

Severi Pitkääkoski

TUULIVOIMAN HANKEKEHYS JA NIIHIN VAIKUTTAVAT ASIAT

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Lehtori Risto Mikkonen
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Severi Pitkääkoski: Tuulivoiman hankekehitys ja niihin vaikuttavat asiat
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma
Toukokuu 2021

Tässä työssä tarkastellaan kirjallisuusselvityksenä tuulivoiman nykytilannetta ja tulevaisuutta Suomessa sekä mihin asioihin kiinnitetään huomiota taloudellisesti kannattavan tuulivoimahankkeen suunnittelussa. Lisäksi selvitetään tuulivoimasta aiheutuvia haittoja ja millä keinoin tuulivoimarakentamista ohjataan Suomessa näiden haittavaikutuksien ehkäisemiseksi.

Suomessa tuulivoima on vahvasti keskittynyt maan länsirannikolle, missä on hyvät tuuliolosuhteet. Kun tuulivoimaloiden korkeudet ovat kasvaneet, niin tuulivoimarakentaminen sisämaassa on alkanut myös yleistyä. Tuulivoimarakentaminen Suomen etelä- ja itäosiin on kuitenkin ollut ongelmallista, sillä tuulivoimalat häiritsevät Puolustusvoimien tutkien toimintaa. Lähes kaikki Suomen tuulivoimapuistot koostuvat maatuulivoimaloista, sillä maatuulivoima on osoittautunut kustannuksiltaan edullisemmaksi sähköntuotantomuodoksi kuin merituulivoima. Tuulivoimahankkeen kokonaiskustannuksiin vaikuttaa tuuliolosuhteiden lisäksi hankkeen laajuus, maantieteellinen sijainti, maasto ja maaperän ominaisuudet.

Kansallisen energia- ja ilmastostrategian, hyvien tuuliolosuhteiden ja halvan hinnan myötä tuulivoimalla tuotetun energian osuus Suomen sähköenergiatuotannossa on voimakkaassa kasvussa. Vuonna 2020 hieman alle 12 % Suomen sähköntuotannosta oli tuotettu tuulivoimalla ja vuoden 2023 loppuun mennessä tuulivoimakapasiteetin odotetaan lähes kaksinkertaistuvan. Tuulivoimarakentamisen lisääntyessä tuulivoimalle sopivat paikat kuitenkin alkavat vähentyä ja rakentaminen voi siirtyä kohti asutusta ja arvokkaita luonnonalueita. Tämä lisää tuulivoimavastaisuutta kansalaisten keskuudessa. Kestävän tuulivoimarakentamisen edellytyksenä onkin se, että siitä saadut hyödyt ylittävät aiheutuneet haitat.

Tuulivoimarakentamisella voi olla huomattavia vaikutuksia muun muassa luontoon, ympäristöön, eläimistöön ja ihmisiin. Rakentaminen edellyttää maaston muokkaamista ja voimaloiden korkeat tornit erottuvat maisemasta kauas. Lisäksi lapojen liike aiheuttaa infraääntä, jolla epäillään olevan vaikutuksia terveyteen, sekä melu- ja välkehäiriöitä. Näiden haittavaikutuksien ehkäisemiseksi tuulivoimarakentamista ohjataan kaavoituksella ja edellyttämällä hankkeelta vaadittujen lupien saamista. Lisäksi yli 10 tuulivoimalan tuulipuistoille on laadittava ympäristövaikutusten arviointi eli YVA. YVA:n laatimisella varmistetaan, että hankkeesta aiheutuvat ympäristöhaitat selvitetään riittävällä tarkkuudella.

Avainsanat: tuulivoima, tuulivoimahanke, tuulivoima Suomessa, tuulivoimarakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TUULIVOIMA.....	3
2.1 Tuulen teho.....	3
2.2 Tuulivoimalan rakenne.....	4
2.3 Tuulivoiman nykytilanne Suomessa	6
2.3.1 Tuulivoiman kustannusrakenne.....	7
2.3.2 Tuulipuistot ja -voimalat	7
3. TUULIVOIMAHANKKEEN VAIHEET	9
4. SIJAINNIN VALINTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT TEKNIS-TALOUELLISESTA NÄKÖKULMASTA	11
4.1 Tuuliolosuhteet	11
4.2 Voimaloiden sijoittelu	13
4.3 Maaperä ja maantieteellinen sijainti	14
4.3.1 Maatuulivoimalan perustukset.....	15
4.3.2 Merituulivoimalan perustukset.....	16
4.3.3 Infrastrukturi.....	16
5. TUULIVOIMARAKENTAMISEN OHJAUSKEINOJA.....	18
5.1 Kaavoitus.....	18
5.1.1 Maakuntakaava	19
5.1.2 Yleiskaava	21
5.1.3 Asemakaava.....	22
5.1.4 Tuulivoimahankkeen kaavoituksen eteneminen	22
5.2 Muut tuulivoimarakentamista ohjaavat lait.....	23
5.2.1 Luonnonsuojelulaki	23
5.2.2 Ympäristönsuojelulaki	24
5.2.3 Vesilaki	24

5.2.4 Ilmailulaki.....	24
5.2.5 Maantielaki	25
5.2.6 Ratalaki	26
5.2.7 Laki puolustusvoimista ja aluevalvontalaki.....	26
5.2.8 Muinaismuistolaki	27
5.2.9 Erämaalaki.....	27
5.2.10 Poronhoitolaki.....	28
6. TUULIVOIMARAKENTAMISEN VAIKUTUKSET	29
6.1 Ympäristövaikutusten arviointi eli YVA.....	29
6.2 Ympäristövaikutusten arvioinnissa huomioitavat asiat.....	30
6.2.1 Vaikutukset maisemaan.....	30
6.2.2 Vaikutukset eläimiin	33
6.2.3 Vaikutukset ihmisiin	34
7. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT.....	37
7.1 Rakentamisen hajauttaminen.....	38
7.2 Tuulivoiman vastustaminen	38
8. YHTEENVETO	40
LÄHTEET	42

