudun asukkaiden jo ennestään suhtautuvan myönteisesti tuulivoimaan, ei ympäristöselvityksestä välttämättä ole vastaavaa hyötyä. Lupaviranomainen vaatii kuitenkin yleensä pienimuotoisen selvityksen tärkeimmistä ympäristövaikutuksista. Minimissään riittää muutama valokuviasovite maisemavaikutusten havainnollistamiseksi sekä lyhyt kuvaus ennakoituista meluarvoista laitosten lähialueella.

10.1.4 Hankkeen toteuttaja, paikallisten tahojen osallistuminen

Jos hankkeen toteuttaja on paikallinen verkkoyhtiö tai energialaitos, neuvottelut sähkönsiirrosta/myynnistä ja laitosten liittämisestä jakeluverkkoon sujuvat helposti.

Paikallisten tahojen kytkeminen hankkeeseen jollain tavoin jo alkuvaiheessa on toteuttajatahosta riippumatta erittäin suositeltavaa; kunnan, kansalaisjärjestöjen ym. mielipiteet tulisi huomioida sijoituskohteen valinnassa. Tämänkaltaisen järjestely vaatii enemmän aikaa hankkeen käynnistämävaiheessa, mutta maksaa todennäköisesti itsensä takaisin projektin toteutuksen sujuvuutena ja hankkeen toteuttajalle koituvana positiivisena maineena. Energiayhtiön ajama hanke kohtaa

usein helpommin vastustusta kuin yksityisten kansalaisten tai paikallisen osuuskunnan hanke, joten energiayhtiöiden kannattaa olla avoimia hankkeen valmisteluvaiheessa. Toisaalta on selvää, että etenkin rakennus- ja tuuliolosuhteiltaan edulliseen kohteeseen voi kiinnostuneita investoijia olla useampia, jolloin hanketta on käytännön syistä pakko valmistella matalalla profiililla siihen asti, kunnes maanomistajan kanssa on päästy sopimukseen alueen hankinnasta.

Mikäli projektin toteuttamiseksi on perustettava uusi osakeyhtiö tai osuuskunta, olisi tähän liittyvät neuvottelut hyvä käynnistää jo projektin alkuvaiheessa ja viedä niitä eteenpäin rinnan esiselvitysten kanssa. Tällöin osakkaat pääsisivät osallistumaan sijoituskohteen valintaan ja muuhun valmistelutyöhön. Paikallisten tahojen voimakas sitoutuminen projektiin loisi tällöin erittäin hyvät edellytykset nopealle ja kitkattomalle etenemiselle toteutusvaiheessa.

10.1.5 Laitostoimittajien ja konsulttien käyttö

Tuulivoimalaitosten maahantuojat tarjoavat enenevässä määrin erilaisia palveluja projektien suunnitteluun ja valmisteluun liittyen. Laitostoimittaja saattaa tarjoutua esim. vastaamaan esiselvityksen kustannuksista, avustamaan lupahakemusten teossa jne. Tällä järjestelyllä toimittajat luonnollisesti pyrkivät varmistamaan omaa asemaansa projektiin toteutusvaiheessa. Käytännössä järjestely edellyttää ainakin epävirallista sitoutumista kyseiseen toimittajaan, vaikkei virallista sopimusta vielä tässä vaiheessa laadittaisikaan.

Tämä saattaa olla hyvinkin edullinen ja nopea tapa projektin esisuunnittelu- vaiheen läpiviemiseksi. Kannattaa kuitenkin harkita, ennen kuin sitoutuu yhteen laitostoimittajaan heti projektin alussa. Toimittajien kilpailuttaminen voi tuoda merkittäviä kustannussäästöjä ja parantaa lopputuloksen laatua. Kuten jo aiemmin on todettu, esiselvitysvaiheen kustannukset ovat kokonaisinvestointeihin verrattuna marginaaliset. Lisäksi on syytä huomioda, että julkisia hankintoja koskeva lainsäädäntö yksiselitteisesti kieltää tämänkaltaiset ”kytkaupat”.

Myös konsulttien käyttöä eri työvaiheissa on harkittava tapauskohtaisesti. Puolueetonta asiantuntijaa kannattaa käyttää apuna ainakin esiselvitysvaiheessa, laitostoimittajan valinnassa ja sopimusneuvotteluissa, koska näissä vaiheissa tehdyt virheratkaisut saattavat aiheuttaa konsultin käytöstä aiheutuviin kustannuksiin nähden moninkertaisia menetyksiä projektin tulevissa vaiheissa. Käytettävien konsulttipalvelujen laajuus voidaan aina sopia tapauskohtaisesti. Tällä varmistetaan ulkopuolisten palvelujen käytöstä aiheutuvien kustannusten ja hyötyjen optimointi.

Myös projektin toteutussuunnittelun ja -valvonnan voi antaa konsultin tehtäväksi. Pienissä projekteissa tämä ei ole kustannustehokkain tapa. Suuremmissa projekteissa tällä järjestelyllä voidaan mahdollisesti parantaa projektin lopputuloksen laatua sekä optimoida kustannukset ja niistä koitua hyöty.

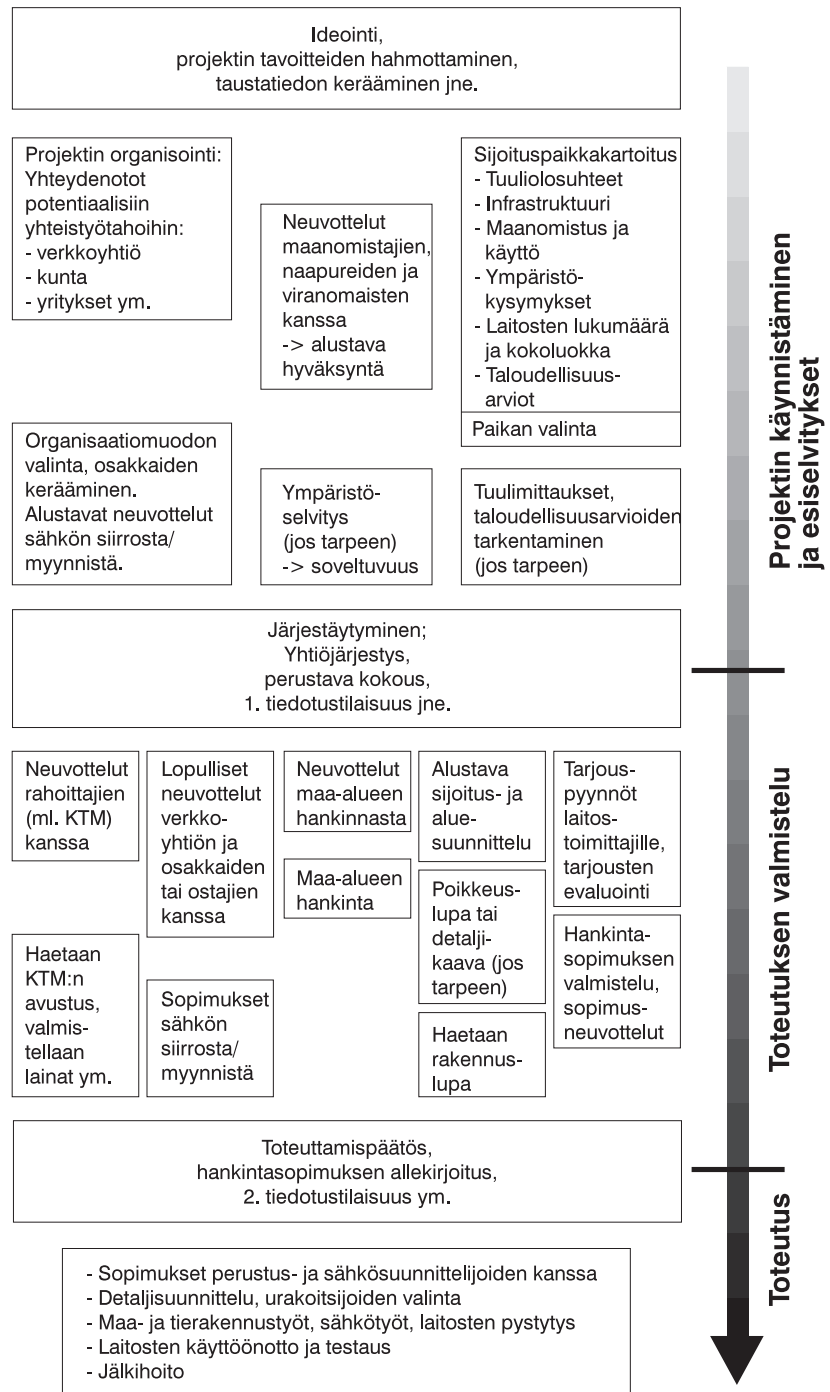
Ulkopuolisen asiantuntija-avun tarve riippuu luonnollisesti myös toteuttaja-organisaation omista resursseista ja aiemmasta kokeneisuudesta.