LYHENTEET JA MERKINNÄT

P	teho
ρ	paine
A	pinta-ala
v	nopeus
YVA	ympäristövaikutusten arviointi
MRL	maankäyttö- ja rakennuslaki
LSL	luonnonsuojelulaki
VL	vesilaki
IL	ilmalaki
ML	maantielaki
MML	muinaismuistolaki
EML	erämaalaki
PHL	poronhoitolaki
YVAL	laki ympäristövaikutusten arvioinnista

1. JOHDANTO

Suomen hallitus on asettanut vuonna 2016 tavoitteeksi uusiutuvan energian saavuttavan yli 50 % osuuden energian loppukulutuksesta vuoteen 2030 mennessä osana kansallista energia- ja ilmastostrategiaa [1]. Lisäksi pitkän ajan tähtäimenä on vähentää kasvihuonepäästöjä 80–95 % vuoteen 2050 mennessä [2, s. 7]. Olennaisena osana tavoitteiden saavuttamiseksi on energiantuotannon siirtyminen uusiutuviin ja hiilineutraaleihin energialähteisiin.

Uusiutuvista energianlähteistä suurin kasvupotentiaali on tuuli- ja aurinkovoimalla. Aurinkovoiman osuus Suomen sähköntuotannosta oli vuonna 2020 vain 0,4 %, joten lyhyen tähtäimen tavoitteiden saavuttamisessa tuulivoiman rooli on merkittävä. Tuulivoiman houkuttelevuutta lisää Suomen hyvät tuuliolosuhteet sekä edulliset sähköntuotantokustannukset, joten tuulivoimarakentamisen odotetaan lisääntyvän Suomessa.

Suhtautuminen tuulivoiman lisäämiseen Suomessa on ollut yleisesti hyvin myönteistä. Energiategiällisyyden laatiman kyselyn [3, s. 13] mukaan 83 % suomalaisista on tuulivoiman lisäämisen kannalla. Suhtautuminen tuulivoimaan alkaa kuitenkin usein muuttua, jos omalle kotiseudulle rakennetaan tuulivoimaloita. Valituksen kohteina ovat muutokset ympäristöön ja luontoon sekä meluhaitat. Tuulivoimarakentamisen lisääntyessä tuulivoimalle sopivat alueet hupenevat jatkuvasti, ja rakentaminen voi siirtyä lähemmäksi asutusta tai arvokkaita luonnonalueita. Hanketta suunniteltaessa aluetta ei siis voida valita pelkästään taloudellisen kannattavuuden perusteella: on osattava tunnistaa ja arvioida siitä mahdollisesti syntyviä vaikutuksia läheiseen ympäristöön.

Tässä työssä kerrotaan lyhyesti mitä tuulivoima on ja mihin asioihin on kiinnitettävä huomioita tuulivoimahanketta suunniteltaessa Suomeen. Aluksi tarkastelu keskittyy siihen, mitä eri tekijöitä on huomioitava tuulivoimalle sopivan alueen valinnassa teknis-taloudellisesta näkökulmasta. Tämän jälkeen keskitytään tuulivoimarakentamista ohjaavaan lainsäädäntöön sekä tarkastellaan tuulivoiman vaikutuksia.

Luvussa 2 tarkastellaan lyhyesti tuulen tehoa ja tuulivoimalan rakennetta sekä tuulivoiman nykytilannetta Suomessa. Luvussa 3 esitellään karkeasti tuulivoimahankkeen eteneminen ja vaiheet. Luvussa 4 tarkastellaan teknis-taloudellisesta näkökulmasta, mitä asioita huomioidaan tuulivoimalle sopivan alueen valinnassa. Luvussa 5 esitellään tuulivoimarakentamista ohjaavia keinoja, kuten kaavoituksen toteuttaminen ja muu rakenta-

mista ohjaava lainsäädäntö. Luku 6 keskittyy tuulivoimarakentamisesta aiheutuvien vaikutuksien tarkasteluun. Lopuksi luvussa 7 pohditaan tuulivoiman tulevaisuuden näkymiä Suomessa.

2. TUULIVOIMA

Tuulivoimalan toiminta perustuu tuulen liike-energian muuttamiseen tuulivoimalan turbiinin liike-energiaksi. Turbiinin liike-energialla pyöritetään generaattorin roottoria joko suoraan tai vaihteiston välityksellä. Lopulta generaattorin roottorin liike-energia muutetaan sähkömagneettisella induktiolla sähköenergiaksi. Suomessa tyypillinen teolliseen sähköntuotantoon tarkoitettu voimala on vaaka-akselinen ja kolmilapainen [4].

2.1 Tuulen teho

Tuulen sisältämä energia perustuu ilmamolekyylien liike-energiaan. Tehon määritelmä on energia aikayksikköä kohden, joten tuulen teho voidaan ilmaista ilmamassan liikkeenä pinta-alan läpi aikayksikköä kohden. Vapaasti liikkuvan ilmavirtauksen teho saadaan yhtälöstä