Sähköyhtiö tai energialaitos voi monissa tapauksissa valvoa projektin toteutuksen ja vastata suunnittelusta suurelta osin itse. Tällöin tarvitaan asiantuntija-apua ainoastaan tuulivoima- spesifisissä kysymyksissä (eikä välttämättä edes niissä, mikäli organisaatiolla on entuudestaan riittävästi kokemusta tuulivoimasta).

Mikäli yhtiö ei pysty helposti irrottamaan riittävästi resursseja projektiin, voi konsulttijohtoinen toteutus olla toimiva ratkaisu.

10.1.6 Yhteenveto projektin eri vaiheista

Seuraavalla sivulla on kaavamaisesti esitetty projektin eteneminen alusta loppuun. Jokainen projekti on kuitenkin erilainen, joten seuraava kaavio antaa lähinnä karkean käsityksen projektin toteuttamiseksi vaadittavista toimenpiteistä. Kaikkia esitettyjä työvaiheita ei välttämättä jokaisessa projektissa tarvita. Myös vaiheiden suoritusjärjestys vaihtelee tapauskohtaisesti.



10.2 Kokonaisaikataulu

Tuulivoimaprojektin kokonaisaikataulu vaihtelee tapauskohtaisesti, ja mitään yleispäteviä arvioita on vaikea antaa. Seuraavassa on esitetty suuntaa-antavia arvioita siitä, miten paljon olisi hyvä varata aikaa eri vaiheiden läpiviemiseen.

| | | |
|---|-----------|-----------|
| Taustatyö | 0,5 ... 2 | vuotta |
| Aloitteen teko ja informointi | | |
| Yhteistyösapuolten etsiminen | | |
| Esiselvitysvaihe | 2 ... 12 | kuukautta |
| Sijoituskohteen valinta | | |
| Toteutusedellytysten varmistaminen | | |
| Jos tarvitaan tuulimittauksia, minimimittausjakso 6 kuukautta | | |
| Maa-alueen hankinta | 2 ... 12 | kuukautta |
| Prosessin pituus riippuu maanomistajasta sekä alueen käytöstä ja kaavoitustilanteesta | | |
| Lupien hankinta | 2 ... 12 | kuukautta |
| Usein vaaditaan poikkeuslupamenettely, joskus ympäristölupa | | |
| Valitukset mahdollisia!! | | |
| Ympäristöselvitys | 2 ... 8 | kuukautta |
| Tarve ja laajuus harkittava tapauskohtaisesti | | |
| Täysimittainen YVA vie vähintään 6 - 7 kk | | |
| Laitostoimittajan ja -tyypin valinta | 4 ... 8 | kuukautta |
| Tarjouspyynnön laatiminen | | |
| Tarjousvertailut | | |
| Sopimusvalmistelu | | |
| Sopimukset sähkönsiirrosta ja/tai myynnistä | 2 ... 12 | kuukautta |
| Rahoitusjärjestelyt | 2 ... 6 | kuukautta |
| Oma pääoma | | |
| Lainojen valmistelu | | |
| KTM:n investointiavustuksen hakeminen ja käsittely | | |
| Laitosten toimitusaika | 4 ... 10 | kuukautta |
| Toteutussuunnittelu ja rakentamisvaihe | 4 ... 8 | kuukautta |
| Kaikki vaiheet yhteensä | 1,5 ... 3 | vuotta |

Periaatteessa projekteja on mahdollista toteuttaa huomattavasti tässä esitettyä nopeamminkin, jos toteutusedellytykset ovat hyvät. Minimiaika projektin läpiviemiselle, taustatyö mukaanlukien, lienee noin 1 vuosi.

Seuraavalla sivulla on esitetty yleispiirteinen jana-aikataulu projektin kuluksista.

10.3 Kustannusarvio

Projektin kokonaiskustannuksista on seuraavassa esitetty malliksi suuntaa-antava arvio 5 MW tuulipuistoprojektille, joka toteutetaan infrastruktuuriltaan ja ympäristöllisesti helpohkossa kohteessa. Valmistelu- ja suunnittelukustannukset on laskettu olettaen, että työt teetetään suureksi osaksi ulkopuolisilla. Usein ainakin osia esiselvityksestä, tarjousvertailusta ja toteutussuunnittelusta kannattaa oman asiantuntemuksen puuttuessa teettää ulkopuolisilla tahoilla. Taulukosta myös havaitaan, että valmistelu- ja suunnittelukustannusten osuus on materiaaalitoimituksiin ja rakennustöihin verrattuna pieni.

Investoinnit ja niihin liittyvät suunnittelukustannukset noin 5 MW tuulipuistolle (karkea arvio).

| Työvaihe | Kustannus mk | Kustannus mk/kW | Osuus % |
|---|-------------------|-----------------|------------|
| Esiselvitys, sis. muutaman eri sijoituskohteen vertailun | 50 000 | 10 | 0,15 |
| Lupaprosessien läpivieminen ml. ymp.selvitys | 250 000 | 50 | 0,8 |
| Laitostoimittajan ja -tyypin valinta ml. neuvottelut | 200 000 | 40 | 0,7 |
| Laitosten hankintahinta (4 x 1300 kW, ml. kuljetus, pystytys, varaosat ym.) | 26 000 000 | 5 000 | 83,0 |
| Aluesuunnittelu, maa-alan raivaus ja tasoitus | 300 000 | 60 | 1,0 |
| Perustukset kalliolle, ml. suunnittelu | 2 000 000 | 380 | 6,4 |
| Liittäminen sähköverkkoon, ml. suunnittelu | 2 000 000 | 380 | 6,4 |
| Toimitusten ja urakoiden valvonta | 500 000 | 100 | 1,6 |
| Yhteensä | 31 300 000 | 6 020 | 100 |

Keskimääräisistä (koko käyttöiän yli lasketuista) vuotuisista käyttö- ja ylläpitokustannuksista 5 MW tuulipuistolle on seuraavassa esitetty karkeat arviot. On syytä huomata, että esim. korjauskulut ovat alkuvuosina todennäköisesti selvästi alemmat ja nousevat voimakkaasti käyttöiän loppupuolella.