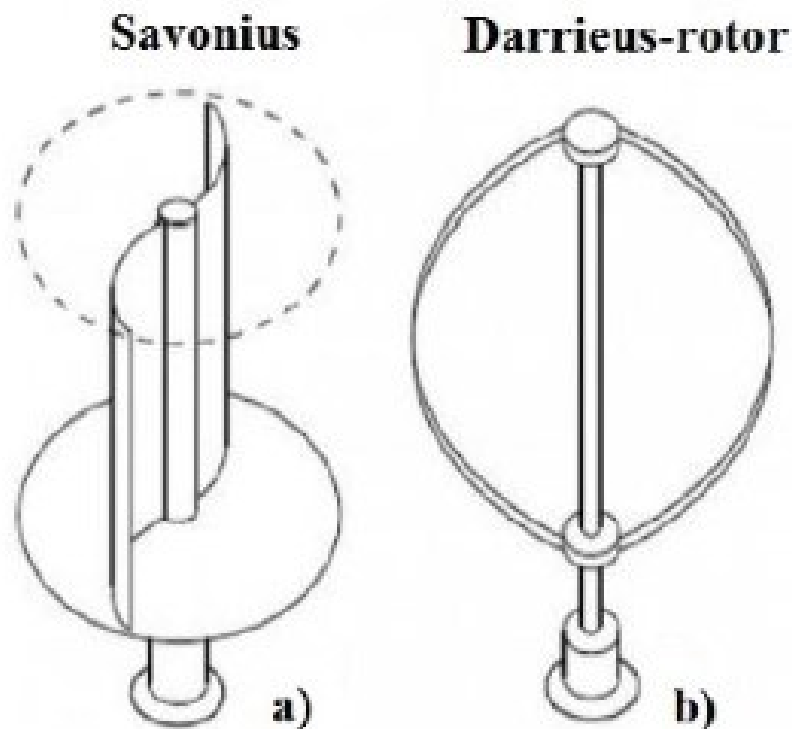
$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3, \quad (2.1)$$

jossa ρ on ilman tiheys, A ilmavirtausta vastaan kohtisuorassa oleva pinta-ala ja v ilmavirtauksen nopeus. [5, s. 36]

Tuulivoimalan tehoa ei kuitenkaan voida suoraan määrittellä tuulen tehosta yhtälön (2.1) mukaisesti. Tuulivoimala voi hyödyntää teoriassa maksimissaan noin 59,3 % tuulen sisältämästä liike-energiasta Betzin lain mukaisesti, jonka Albert Betz esitti vuonna 1920 [5, s. 42–43]. Betzin laki perustuu siihen, että ilmavirran nopeus hidastuu, kun sen liike-energiaa muutetaan tuulivoimalan turbiinin liike-energiaksi. Kaikkea ilmavirtauksen liike-energia ei voida hyödyntää, koska ilmavirtaus pysähtyisi turbiinin läpi kuljettua. Tämä aiheuttaisi ilmapatsaan, joka estäisi ilmavirtauksen kulkemisen turbiinin läpi. Betzin laki ei ota huomioon turbiinin ja ilmavirtauksen välistä kitkaa eikä muita häviöitä. [6, s. 34] Lisäksi Betzin laissa oletetaan, että lapoihin kohdistuu vain nostovoimaa eikä vastusvoimaa, joka aiheuttaa mekaanista rasitusta kuten lapojen taipumista. Näistä syistä todellisuudessa saatava teho on pienempi kuin 60 %. [5]

2.2 Tuulivoimalan rakenne

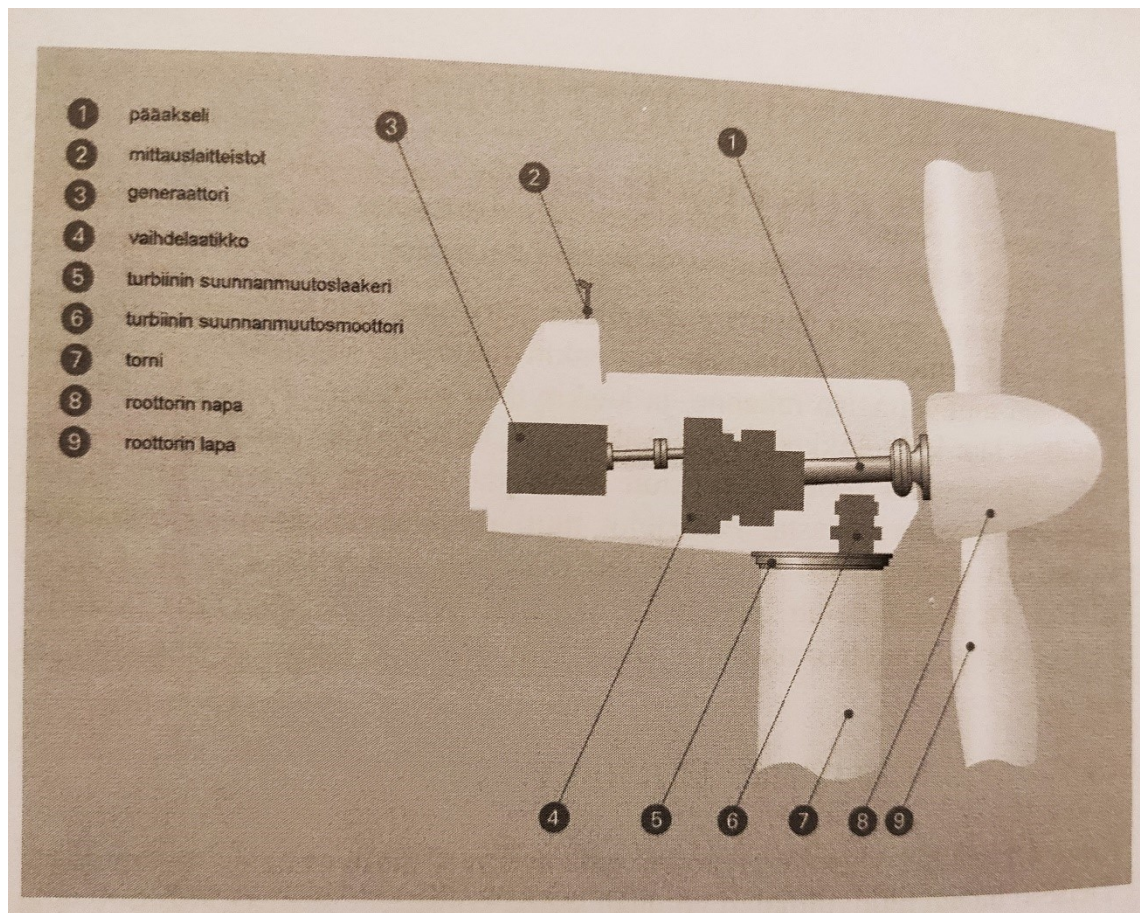
Tuulivoimalat voidaan jakaa vaaka- ja pystyakselisiin. Pystyakselisen voimalan turbiini pyörii voimalan tornin ympäri ja tämä mahdollistaa ilmavirtauksen hyödyntämisen virtauksen suunnasta riippumatta. Esimerkkejä pystyakselisistä voimaloista ovat Savonius ja Darrieus -tyyppiset tuulivoimalat, joita on havainnollistettu kuvassa 1. Vaaka-akselisen voimalan turbiini koostuu lavoista, jotka pyörivät kohtisuorassa tuulta vastaan ja vaatii täten turbiinin kääntämistä optimaalisen hyötysuhteen saavuttamiseksi. Vaaka-akselisen voimaloiden etuna on niiden suuri turbiinin pyyhkäisyala, joka mahdollistaa suuremman energiantuotannon. Kolmilapaiset vaaka-akseliset voimalat ovat osoittautuneet kustannustehokkaimmaksi voimalatyypiksi, joten tarkempi rakenneteen tarkastelu kohdistuu kyseiseen voimalatyypiin. [4]