Vuotuiset käyttö- ja ylläpitokustannukset noin 5 MW tuulipuistolle (karkea arvio).

| Menoerä | mk | mk/kW, a |
|----------------------|----------------|------------|
| Huollot | 250 000 | 50 |
| Korjaukset | 250 000 | 50 |
| Vakuutukset | 150 000 | 30 |
| Hallinto ja valvonta | 100 000 | 20 |
| Yhteensä | 750 000 | 150 |

Lähdeviitteet

1. BTM Consult, International Wind Energy Development, World Market Update 1998, BTM Consult 1999.
2. B. Tammelin, Suomen Tuuliatlas, Ilmatieteen laitos 1991.
3. B. Tammelin, Meteorologista taustatietoa tuulienergiakartoitukselle, Ilmatieteen laitos 1991.
4. VTT Energia, Tuulivoiman tuotantotilastot, www, 1999.
5. H. Holttinen, Tuulivoiman tuotantotilastot, vuosiraportti 1998, VTT Energia/Suomen Tuulivoimayhdistys, 1999.
6. N.G. Mortensen, L. Landberg, I. Troen, E.L. Petersen, Wind Atlas Analysis and Application Program (WA⁵P) – User's Guide, Risø National Laboratory 1993.
7. B. Tammelin, Ilmatieteen laitos, henk.koht. tiedonanto.
8. Energia-Ekono Oy, Vaasan läänin alueellinen tuulivoimakartoitus, Energia-Ekono 1996.
9. Energia-Ekono Oy, Varsinais-Suomen alueellinen tuulivoimakartoitus, Varsinais-Suomen liitto 1997.
10. Energia-Ekono Oy, Lapin tuulivoima-alueiden kartoitus, Lapin liitto 1997.
11. Energia-Ekono Oy, Pohjois-Pohjanmaan rannikon alueellinen tuulivoimakartoitus, Pohjois-Pohjanmaan liitto 1998.
12. Energia-Ekono Oy, Länsi-Uudenmaan alueellinen tuulivoimakartoitus, Uudenmaan liitto 1999.
13. Tuulivoima maankäytön suunnittelussa, Ympäristöministeriön työryhmämietintö, 1997.
14. H. Seifert, B. Tammelin, Icing of Wind Turbines in Europe, Proceedings of Boreas III Conference, pp. 43-51, Ilmatieteen laitos 1996.
15. E.L. Petersen, B. Tammelin, R. Hyvönen, Wind Resources Assessment in Complex Terrain in the Far North, Proceedings of Boreas Conference, pp. 73-87, Ilmatieteen laitos 1992.
16. P. Lehtonen, Wind Measurements at Ylläs Broadcasting Station 1982 - 1991, Proceedings of Boreas Conference, pp. 104-119, Ilmatieteen laitos 1992.
17. Energia-Ekono Oy, Tuulivoimaan liittyvien ympäristö- ja maankäytöllisten näkökohtien tarkastelu Suomessa, Energia-Ekono 1994.
18. I. Clausager, H. Nørns, Impact of Wind Turbines on Birds, Proceedings of European Union Wind Energy Conference 1996, pp. 156-159, H.S. Stephens & Associates 1996.

Kirjallisuutta

Alla on esitetty joitakin hyödyllisiä julkaisuja ja projektiraportteja, jotka antavat taustatietoa mm. tuuliolojen arvioinnista, tuulivoimaprojektin toteutusedellytyksistä, tuulivoiman markkinanäkymistä ja teknisestä kehityksestä.

Tuulensilmä, Suomen Tuulivoimayhdistys r.y., aikakauslehti, ilmestyy 3 - 4 kertaa vuodessa.

Vindögat, Vindkraftföreningen r.f., aikakauslehti, ilmestyy 4 kertaa vuodessa.

B. Tammelin: Suomen Tuuliatlas, Ilmatieteen laitos 1991.

B. Tammelin: Meteorologista taustatietoa tuulien energiakartoitukselle, Ilmatieteen laitos 1991.

Ilmatieteen laitos, konferenssijulkaisut Boreas I - IV, 1992, 1994, 1996, 1999.

H. Holttinen, Tuulivoiman tuotantotilastot, Vuosiraportit 1996 - 98, VTT Energia/Suomen Tuulivoimayhdistys, 1997 - 99.

H. Holttinen, S. Liukkonen, K.J. Furustam, M. Määttänen, E. Haapanen, E. Holttinen, Offshore-tuulivoima perämeren jääolosuhteissa, VTT Julkaisuja 828, 1998.

H. Holttinen, E. Peltola, G. Koreneff, Tuulivoimatuotannon vaihtelut ja niiden arviointi, VTT Tiedotteita 1800, 1996.

Energia-Ekono Oy, Vaasan läänin alueellinen tuulivoimakartoitus, Energia-Ekono 1996.

Energia-Ekono Oy, Varsinais-Suomen alueellinen tuulivoimakartoitus, Varsinais-Suomen liitto 1997.

Energia-Ekono Oy, Lapin tuulivoima-alueiden kartoitus, Lapin liitto 1997.

Energia-Ekono Oy, Pohjois-Pohjanmaan rannikon alueellinen tuulivoimakartoitus, Pohjois-Pohjanmaan liitto 1998.

Energia-Ekono Oy, Länsi-Uudenmaan alueellinen tuulivoimakartoitus, Uudenmaan liitto 1999.

European Wind Energy Association: Wind Energy – The Facts, European Communities 1999.

BTM Consult, International Wind Energy Development, World Market Update 1998, BTM Consult 1999.

EUREC Agency, The Future for Renewable Energy, Prospects and Directions, James&James, 1996.

Internet-osoitteita

Seuraavassa on esitetty muutamia internet-osoitteita, joista saa taustatietoa tuulivoimasta. Sivulla on runsaasti lisää linkejä.

| | |
|--|---|
| www.tuulivoimayhdistys.fi | Suomen Tuulivoimayhdistys r.y. |
| www.vindkraftforeningen.fi | Vindkraftföreningen r.f. |
| www.motiva.fi | Motiva |
| www.lumituuli.fi | Lumituuli Oy |
| www.alcon.aland.fi/wind/ | Ålands Vindenergiandelslag |
| www.windpower.dk | Tanskan tuulivoimateollisuuden keskusjärjestö |
| www.ewea.org | Euroopan tuulivoimayhdistys EWEA |
| www.awea.org | Amerikan tuulivoimayhdistys AWEA |
| www.bwea.com | Britannian tuulivoimayhdistys BWEA |

1 Olostunturi

Tunturituuli Oy:n tuulipuiston ensimmäinen vaihe, 2 x 600 kW, rakennettiin Muonion Olostunturille syksyllä 1998. Toinen vaihe, 3 x 600 kW, pystytettiin syyskuussa 1999.

Tunturituulen omistajat ovat voimayhtiöitä, sähkönjakelijoita ja teollisuutta; suurimmat omistajat ovat Fortum Power and Heat Oy (55,4 %), UPM-Kymmene Oyj (17,1 %) sekä Lapin Sähkövoima Oy (10,5 %).

Laitosten käytöstä ja ylläpidosta vastaa Kemijoki Arctic Technology Oy.

Tuottajayhtiö on keskinäinen yhtiö, joka myy sähkön omakustannushintaan osakkailleen. Osakkaat myyvät tuulisähköä erikseen tai osana muuta sähköntoimistusta tai käyttävät sähköä tuotantotekijänään. Laitokset on liitetty Muonion Sähköosuuskunnan 20 kV verkkoon.



Kohde oli mukana Lapin tuulivoimakartoituksessa 1996 - 97. Hankkeen suunnittelu- vaiheessa (1997) haettiin tutkimuslupa Metsähallitukselta maaperä- ym. tutkimuksia varten. Rakennustöiden rajausta ja sijoitussuunnittelu uhanlaisten kasvien suojelemiseksi laadittiin yhdessä Metsähallituksen kanssa. Rakennuslupa haettiin Muonion kunnan tekniseltä lautakunnalta. Valituksen takia luvan tulo lainvoimaiseksi kesti noin 10 kuukautta. Töiden aloittamista varten saatiin toimenpidelupa Muonion tekniseltä lautakunnalta.

Valmisteluvaiheessa (1995 - 96) käytiin keskusteluja eri intressipiirien kanssa. Virallisia lausuntoja saatiin tuulivoimakartoituksen yhteydessä. Lisäksi tiedotettiin mm. rakentamisen alkamisesta ja valmistumisesta.