Kuva 1. Havainnekuvat Savonius ja Darrieus -tyyppisistä pystyakselisistä tuulivoimaloista [7, s. 3].

Kuvassa 2 on yksinkertaistettu läpileikkaus tuulivoimalan rakenteesta. Tyypillinen tuulivoimala koostuu tornista, turbiinista ja konehuoneesta eli nasellista [5, s. 50]. Euroopassa torni on yleensä putkirakenteinen terästorni, mutta Yhdysvalloissa on myös käytössä ristikkorakenteisia torneja. Isoilla tuulivoimaloilla voi olla teräksestä ja betonista

koostuva hybriditorni, jos tornin leveiden pohjalohkojen kuljettaminen rakennuspaikalle on vaikeaa. [8]



Kuva 2. Tuulivoimalan rakenne [5, s. 50].

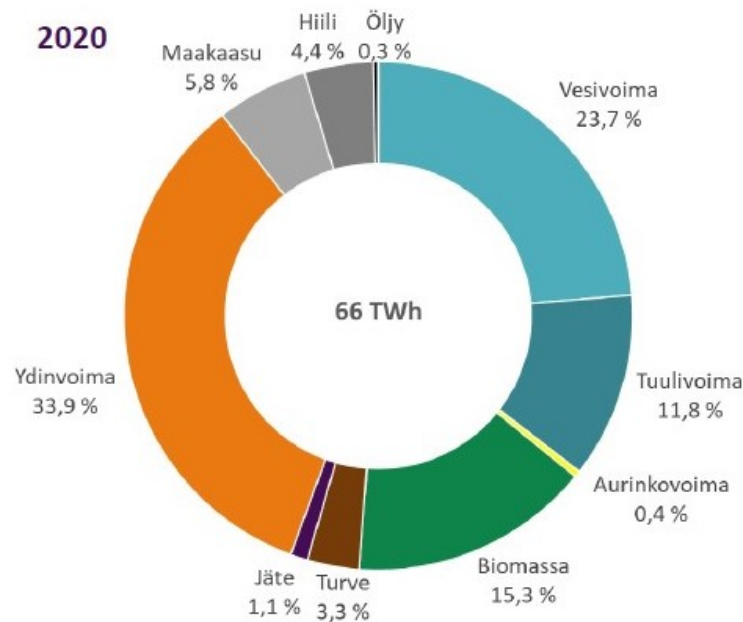
Tuulivoimalan turbiiniin kuuluvat sekä lavat että napa, johon lavat kiinnitetään. Lavat koostuvat komposiittimateriaaleista, joita ovat esimerkiksi lasi- ja hiilikuitu sekä puu yhdistettynä polyesterin tai lasikuidun kanssa. Vuonna 2019 pisimmät lavat Suomessa asennetuissa tuulivoimaloissa oli noin 75 metriä ja korkein napakorkeus noin 175 metriä eli suurimpien voimaloiden lavat yltävät yli 200 metrin korkeudelle maanpinnasta. [8]

Naselli sisältää generaattorin ja voimalatyypistä riippuen vaihteiston. Muuttuvanopeuksisessa tuulivoimalassa turbiinin akseli on suoraan yhteydessä generaattorin roottoriin. Tällöin voimala tarvitsee taajuusmuuttajan, jolla generaattorin vaihtelevalla taajuudella tuotettu sähkö voidaan muuttaa sähköverkon 50 Hz:n taajuudelle. Muuttuvanopeuksisessa voimalassa on tyypillisesti tuulivoimalakäyttöön suunniteltu kestopagneettinen tahtikone. Vakionopeuksisessa voimalassa naselli on yhteydessä generaattorin roottoriin vaihteiston välityksellä. Vaihteisto muuttaa hitaasti pyörivän turbiinin pyörimisnopeuden generaattorille sopivalle taajuudelle. Vakionopeuksinen voimala on halvempi rakentaa kuin muuttuvanopeuksinen, koska generaattoreina voidaan käyttää massatuotettuja

epätahtikoneita. Haittapuolena on vaihteiston herkkä vikaantuminen, joka lisää voimalan huoltotarvetta. [5, s. 76–81]

2.3 Tuulivoiman nykytilanne Suomessa

Vuonna 2020 Suomessa sähköntuotanto tuulivoimalla on kasvanut voimakkaasti. Suomessa tuotettiin sähköä 66 TWh, josta 11,8 % eli 7,8 TWh tuotettiin tuulivoimalla. Vuonna 2019 tuulivoimalla tuotettiin 6 TWh, joka tarkoittaa noin 29 %:n kasvua vuoden sähköntuotannossa tuulivoimalla. [9] Kuvassa 3 on esitettyä Suomen sähköntuotannon rakenne vuonna 2020.



Kuva 3. *Energiateollisuus ry:n kokoama kuvaaja Suomen sähköntuotannosta vuonna 2020 energialähteittäin (ei sisällä tuontisähköä) [9].*

Vuonna 2020 asennettu kumulatiivinen tuulivoimakapasiteetti oli 2586 MW, josta 302 MW asennettiin kyseisenä vuotena. Tämä tarkoittaa noin 13 %:n kasvua kapasiteetissa. [10] Tuulivoiman tuotannon voimakasta kasvua suhteessa asennettuun kapasiteettiin selittää vuoden 2020 tavallista myrskyisämmät tuulusuolosuhteet [11]. Vuoden 2021 aikana tuulivoimakapasiteetin odotetaan kasvavan lähes 1000 MW, jos kaikki investointipäätöksen saaneet tuulivoimahankkeet valmistuvat suunnitelmien mukaisesti [12].

2.3.1 Tuulivoiman kustannusrakenne

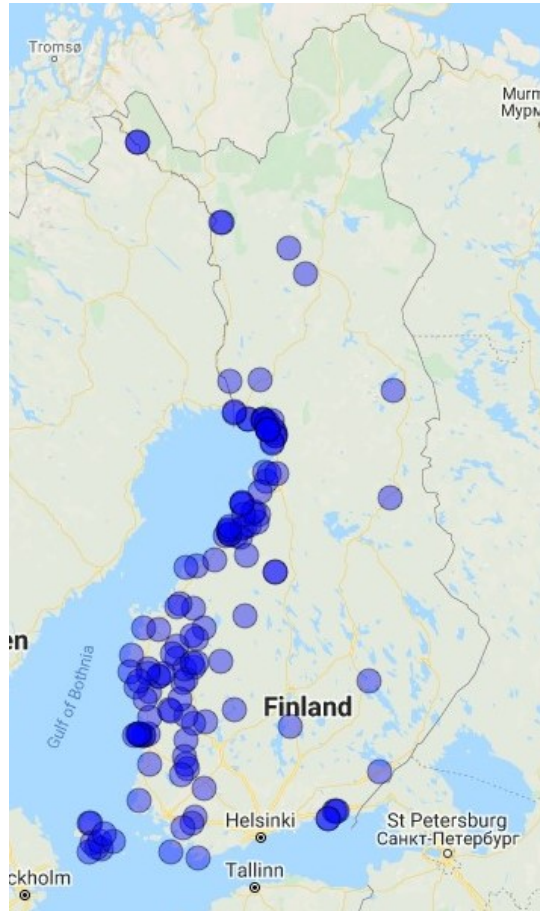
Maatuulivoimahankkeen kokonaisinvestointikustannuksista noin 65–80 % koostuu itse tuulivoimalasta ja merituulivoimalla noin 50–60 %. Loput kustannukset koostuvat muun muassa perustuksista, teistä, sähkötoista, suunnittelu- ja asennustöistä sekä käyttökustannuksista. Näiden muiden kustannuksien suuruudet riippuvat vahvasti tuulivoimahankkeen koosta ja sijainnista. Maatuulivoiman investointikustannuksiksi voidaan karkeasti arvioida olevan noin 1,2–1,5 miljoonaa €/MW. Merituulivoimalla investointikustannukset ovat noin 20–50 % korkeammat. [13]

Lappeenrannan teknillisen yliopiston tekemän tutkimuksen [14, s. 7–11] mukaan maatuulivoimalla on edullisimmat sähköntuotantokustannukset. Tutkimuksessa maatuulivoimana käytettiin rannikolle rakennettavaa 50 MW:n tuulivoimapuistoa 68 miljoonan euron investointikustannuksilla ja 2860 h/a huipunkäyttöajalla. Merituulivoimaa edustaa 40 MW:n tuulivoimapuisto 120 miljoonan euron investointikustannuksilla ja 3875 h/a huipunkäyttöajalla. Maatuulivoiman sähköntuotantokustannuksiksi muodostuu 41,4 €/MWh, josta 7,7 €/MWh koostuu käyttö- ja huoltokustannuksista. Merituulivoima osoitautui noin 66 % kalliimmaksi kuin maatuulivoima. Merituulivoimalla sähköntuotantokustannukset ovat 68,9 €/MWh, josta 14 €/MWh kuuluvat käyttö- ja huoltokustannuksiin. Laskelmissa ei ole otettu huomioon valtiolta saatavia mahdollisia tukia eikä voimaloihin kohdistuvia veroja. [14, s. 6]

2.3.2 Tuulipuistot ja -voimalat

Vuonna 2020 Suomessa oli yhteensä 821 käytössä olevaa tuulivoimalaa, joista 60 % on suomalaisessa omistuksessa. Vuoden 2020 aikana rakennettiin 67 uutta tuulivoimalaa. Asennettujen tuulivoimaloiden keskimääräinen teho on noin 4,5 MW. [10]

Yksittäisen tuulivoimahankkeen yhteenlaskettu teho on selkeässä kasvussa, eikä yksittäisiä tuulivoimaloita juuri rakenneta. Vuonna 2020 noin 60 % valmistuneesta tuulivoimakapasiteetista koostuivat yli 50 MW:n tehon tuulivoimapuistoista. Alle 10 MW tehon tuulipuistoja ei rakennettu. Kumulatiivisesta tuulivoimakapasiteetista yli 50 MW:n tuulipuistot kattavat 37 %. [10]



Kuva 4. Suomen tuotantokäytössä olevat tuulipuistot vuonna 2021 tammikuussa [15].

Kuvassa 4 on esitetty tuulivoimaloiden sijainnit Suomessa. Kartalla sininen ympyrä kuvaa tuotantokäytössä olevaa tuulivoimapuistoa tai yksittäistä tuulivoimalaa. Suurin osa on kuitenkin useammasta tuulivoimalasta koostuvia tuulipuistoja.