Tekninen suunnittelu ja toteutus: 1. vaiheen laitosten (2 x 600 kW) yhteenlasketuksi vuosituotannoksi arvioitiin 2800 MWh (2333 h/a). Arvion laati VTT/Kemijoki Oy. Laitostyyppiä valittiin tarjouskilpailun perusteella Bonus 600 kW Mk IV. Laitokset on varustettu Kemijoki Arctic Technologyn jäänestöjärjestelmällä.

Sähköurakoinnista vastasi Muonion Sähköosuuskunta ja rakennusurakoinnista ja -valvonnasta Kemijoki Oy.

Hankkeen ensimmäisen vaiheen investointikustannukset olivat noin 8 Mmk (6670 mk/kW). Pitkät kuljetusetäisyydet ja hankalat rakentamisolosuhteet nostivat kustannuksia, samoin kuin jäänestöjärjestelmä, joka Lapin tuntureilla on käytännössä välttämätön investointi. KTM:ltä saatiin hankkeelle investointitukea 35 %.

Toteutunut tuotanto on ensimmäisen vajaan vuoden aikana ollut ennakoitua alhaisempi (tammi-heinäkuussa 1999 kahden laitoksen yhteenlaskettu tuotanto oli 1068 MWh eli 76 % ko. aikavälin ennusteesta). Tuotantolukujen alhaisuus on johonkin ennen kaikkea poikkeuksellisen heikoista tuuliolosuhteista Pohjois-Suomessa.

Hanke on saanut runsaasti julkisuutta. Etenkin maakunnan lehdet ja paikallisliradiot ym. ovat seuranneet hankkeen eri vaiheita. Hanke on otettu vastaan pää-

osin myönteisenä uutisena. Vakituisten asukkaiden ilmaisemat mielipiteet ovat yksinomaan myönteisiä, muutamat loma-asukkaat ovat kritisoinneet hanketta.

Hankkeen toisen vaiheen yhteydessä on toteutettu tuulipuiston maisemointi, joka kattaa laitosten huoltoalueiden ja -tien maisemoinnin sekä luontopolun toteuttamisen yhteistyössä Metsähallituksen kanssa. Ympäristötaidetta on tehty myös luontopolun varrelle. Tuulipuiston maisemoinnissa yhdistyvät luonto, ympäristörakentaminen, ympäristötaide ja tuulivoima toisiaan tukeviksi elementeiksi.

2 Kuivaniemi

Vapo Oy:n tuulipuisto Kuivaniemellä, 3 x 750 kW, rakennettiin syksyllä 1998 Kuivamatalan saareen Vatunginnokan edustalla. Syksyllä -99 hanketta ollaan laajentamassa Vatunginnokkaan rakennettavilla kolmella 750 kW laitoksella.



Laitteet on vuokrattu Vapon Tuulivoima Oy:lle, josta Vapo omistaa 90 % ja Kuiva-Turve Oy 10 %. Vapon Tuulivoima on tuotantoyhtiö, laitosten käytöstä ja ylläpidosta vastaavat Kuiva-Turve Oy (valvonta), Fortum Adanced Energy Systems (takuuajan huollot), ja Vapon Tuulivoima Oy (käytönjohtajuus). Takuuajan jälkeen huollot tehdään osittain itse.

Sähkön ostavat Jyväskylän Energia ja Oulun Seudun Sähkö, jotka välittävät sähkön Vapon kohteisiin, joka siis on sähkön loppukäyttäjä. Laitokset on liitetty Rantakairan Sähkö Oy:n verkkoon.

Kohteet olivat mukana Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimakartoituksessa, jonka yhteydessä mm. kunta ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus antoivat myönteiset lausunnot kohteiden toteutettavuudesta. Hankkeelle haettiin poikkeuslupa, rakennuslupa ja Vesioikeuden lupa. Yhteensä lupien saaminen kesti vain noin 2 kuukautta. Lentoestelausunto hankittiin Ilmailuhallinnolta.

Kolmen laitoksen yhteenlasketuksi vuosituotannoksi arvioitiin 4000 - 4500 MWh. Tarjouskilpailun yhteydessä pyydettiin laitetoimittajilta tuotantoarviot, joita varovaisuussyistä tarkistettiin hieman alaspäin. Laitostyyppiä valittiin NEG Miconin 750 kW, 44 m roottorilla varustettu laitos. 2. vaiheessa käytetään muutoin

samaa laitostyyppiä mutta 48 m roottorilla. Laitosten alin toimintalämpötila on -30 °C.

Sähkösuunnittelusta vastasi Vapo Oy/YSP – Yleinen Sähköpalvelu Oy, sähköurakoinnista Revon Sähkö Oy ja ABB Installaatiot. Rakennusteknisen suunnittelun hoiti oululainen Rantakokko & Co ja rakennusurakoinnin Rakennus Oy Lemminkäinen Vapo Oy:n valvonnassa.

Kokonaisinvestoinnit 1. vaiheelle olivat noin 14 Mmk eli 6220 mk/kW. Rakentaminen saarelle aiheutti lisäkustannuksia (merikaapeli, rantojen täyttö, väliaikainen pengertie, huoltolaituri, 20 kV siirtolinjan vahvistaminen...). Hankkeelle saatiin KTM:n investointitukea 35 %.

Toteutuvaa tuotantoa ja käytettävyyttä suhteessa ennakoituun ei ole vielä arvioitu.

Hanke on saanut runsaasti julkisuutta lehdissä, radiossa ja televisiossa. Paikalliset tahot ovat suhtautuneet erittäin myönteisesti, tuulipuistosta on mm. käytetty nimitystä ”paikkakunnan kruunu”.

Myönteisten kokemusten johdosta päätettiin toteuttaa jatkohanke, 3 x 750 kW, joka otetaan käyttöön jo vuoden kuluttua 1. vaiheesta.

3 Lumijoki

Lumituuli Oy:n ensimmäinen voimala, nimellisteholtaan 660 kW, nousi Lumijoen Routunkarille kevättalvella 1999. Laitos sijaitsee tarkoitusta varten rakennetulla keinosaaressa vajaan kilometrin etäisyydellä rannasta.



Lumituuli Oy:ssä on lähes tuhat osakasta; kotitalouksia, yrityksiä, yhdistyksiä ja kuntia eri puolilta Suomea.

Lumituuli vastaa itse laitosten ylläpidosta. Huollot hoitaa laitostoimittaja Vestas, lukuunottamatta tulevia vuosihuoltoja, jotka Lumituuli tekee itse. Käytönjohtajuus on tätä kirjoitettaessa vielä avoin.

Sähkö siirretään kantaverkkoon Oulun Seudun Sähkön toimesta. Tuulisähkö myydään ensisijaisesti Kainuun Sähkö Oyj:n välityksellä osakkaille, toissijaisesti Kainuun Sähkölle, joka myy sitä osana ekosähkökapasiteettiaan.

Lumijoella syntyi ajatus kuluttajaomisteisesta tuulivoimayhtiöstä jo vuonna 1994. Hankkeelle ehdittiin jo hakea ja saada KTM:n investointiavustuskin (37 %, v.

-95), mutta hankkeen eteneminen pysähtyi vetäjien ajan- ja pääoman puutteeseen. Ympäristöjärjestö Dodo ry käynnisti hankkeen uudelleen yhteistyössä Lumijoen kunnan ja kuntalaisten kanssa, minkä seurauksena perustettiin ensimmäinen valtakunnallisesti toimiva kuluttajaomisteinen yhtiö, Lumituuli Oy.

Kohteeseen oli jo vuosina 1994 - 95 tehty tuulisuus- ja kustannusarvioita. Kohde oli mukana Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimakartoituksessa vuonna 1997, missä yhteydessä mm. kunta ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus antoivat myönteiset lausunnot kohteen toteutettavuudesta.

Hankkeelle tarvittiin vesilupa Pohjois-Suomen vesioikeudesta (käsittelyaika 3 kk), poikkeuslupa Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskukselta ja Lumijoen kunnalta (käsittelyaika yhteensä 6 kk), sekä rakennuslupa ja lentoestelausunto Ilmailuhallinnolta.