Suomessa tuulivoima on vahvasti keskittynyt maan läntiseen osaan, erityisesti Pohjois-Pohjanmaan rannikkoalueelle. Tuulipuistoja on rakennettu huomattavasti myös Pohjanmaan rannikolle sekä Etelä-Pohjanmaalle. Kristiinankaupungin Metsälässä sijaitsee Suomen suurin tuulipuisto, jossa on 34 tuulivoimalaa ja niiden yhteenlaskettu tuulivoimakapasiteetti on 117 MW. Eniten tuulivoimaloita on Kalajoella, jossa sijaitsee yhteensä 64 tuulivoimalaa 209 MW:n yhteenlasketulla kapasiteetilla. [15][16]

3. TUULIVOIMAHANKKEEN VAIHEET

Tuulivoimahanke on monivaiheinen prosessi, josta itse voimaloiden rakentaminen on vain pieni osa. Tuulivoimahankeen kesto voi vaihdella paljon hankkeiden välillä, mutta keskimäärin noin 10 voimalan hanke esiselvityksestä tuotantovalmiiseen tuulipuistoon kestää 2–4 vuotta. Muutaman voimalan hankkeilla voi riittää parikin vuotta. Tuulivoimahankeen vaiheet ovat pääosin samat hankkeen laajuudesta riippumatta. Vaiheita suoritetaan usein limittäin. [17] Kuvassa 5 on karkeasti esitetty tuulivoimahankeen vaiheet ja eteneminen.



Kuva 5. Tuulivoimahankeen vaiheet, mukailten [17][18], grafiikka [19].

Tuulivoimahanke voi lähteä liikkeelle monen eri osapuolen toimesta, kuten kunnan, maanomistajan tai yksityisen yrittäjän [17]. Tuulivoimahanke alkaa esiselvityksellä, jonka tarkoituksena on selvittää tuulivoimalle sopiva alue ja laatia alustava selvitys hankkeen teknillisestä toteutuksesta, maankäytöstä ja taloudellisesta kannattavuudesta [20]. Huolella toteutettu esiselvitys on kriittinen osa tuulivoimahankeen onnistumista ja sillä voidaan esimerkiksi välttää hankkeen kaatuminen myöhemmässä vaiheessa lupiin liittyvistä syistä.

Alueen valinnassa tuulisuuden lisäksi on otettava huomioon muun muassa teiden läheisyys, sähköverkkoon liittyminen, asutus ja ympäristö [20]. Kun sopiva alue on löydetty, neuvotellaan maanomistajien kanssa alueen vuokraamisesta [21]. Alueella suoritetaan tuulimittaukset hankkeen taloudellisen kannattavuuden varmistamiseksi [22].

Tuulivoimaloiden rakentaminen voi vaatia useita lupia ja selvityksiä. Näihin vaikuttavat hankkeen laajuus ja tuulivoimaloiden sijainti. Tuulivoimaloille haettavia pakollisia lupia ovat rakennuslupa ja Puolustusvoimien hyväksyntä rakentamisesta. Muita lupia ovat ympäristö-, vesi- ja lentoestelupa, joiden tarpeellisuudet riippuvat hankkeen sijainnista. [23]

Pienet tuulivoimahankkeet eivät välttämättä tarvitse ympäristövaikutusten arviointi -menettelyä (YVA), mutta isommilla hankkeilla tämä tehdään automaattisesti. YVA-menettelyä käsitellään tavallisesti yhdessä hankkeen kaavoituksen kanssa [24].

Tuulivoimaloiden rakentaminen voidaan aloittaa, kun kaavoitus on tehty ja rakennuslupa myönnetty. Rakentamiseen kuuluvat tuulivoimaloiden pystyttämisen lisäksi maanrakennustyöt, kuten tiestöt ja liittymä sähköverkkoon. [25] Tuulivoimaloille toteutetaan jo hankkeen suunnittelun aikana käyttö- ja huoltosuunnitelmat. Huollosta ja valvonnasta tavallisesti vastaa tuulivoimaloiden valmistaja takuuajana. [26]

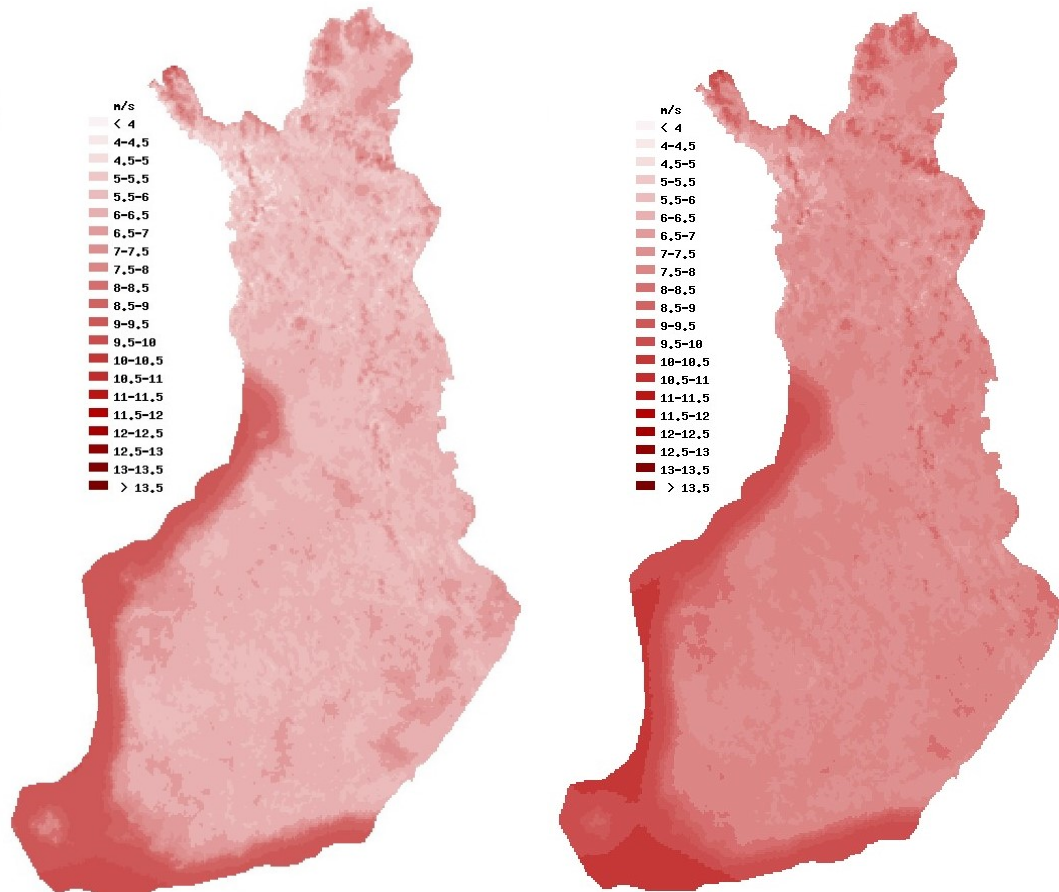
4. SIJAINNIN VALINTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT TEKNIS-TALOUELLISESTA NÄKÖKULMASTA

Tuulivoimahankkeen yksi kriittisimmistä vaiheista on tuulivoimalle sopivan alueen selvittäminen ja valinta. Hankkeen onnistuminen ja taloudellinen kannattavuus on voimakkaasti kiinni sijaintiin kytköksissä olevista tekijöistä. Tämä tarkoittaa sitä, että päätöstä sijainnista ei tehdä pelkästään loistavan tuulusuuden perusteella, vaan on tehtävä kompromisseja eri tekijöiden suhteen [20]. Tässä luvussa tarkastellaan näitä tekijöitä teknis-taloudellisesta näkökulmasta.

4.1 Tuuliolosuhteet

Tuulusuus on luonnollisesti merkittävä tekijä tuulivoiman sijainnin valinnassa. Luvussa 2.1 esitetyn kaavan 2.1 mukaan tuulen teho on kuutiollisesti verrannollinen tuulen nopeuteen, joka tarkoittaa sitä, että tuulen nopeuden kasvattaminen 10 %:lla lisää tuulen tehoa noin 33 %. Tuulivoimalat tarvitsevat noin 3 m/s tuulen nopeuden toimiakseen ja saavuttavat nimellistehonsa, kun tuulen nopeus on noin 10–15 m/s. Nimellisteholla tuulivoimala saavuttaa maksimitehonsa, joten tuulen nopeuden kasvattamien ei enää lisää tuotantoa vaan se pysyy vakiona. Usein tuulivoimalat pysäytetään vaurioiden estämiseksi yli 25 m/s:n tuulen nopeuksilla.[27]

Suomen Tuuliatlas on tehokas työkalu, jolla voi vertailla eri alueiden tuulusuutta ja täten arvioida tuulivoiman sähköntuottoa. Keskituulen nopeuksia voi tarkastella 2,5 x 2,5 neliökilometrin tarkkuudella 50 metristä 200 metrin korkeuteen maanpinnasta. [28] Kuvassa 6. on esitettyä Suomen keskituulen nopeudet 100 ja 200 metrin korkeudella maanpinnasta.



Kuva 6. Suomen keskituulen nopeudet 100 (vasen) ja 200 metrin (oikea) korkeudella maanpinnasta [28].

Suomessa on 100 metrin korkeudella loistavat tuuliolosuhteet rannikoilla, missä keskituulen nopeus on noin 8–9 m/s. Tämä selittääkin, miksi Suomen tuulipuistot ovat keskittyneen rannikkoseuduille kuvan 2 mukaisesti. Lisäksi havaitaan, että myös sekä Lapissa että Itä-Suomessa on varsin hyvät tuulisuusolosuhteet noin 6–7 m/s keskinopeudella. Siihen miksi tuulipuistoja ei ole juuri näille alueille rakennettu hyvistä tuuliolosuhteista huolimatta tarkastellaan luvussa 5.

Suomen Tuuliatlaksen [28] mukaan tuuliolosuhteet paranevat koko maassa, kun nousee korkeudessa ylöspäin. Kuitenkin huomattavin muutos keskituulen nopeudessa näkyy sisämaässä 200 metrin korkeudella. Tuolloin keskituulen nopeus nousee noin 7–8 m/s, sillä metsien vaikutus tuuleen tällä korkeudella on heikentynyt huomattavasti. Nykyään asennettujen tuulivoimaloiden napakorkeudet nousevat melkein 200 metrin korkeudelle ja lavat yltyvät yli 200 metriin kuten luvussa 2.2 mainittiin. Näillä korkeuksilla nykypäivän tuulivoimala saavuttaa melkein nimellistehonsa keskituulen nopeuden perusteella. Tulevaisuudessa on siis todennäköistä, että tuulivoimahankkeet tulevat yleistymään myös sisämaassa niiden kannattavuuden kasvaessa.

Tuulivoiman tuotantoa ei kuitenkaan pysty suoraan arvioimaan keskituulen nopeuksilla. Tuulen nopeus voi vaihdella huomattavasti keskituulen nopeuden ympärillä eikä alueella yleisin esiintyvä tuulen nopeus välttämättä vastaa keskituulen nopeutta. Tuulen nopeuksien jakaumaa voidaan arvioida muun muassa Weibull-jakaumalla, jossa alueen rosoisuus huomioidaan muotokertoimella. [5, s. 45–47] Tässä työssä ei kuitenkaan tarkastella kyseistä menetelmää sen tarkemmin.