Projektista tiedotettiin suoramarkkinoinnilla (markkinointikirjeet, messutapahtumat), lehti-ilmoituksin ja järjestämällä yleisötilaisuuksia. Hanke sai valtakunnanlaajuista julkisuutta.

Energia-Ekono päivitti Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimakartoituksen yhteydessä tehdyn tuotantoarvion projektissa käytettävälle laitostyypille (Vestas 660 kW/47 m). Tuotantoarvio on 1800 MWh (2730 h/a). Laitostyyppin kylmäkestävyys on -30 °C.

Sähkösuunnittelusta vastasi PVO Engineering ja sähköurakoinnista Suomen Voimatekniikka Oy. Rakennusteknisestä suunnittelusta ja urakkavalvonnasta vastasi niin ikään PVO Engineering ja rakennusurakoinnista Uunila Oy. Nosturiurakoitsija oli Hongisto Oy. Laitos pystytettiin matalaan veteen rakennetulle keinosaaralle, joka varustettiin mm. jääpuskurilla sekä huoltoaluslaiturilla. Keinosaaressa rakentaminen, perustustyöt, sekä itse laitoksen pystytys tehtiin jään päältä. Laitoksen rakennustekniikka on ainutlaatuinen koko maailman mittakaavassa.

Hankkeen investointikustannukset olivat noin 5,35 Mmk (8100 mk/kW). Poikkeuksellinen sijoituskohde (keinosaaari) ja rakennustekniset ratkaisut sekä merikaapeli luonnollisesti nostivat investointikustannuksia merkittävästi, varsinkin kun kohteeseen rakennettiin vain yksi laitos. Hankkeelle oli myönnetty 37 % investointituki jo vuonna 1995, tukipäätös uudistettiin samansuuruisena. Sähkön siirtohintaa 20 kV verkossa on 2 p/kWh.

Toteutuvaa vuosituotantoa on liian aikaista arvioida, mutta ensimmäisten kuukausien perusteella laitoksen huipunkäyttöaika tulee olemaan yksi Suomen parhaita. Laitos on toiminut ensimmäiset 5 - 6 kuukautta erittäin hyvällä käytettävyydellä.

Hankkeesta syntynyt julkisuus on ollut yksinomaan positiivista. Myös paikkakuntalaisten keskuudessa hankkeella on ollut vahva kannatus kaiken aikaa. Monia paikkakuntalaisia on Lumituulen osakkaina, samoin Lumijoen kunta. Lumituuli aikoo rakentaa lisää laitoksia, mutta aikataulu on tätä kirjoitettaessa vielä avoin. Laitosten kokoluokaksi kaavaillaan edelleen 660 kW.

4 Meri-Pori

Hyötytuuli Oy:n tuulipuisto, 8 x 1000 kW, rakennettiin Meri-Poriin Reposaaren ja Tahkoluodon alueelle kesällä 1999. Laitokset on rakennettu kolmeen eri sijoituspaikkaan muutaman kilometrin etäisyydelle toisistaan; neljä laitosta sijaitsee

Reposaaren pengertien varrella, kolme Tahkoluodon syväsataman aallonmurrajalla ja yksi Reposaaren aallonmurrajalla.

Hyötytuulen omistaa saman suuruisilla osuuksilla yhdeksän kaupunkienergiayhtiötä: Espoon Sähkö Oyj, Jyväskylän Energia Oy, Lahti Energia Oy, Lappeenrannan Energia, Mankala Oy (Helsinki ja Kotka), Pori Energia, Turku Energia Oy, Tampereen Sähkölaitos, ja Vantaan Energia Oy.

Laitosten käytöstä ja ylläpidosta vastaa Pori Energia.

Tuottajayhtiö on keskinäinen yhtiö, joka myy sähkön omakustannushintaan osakkailleen. Osakkaat myyvät tuulisähköä erikseen tai osana muuta sähköntoimintusta. Sähköä markkinoidaan yhteisellä Hyötytuuli-tuotemerkillä. Laitos on liitetty Pori Energian 20 kV verkkoon.



Kohteet olivat mukana Porin tuulivoimakartoituksessa 1993. Kartoituksen tulosten pohjalta kohteet varattiin tuulivoiman rakentamiseen alueen osayleiskaavassa, joka valmistui 1997. Tästä huolimatta katsottiin viranomaisten kanssa käytyjen keskustelujen perusteella tarpeelliseksi hakea poikkeuslupa kaikille muille paitsi Reposaaren aallonmurtajan laitokselle. Tahkoluodon laitoksille poikkeuslupa haettiin Porin kaupungilta ja pengertien laitoksille Lounais-Suomen ympäristökeskukselta. Samalla haettiin myös ympäristölupa Porin kaupungilta. Ympäristölupaa varten laadittiin valokuvasovitteet, lisäksi selvitettiin mm. yleisön turvallisuuden takaamiseksi tarvittavia toimenpiteitä pengertiellä. Kun poikkeus- ja ympäristöluvat oli saatu ja laitostyyppi valittu, haettiin rakennuslupa Porin kaupungilta. Lentoestelausunto hankittiin Ilmailuhallinnolta.

Valmisteluvaiheessa (1998) käytiin keskusteluja eri intressipiirien kanssa. Virallisia lausuntoja saatiin lupahakemusten yhteydessä. Lisäksi tiedotettiin mm. rakentamisen alkamisesta ja valmistumisesta.

Kahdeksan 1000 kW laitoksen yhteenlasketuksi vuosituotannoksi arvioitiin hieman alle 20000 MWh (2450 h/a). Arvion laati Energia-Ekono Oy. Laitostyyppiä selvitettiin tarjouskilpailun perusteella Bonus 1000 kW. Pengertien varressa sijaitsevat neljä laitosta on yleisön turvallisuuden vuoksi varustettu Kemijoki Arctic Technologyn jäänestöjärjestelmällä.

20 kV sähkötöiden suunnittelusta ja toteutuksesta vastasi Pori Energia. Porilainen Geoinsinöörit/Ineto Oy vastasi perustusten ja pohjatöiden suunnittelusta ja urakkavalvonnasta sekä liikennejärjestelyistä rakennustöiden ja pystytyksen aikana. Maarakennusurakan suoritti Skanska-konserniin kuuluva Rakennus Oy Vuorenperä. Nosturiurakoitsijana laitosten pystytyksessä oli Havator Oy. Energia-Eko-

no Oy valvoi Bonuksen toimituksen, laitosten pystytyksen sekä asennustyöt ja käyttöönototestit.

Hankkeen investointikustannukset olivat noin 50,5 Mmk (6300 mk/kW). Aallonmurtajien ja pengertien vahvistus ja levennys sekä pengertien laitosten perustusten paalutus nostivat kustannuksia, samoin kuin jäänestöjärjestelmä joka turvallisuussyistä oli käytännössä välttämätön investointi pengertiellä. KTM:ltä saatiin hankkeelle investointitukea 33 %.

Toteutunutta tuotantoa ja käytettävyyttä on vielä liian aikaista arvioida. Ensimmäisten kuukausien perusteella (verrattuna alueella ennestään sijainneen 300 kW laitoksen tuotantoon) vaikuttaa kuitenkin siltä, että tuotantoarvio pitää suhteellisen hyvin paikkansa.

Hanke on saanut runsaasti julkisuutta. Etenkin maakunnan lehdet ja paikallislisäradit ym. ovat seuranneet hankkeen eri vaiheita, mutta myös valtakunnallisissa lehdissä ja tv-kanavilla hanke sai runsaasti huomiota. Hanke on otettu vastaan myönteisenä uutisena. Vakituisten asukkaiden ja vierailijoiden ilmaisemat mielipiteet ovat olleet yksinomaan myönteisiä.

Mikäli tuotetulle tuulisähkölle riittää kysyntää, yhtiö saattaa rakentaa nykyisten laitosten läheisyyteen joitakin lisäyksiköitä lähivuosina. Päätöksiä ei asiasta ole vielä tehty.

Pengertien laitosten viereen on rakennettu esittelyrakennus, jossa vierailijoille esitellään tuotantoyhtiötä, tuulipuistoa, ja tuulivoimaa yleisemminkin. Tuulipuiston toimintaa tutkitaan seurantamittauksilla, joista vastaavat VTT Energia ja Energia-Ekono.

5 Kökar

500 kW tuulivoimalaitos Kökarissa on yksi Ålands Vindenergi Andelslagin omistamasta seitsemästä tuulivoimalaitoksesta Ahvenanmaalla. Se rakennettiin vuonna 1997. Muut osuuskunnan omistamat laitokset sijaitsevat Sottungassa, Eckerössä, Vårdössä ja Lemlandissa.



Ålands Vindenergiandelslagilla on noin 1000 osakasta eri puolilla Ahvenanmaata. Osuuskunta omistaa laitokset ja vastaa niiden käytöstä ja ylläpidosta. Lai-

tostoimittaja tekee vuosihuollot. Tuotettu sähkö siirretään Ålands Elandelslagin verkossa osakkaille (vuodesta 1999, tätä ennen verkkoyhtiö osti koko tuotannon).

Kökarin hankkeelle tarvittiin maanomistajan lupa (tienrakennusta varten), sijoituslupa Ålands Hälsonämndiltä, Ilmailulaitoksen lentoestelausunto, rakennuslupa Kökarin rakennuslautakunnalta, ja ilmoitus Ahvenanmaan maakuntahallitukselle koskien sähköntuotantolaitoksen käyttöönottoa. aikki tarvittavat luvat saatiin neljässä kuukaudessa.

Kökarin laitoksen (Enercon E-40, 500 kW) arvioitu vuosituotanto on 1200 - 1400 MWh (2400 - 2800 h/a). Tuotantoarvion laati Ålands Teknologicentrum. Laitoksen lavat on varustettu Enerconin jäänsulatusjärjestelmällä, ja tuulen nopeus- ja suuntamittarit ovat lämmitetyt.

Sähkösuunnittelusta vastasi Enercon ja sähköurakoinnista Ålands Elandelslag ja Ålands Vindenergiandelslag. Enercon hoiti myös rakennussuunnittelun ja -urakoinnin sekä urakkavalvonnan.

Kokonaisinvestointi oli noin 3 Mmk (6000 mk/kW). Ahvenanmaan maakuntahallitus myönsi hankkeelle 40 % investointituen. Käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat takuuaikana olleet noin 30 000 mk vuodessa.

Vuonna 1998 laitos tuotti 1480 MWh (2960 h/a), eli selvästi yli arvioidun. Laitos on käyttöönotostaan lähtien ollut Suomen parhaiten tuottava tuulivoimalaitos. Käytettävyys on ollut 98 - 99 %.

Hanke on saanut erittäin myönteisen vastaanoton paikkakunnalla. Kökarilaiset ovat ylpeitä hyvin tuottavasta tuulivoimalaitoksestaan ja esittelevät sitä mielellään turisteille.

Energia-Ekono on laatinut Ahvenanmaan maakuntahallitukselle selvityksen tuulivoiman rakentamismahdollisuuksista. Suorana seurauksena selvityksestä on maakuntahallitus tilannut Ålands Teknologicentrumilta yksityiskohtaisen kartoituksen, jossa selvitetään suurempien tuulipuistojen (3 - 10 MW/paikka) potentiaaliset rakennuspaikat maakunnassa. Kartoitus valmistuu syksyllä 1999. Ahvenanmaan maakuntahallitus on asettanut tavoitteeksi, että vuonna 2006 tuotetaan 10 % maakunnan sähköntarpeesta tuulivoimalla. Energia-Ekonon selvityksen mukaan tuulivoiman osuus voisi kohota jopa 30 %:iin vuoteen 2020 mennessä.

Syksyllä 1998 Ahvenanmaalle rakennettiin kolme samantyyppistä laitosta lisää, ja syksyllä 1999 kaksi Enercon E-44 (600 kW) laitosta.

Energiantuotanto, huolto, käyttökokemukset

Iin Energia Oy

Risto Paaso
Asematie 13
91100 Ii
p. (08) 817 3030
500 kW Nordtank

Fortum Oy

Kaj Pikulinsky
PL 20
00048 Fortum
p. (09) 85611
Inkoo Kopparnäs
50 kW hydrotroninen
koevoimalaitos

Kemijoki Oy

Esa Aarnio
Valtakatu 9-11
96100 Rovaniemi
p. (016) 7401
Tuulivoimaloiden huolto- ja
kunnossapitopalvelut
ulkopuolisille
Pyhätunturi
220 kW WindWorld

Kemin Energialaitos

Tarmo Malvalehto
Valtakatu 26
94100 Kemi
p. (016) 259 342
Kemi Ajos
3 x 300kW Nordtank

Korsnäs

Tuulivoimapuisto Oy
Sven Nysten
66290 Harrström
p. (06) 3645242
Korsnäs
4 x 200 kW Nordtank

Kuivaturve Oy

Sakari Herva
PL 1
95101 Kuivaniemi
p. (016) 247 441
Kuivaniemi 500 kW
Nordtank
Kuivaniemi 3 x 750 kW
NEG Micon

Lumituuli Oy

Aarne Koutaniemi
Vironkatu 5
00170 Helsinki
p. (09) 6220 0777
f. (09)6220 0780
info@lumituuli.fi
www.lumituuli.fi
energiantuotanto, tuulisähkö,
asiakasomisteisuus
Lumijoki offshore
Vestas 660 kW

Pori Energia

Janne Vettervik
PL 9
28101 Pori
p. (02) 621 2126
Pori 300 kW Nordtank

Revon Sähkö Oy

Petri Tyhtilä
PL 31
86301 Oulainen
p. (08) 47911
Siikajoki
2 x 300 kW Nordtank
Kalajoki
2 x 300 kW Nordtank
Hailuoto
2 x 300 kW Nordtank
Hailuoto
2 x 500 kW Nordtank
Siikajoki
2 x 600 kW Nordtank

Tunturituuli Oy

Kimmo Dahl
c/o Fortum Oy
PL 40
00048 Fortum
p. (09) 85611
Enontekiö 65 kW Nordtank
Lammassoavi
2 x 450 kW Bonus
Lammassoavi
1 x 600 kW Bonus
Olostunturi
2 x 600 kW Bonus

Ålands

Teknologicentrum

Robert Mansén
Pb 80
22101 Mariehamn
p. (018) 5321
Sottunga 225 kW Vestas
Eckerö 500 kW Vestas
Kökar 500 kW Enercon
Lemland 4 x 600 kW Vestas
Värdö 1 x 500 kW Enercon
Finström
2 x 500 kW Enercon

Maahantuojat, valmistajat, jälleenmyynti

Eurosolar- Engineering Oy

Tuotekatu 7
21200 Raisio
p. (02) 4398 611
Aurinko- ja
tuulienergialaitteet

Insinööritoimisto

Erkki Haapanen Ky

Raininkaistentie 27
35600 Halli
p. (03) 532 0600
f. (03) 5320648
Vestas, Cumel

Fortum Advanced Energy Systems

Sebastian Johansen
Sähkötie 8
01510 Vantaa
p. 020 4501
f. 020 450 5744
NEG Micon tuulivoimalat,
aurinkosähköjärjestelmät

Solarwind Oy

Seppo Nyberg
Koivuharjutie 103
25130 Muurla
p. (02) 737 3263
f. (02) 737 3201
Aurinko- ja
tuulienergialaitteet

Synoptia Oy/Ab

Gustav Tallqvist
01150 Söderkulla
p. (09) 8771085
Bonus

Windside

Production Oy Ltd

Risto Joutsiniemi
Vaskikellontie 316
86800 Pyhäsalmi
p. (0208) 350 700
finland@windsid.com
Windsid, Sudwind, LMW
tuulivoimalat

Komponenttien valmistajia, tuulimittareita

ABB Motors Oy

Peter Skeppar
PL 633
65101 Vaasa
p. (06) 010 2211 (vaihde)
f. (06) 316 7372
Generaattorit

Ahlstrom Oy Kuitulasi

Jari Viljakainen
Insinöörinkatu 2
50100 Mikkeli
p. (015) 36 166
Lapamateriaalit

Finnwind Oy

Ismo Kantonen
Eino Leinonkatu 7 B 6
13130 Hämeenlinna
p. (03) 6537035,
(020) 4273524
Liimapuulavat

**Hollolan
sähköautomaatiikka Oy**

Pasi Salmela
Viilaaajankatu 10
15520 Lahti
p. (03) 752 0732
f. (03) 752 0532
hsa@sci.fi
Generaattorit 2 kVA +

Kemijoki Oy

Esa Peltola
Annankatu 34-36
PL 50, 00048 Fortum
p. (09) 8561 6637
gsm 040 529 8255
Lapojen jäänestöjärjestelmät

**Valmet
Voimansiirto Oy**

Mauri Asunto
PL 158
40101 Jyväskylä
p. (014) 296 611
f. (014) 296 868
Vaihteet

**Windside
Production Oy Ltd**

Risto Joutsiniemi
Vaskikellontie 316
86800 Pyhäsalmi
p. (0208) 350 700
Generaattorit, lavat

Tuulimittarit**Reino Rehn Ky**

Leppäsentie 110 A
33450 Siivikkala
p. (03) 3460222
f. (03) 3460229
Tuulimittarit, sääasemat

Vaisala Oy

Tapani Tiusanen
PL 26
00421 Helsinki
p. (09) 8949603
Vaisala-mittarit

Suunnittelu, konsultointi ja rakentaminen**Energia-Ekono Oy**

Esa Holttinen
PL 93
02151 Espoo
p. (09) 46911
Esa.Holttinen@poyry.fi
Tuulianalyysit,
kannattavuuslaskelmat,
ympäristöselvitykset,
esi- ja toteutussuunnittelu

**Insinööritoimisto
Erkki Haapanen Ky**

Rainikaistentie 27
35600 Halli
p. (03)532 0600
f. (03)532 064
Suunnittelu

Labko Ice Detection Oy

Juhani Mäkinen
Labkotie 1,
36240 Kangasala
p. (03) 2855111
f. (03) 2855310
Lapojen jäätunnistus ja
-poistojärjestelmät,
meteorologiset
jäätunnistimet

Windcraft

Aki Suokas
Neopoli
Niemenkatu 73
15210 Lahti
p. (03) 8114390
suokas@iki.fi
Roottoriasiantuntemusta

**Ilmatieteen laitos,
IL Energia**

Bengt Tammelin
PL 503
00101 Helsinki
p. (09) 1929 4160
Aurinko- ja
tuulienergiatutkimus,
kansalliset ja kansainväliset
projektit, tuulimittaukset,
tuulisuusanalyysit

Kemijoki Oy

Jouni Kaas
Valtakatu 9-11
96100 Rovaniemi
p. (016) 7401
gsm 0400 923 403
Tuulipuistojen esi- ja
toteutussuunnittelu,
tuulipuistojen rakentaminen

Prizztech Oy

Iiro Andersson
Tiedepuisto PRIPOLI
28600 Pori
p. (02) 6271100
Teknologiahankkeet

Vindkraftföreningen

Herbert Byholm
Pl 124
65101 Vaasa
p. 0500- 862886
Projektimeuvonta

Tutkimus**Ilmatieteen laitos,
IL Energia**

Bengt Tammelin
PL 503
00101 Helsinki
p. (09) 1929 4160
Tuulisuusindeksit,
tuulienergia, Suomen
Tuuliatlas, paikallinen
tuotantopotentiaali,
tuotantoennusteet, tuuli,
arktinen tuulivoimatuotanto,
jäätymisen, mittalaitteet,
kansainväliset
tutkimushankkeet

Kemijoki Oy

Jouni Kaas
Valtakatu 9-11
96100 Rovaniemi
p. (016) 7401
gsm 0400 923 403
Arktisen tuulivoimatekniikan
kehittäminen

VTT Energia

Hannele Holttinen
Pl 1606
02044 VTT
p. (09) 4566560
Tutkimus, tuulisuusanalyysit,
tuuli- ja seurantamittaukset

Ulkomaisia laitostoimittajia

Bonus Energy A/S

Fabriksvej 4
DK-7330 Brande, Denmark
p. +45 9718 1122
f. +45 9718 3086
bonus@bonus.dk
www.bonus.dk
Voimalakoot: 300, 600,
1000, 1300 kW

NEG Micon A/S

Alsvej 21
DK-8900 Randers, Denmark
p. +45 8710 5000
f. +45 8710 5001
mail@neg-micon.dk
www.neg-micon.dk
Voimalakoot: 200, 225/40,
400/100, 600/150, 750/175,
1000/200 kW, 1500 kW

Nordex A/S

Svindbaek
DK-7323 Give, Denmark
p. +45 7573 4400
f. +45 7573 4147
nordex@nordex.dk
www.nordex.dk
Voimalakoot: 150, 250, 600,
1000, 1300/250 kW

Vestas Wind Systems A/S

Smed Sørensens Vej 5
DK-6950 Lem, Denmark
p. +45 9675 2575
f. +45 9675 2436
vestas@vestas.dk
www.vestas.dk
Voimalakoot: 225, 500, 600,
660, 660/200, 1650/300 kW

Wind World af 1997 A/S

Voerbjergvej 40
DK-9400 Nørresundby,
Denmark
p. +45 9632 2020
f. +45 9632 2021
mailbox@wind-world.com
Voimalakoot: 170, 250, 550,
600, 750 kW

Enercon GmbH

Dreerkamp 5
26605 Aurich
p. 04941 / 927-0
f. 04941 / 927-199

Tacke-Windtechnik GmbH

Hosterfeld 5A
48499 Salzbergen
p. 05971 / 97080
f. 05971 / 87219

Zond Energy Systems, Inc.,

13681 Chantico Road
Tehachapi, CA 93561
p. 661.823.6423
f. 661.823.1829
zond@enron.com

AN-Windenergie GmbH

Waterbergstr. 11
28237 Bremen

DeWind Technik GmbH

Seelandstr. 9
23569 Lübeck
p. 0451 / 3909 771
f. 0451 / 3909 778

Fuhrländer

Auf der Höhe 4
56477 Waigandshain
p. 02664 / 9966-0
f. 02664 / 9966-33

HSW Husumer Schiffswerft

Abteilung Windkraft
Rödemis Hallig
25813 Husum
p. 04841 / 6300
f. 04841 / 63010

Jacobs Energiesysteme

Am Kleinbahnhof 19-21
25746 Heide
p. 0481 / 3012
f. 0481 / 3014

pro + pro Energiesysteme GmbH und Co. KG

product + project
development
Proviahanstr. 9
24768 Rendsburg
p. 04331 / 12750

Seewind Windenergiesysteme GmbH

Im Grund 7
75045 Walzbachtal
p. 07203 / 7111
f. 07203 / 8388

Südwind

Energiesysteme GmbH
Prinzenstr. 32/33
10969 Berlin
p. 030 / 61 69 26-0
f. 030 / 61 69 26-77
suedwind.berlin@t-online.de

Ventis Energy AG

Ernst-Boehme-Strasse 27
38112 Braunschweig
p. +49-531-2110227
f. +49-531-2110214
ventis@t-online.de

Windtechnik-Nord

25920 Stedesand
p. 04662 / 1414
f. 04662 / 1424

Työvoima- ja elinkeinokeskukset, yritysosasto

Etelä-Pohjanmaa

Huhtalantie 2
60220 Seinäjoki
p. (06) 416 3555
f. (06) 416 3616

Etelä-Savo

PL 164, 50101 Mikkeli
Mikonkatu 5
p. (015) 466 4011
f. (015) 466 4214

Häme

Rauhankatu 10
15110 Lahti
p. (03) 851 5200
f. (03) 752 1450

Kainuu

Kalliokatu 4
87100 Kajaani
p. (08) 616 31
f. (08) 616 3230

Keski-Suomi

PL 44, 40101 Jyväskylä
Cygnaeuksenkatu 1
p. (014) 410 4811
f. (014) 410 4823

Kymi

Käsityöläiskatu 4
45100 Kouvola
p. (05) 311 7741
f. (05) 311 7744

Lappi

PL 8152
96101 Rovaniemi
p. (016) 318 844
f. (016) 310 151

Pirkanmaa

PL 770, 33101 Tampere
Kehräsaari, B-porras 5.krs
p. (03) 223 4844
f. (03) 222 6288

Pohjanmaa

PL 131, 65101 Vaasa
Hovioikeudenpuistikko 19 A
p. (06) 329 6300
f. (06) 329 6481

Pohjois-Karjala

PL 8, 80101 Joensuu
Torikatu 9 A 7
p. (013) 285 155
f. (013) 285 182

Pohjois-Pohjanmaa

Asemakatu 37
90100 Oulu
p. (08) 316 0200
f. (08) 316 0201

Pohjois-Savo

PL 2000, 70101 Kuopio
Käsityökatu 41
p. (017) 6175 111
f. (017) 6175 5270

Satakunta

PL 266
28101 Pori
Pohjoisranta 11
p. (02) 620 4000
f. (02) 620 4002

Uusimaa

PL 15
00241 Helsinki
Maistraatinportti 2
p. (09) 2534 2111
f. (09) 2534 2400

Varsinais-Suomi

Puolalankatu 1
20100 Turku
p. (02) 251 0051
f. (02) 231 0667

Kuvailulehti

| | |
|---|---|
| Julkaisija | Motiva |
| Julkaisuaika | Syyskuu 1999 |
| Tekijät | Energia-Ekono Oy |
| Julkaisun nimi | Tuulivoiman projektiopas |
| Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut | --- |
| Tiivistelmä | <p>Tuulivoiman projektiopas on suunnattu sähkön tuottaja- ja jakeluyhtiöiden päättäjille, kunnille ja muille maankäyttö- ja lupaviranomaisille sekä kaikille asiasta kiinnostuneille tahoille. Oppaan tavoitteena on tarjota tuulivoimaprojektin käynnistämiseen ja läpiviemiseen tarvittavat keskeiset tiedot.</p> <p>Oppaassa käydään läpi tuulivoimaprojekti vaihe vaiheelta lähtien liikkeelle esiselvityksestä, rahoitusjärjestelyistä, lupakysymyksistä päätyen voimalaitoksen rakentamiseen ja käyttöönottoon sekä projektin jälkihoitoon.</p> <p>Teksti on jaettu osioihin, joista ensimmäinen käsittelee projektin käynnistämistä, toinen osa toteutuksen valmistelua ja kolmas osa voimalaitoksen rakentamista ja käyttöönottoa. Liitteissä esitellään muutamia viime vuosien aikana Suomessa toteutuneita hankkeita, sekä ohjataan lukija jatkokontaktien ja tarkempien kirjallisuuslähteiden äärelle.</p> |
| Asiasanat | tuulienergia, tuulivoiman rakentaminen |
| Julkaisusarjan nimi | Motivan julkaisuja 5 / 1999 |
| Julkaisun teema | Tuulienergia |
| Projektihankkeen nimi | Tuulivoiman projektiopas |
| Rahoittaja/ toimeksiantaja | Kauppa- ja teollisuusministeriö |
| Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot | Motiva, Energia-Ekono |
| ISSN | 1456-4483 |
| ISBN | 952-5304-04-3 |
| Sivuja | 136 |
| Kieli | Suomi |
| Painosmäärä | 1000 |
| Julkaisun jakaja | Motiva |
| Painopaikka ja -aika | Monila Oy, Helsinki, 10-1999 |
| Muut tiedot | Yhteyshenkilö Motivassa Leena Grandell. Projektiopas julkaistaan myös pdf-formaatissa Motivan www-palvelussa, http://www.motiva.fi . |

Presentationsblad

| | |
|---|---|
| Utgivare | Motiva |
| Datum | September 1999 |
| Författare | Energia-Ekono Oy |
| Publikationens titel | Handboken över vindkraftprojekt |
| Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt | - - - |
| Sammandrag | <p>Handboken över vindkraftprojekt är riktad till beslutsfattare i bolag som producerar och distribuerar elektricitet, till kommuner och andra myndigheter som använder mark och beviljar tillstånd och till alla andra intresserade parter. Målet med handboken är att erbjuda central information som krävs då vindkraftprojektet skall startas och genomföras.</p> <p>I handboken går man igenom vindkraftprojektet från början till slut börjande med förutredningen, finansieringsarrangemangen, tillståndsfrågorna och slutande med byggandet och ibruktagandet av kraftverket och uppföljningen av projektet.</p> <p>Texten är uppdelad i olika delar. Det första avsnittet behandlar projektstarten, nästa avsnitt förberedandet av genomförandet och det tredje avsnittet byggandet och ibruktagandet av kraftverket. I bilagorna presenteras några projekt som på senare år förverkligats i Finland och ges information om nyttiga kontakter och mera utförliga litteraturkällor.</p> |
| Nyckelord | vindenergi, byggande av vindkraft |
| Publikationsserie | Motivas Publikationer 5 / 1999 |
| Publikationens tema | Vindenergi |
| Finansiär/ uppdragsgivare | Handels- och industriministeriet |
| Organisationer i projektgruppen | Energia-Ekono Oy, Motiva |
| ISSN | 1456-4483 |
| ISBN | 952-5304-04-3 |
| Sidantal | 136 |
| Språk | Finska |
| Upplagans storlek | 1000 |
| Förläggare | Motiva |
| Tryckeri/ tryckningsort och -år | Monila Oy, Helsinki, 10-1999 |
| Övriga uppgifter | Kontaktperson vid Motiva Leena Grandell. Rapporten publiceras också i pdf-format i Motivas www-service, http://www.motiva.fi/ . |

Documentation page

| | |
|---|---|
| Publisher | Motiva |
| Publishing date | September 1999 |
| Author | Energia-Ekono Oy |
| Title of publication | Wind power project handbook |
| Parts of publication/ other project publications | --- |
| Abstract | <p>The wind power project handbook is intended for decision-makers in electricity generation and distribution companies, for local authorities and other public authorities concerned with land use and planning permission, and for all others interested in this subject. The handbook seeks to provide the most important information needed for launching and completing a wind power project.</p> <p>The handbook examines a wind power project on a stage by stage basis from the initial feasibility study through financial arrangements and permit issues to final power plant construction, commissioning and later project servicing.</p> <p>The text is divided into sections dealing with the project launch, preparations for implementation and power plant construction and commissioning. Some projects implemented in Finland in recent years are described in the appendices, which also provide the reader with useful further contacts and references to the most important literature on the subject.</p> |
| Keywords | wind power, wind power plant construction |
| Publication series | Motiva´s Publications 5 / 1999 |
| Theme of publication | Wind power |
| Financier/ commissioner | The Ministry of Trade and Commerce in Finland |
| Project organisation | Energia-Ekono Oy, Motiva |
| ISSN | 1456-4483 |
| ISBN | 952-5304-04-3 |
| No. of pages | 136 |
| Language | Finnish |
| Circulation | 1000 |
| Distributor | Motiva |
| Printing place and year | Monila Oy, Helsinki, 10-1999 |
| Other information | Contact at Motiva Leena Grandell. The report will also be published in pdf-format in Motiva´s www-service, http://www.motiva.fi . |