Alueen todelliset tuuliolosuhteet saadaan selville suorittamalla mittaukset suunniteltujen voimaloiden napakorkeudella vähintään vuoden ajan. Mittauksilla on tarkoitus saada selville tuulen nopeus, suunta ja turbulentsisuus. [22] Mittauksien suorittaminen on myös tärkeää siitä syystä, että tuulivoimaloiden valmistajat huomioivat mitatun datan voimaloiden takuussa. Tarkimmat mittaustulokset saadaan mittausmastolla, jossa on tuulen nopeuden ja -suunnan mittaavat anturit. Tuulivoimaloiden korkeiden napakorkeuksien takia mittausmastojen käyttö on kuitenkin hankalaa ja kallista. [5, s. 43–44]

Vaihtoehtoisesti mittaukset voidaan suorittaa SODAR- tai LIDAR-mittauksilla maanpinnalta epätarkempien tuloksien kustannuksella. SODAR eli ”sonic detection and ranging” perustuu doppler-ilmiöön. Maan pinnalta lähetetään paineaaltoja, jotka heijastuvat liikkuvista ilmamolekyyleistä. Vertaamalla heijastuneen paineaallon taajuuseroa lähetettyyn paineaaltoon saadaan selvitettyä ilmamolekyylien nopeus. LIDAR:in eli ”light detection and ranging” toimintaperiaate on sama, mutta paineaaltojen sijasta käytetään sähkömagneettista säteilyä. [5, s. 44–45]

4.2 Voimaloiden sijoittelu

Tuulipuistoa suunniteltaessa on otettava huomioon tuulivoimaloiden etäisyys toisiinsa nähden. Voimalan turbiini aiheuttaa läpi kulkeneeseen tuuleen pyörteitä, joilla on haitallisia vaikutuksia muiden voimaloiden tuotannolle, sekä aiheuttaa niissä mekaanisia rasituksia. Näiden pyörteiden vaikutukset minimoidaan asettamalla voimalat riittävän kauas toisistaan. [29, s. 43] Tuulivoimaloiden minimietäisyyteen toisiinsa nähden vaikuttaa muun muassa vallitsevan tuulen suunta, maaston muodot ja tuulipuiston koko. Vallitsevan tuulen suuntaan nähden peräkkäin sijoitettujen voimaloiden etäisyydet ovat oltava suuremmat kuin riviin tai kaarelle sijoitettujen voimaloiden. Merellä voimalat on sijoitettava kauemmaksi toisistaan kuin maalla, sillä merellä tuuli pääsee liikkumaan vapaammin ja pyörteet heikkenevät hitaammin. Yleisenä nyrkkisääntönä on jättää noin 10 tuulivoimalan tuulipuistossa vähintään 5:n turbiinin halkaisijan etäisyys toisiin voimaloihin, joka tarkoittaa 150 metrin halkaisijan voimaloilla vähintään 750 metrin etäisyyttä. Isoilla

tuulipuistoilla, joissa on yli 100 tuulivoimalaa, etäisyydet ovat vähintään noin 9–10 turbiinin halkaisijaa. [29, s. 43] Tuulivoimapuiston pinta-alasta voimalat rakenteineen vievät muutaman prosentin [30]. Kuvassa 7 on esimerkki voimaloiden sijoittelusta Torkkolan tuulivoimapuistossa maanpinnalta katsottuna. Kuva havainnollistaa voimaloiden etäisyyttä toisiinsa, kun lapojen halkaisija on 126 metriä. [31].



***Kuva 7.** Torkkolan tuulivoimapuisto yhden voimalan juuresta kuvattuna [32].*

Voimaloiden sijoittamisessa on myös otettava huomioon alueen maanomistusrakenne. Jokaiselle tuulivoimalalle on tehtävä vuokrasopimukset maanomistajan kanssa sekä sovitettava korvaukset tuulivoimalan aiheuttamista rakentamisrajoituksista. Erityisesti Pohjanmaalla maanomistus on hyvin rikkonaista ja tuulivoimalan vaikutusalue voi yltyä usean eri maanomistajan maille. Tämä voi hidastaa ja vaikeuttaa hankkeen etenemistä, koska jokaisen maanomistajan kanssa on tehtävä sopimukset erikseen. [33]

4.3 Maaperä ja maantieteellinen sijainti

Tuulivoimalat ovat kooltaan valtavia ja raskaita laitoksia, joten voimaloiden suunnitelluille paikoille on tehtävä tarkat maaperätutkimukset. Näiden tutkimuksien perusteella laaditaan jokaiselle voimalalle sopivin perustustapa [34]. Voimalan suunniteltu sijainti voi

myös muuttua tässä vaiheessa, jos lähistöllä havaitaan soveliaampi maaperä rakentamiselle. Maaperä on oleellista myös tutkia tiestön suunnittelua varten, sillä erityisesti rakennusvaiheen aikana tiestön on kestävä raskaiden työkoneiden ja tuulivoimalaosien kuljetuksien aiheuttamaa rasitusta. Tuulivoimalan tornin yksittäinen lohko voi painaa lähes 100 tonnia ja pystyttämiseen käytettävä nosturi noin 600 tonnia [35].

Maaperän pohjatutkimukset suoritetaan yleensä kairaamalla hankkeen esitietojen perusteella valituista tutkimuspisteistä. Kairaamalla otetaan selvää sekä kalliopinnan että pohjaveden tasoista. Lisäksi kairauspisteistä otetaan maaperänäytteitä maalajin selvittämiseksi. [34]

4.3.1 Maatuulivoimalan perustukset

Maatuulivoimalan perustus voidaan toteuttaa neljällä eri tavalla riippuen maaperän rakenteesta. Maavarainen teräsbetoniperustus voidaan perustaa, jos kohteen maaperä on tarpeeksi kantava sellaisenaan. Tällaisia maa-aineksia ovat muun muassa moreeni ja sora. Perustus valetaan noin 3–4 metrin syvyyteen poistamalla pintamaakerrokset. [29, s. 41] Perustuksen halkaisija on 20–30 metriä ja valamiseen kuluu noin 400–800 kuutiota betonia [36]. Kuvassa 8 on maatuulivoimalan teräsbetoniperustus ennen valamista.



Kuva 8. Teräsbetoniperustus ennen valamista [37].

Tapauksissa missä alueen maaperä ei ole tarpeeksi kantava voidaan perustus toteuttaa teräsbetoniperustuksella ja massanvaihdolla. Maaperää kaivetaan 5–8 metrin syvyyteen ja korvataan pohjan hatara maa-aines soralla tai murskeella, jonka päälle perustus valetaan. Jos kantamaton maaperä yltää syviin kerroksiin, niin perustus tavallisesti valetaan paalujen varaan teknis-taloudellisista syistä. [29, s. 41]

Jos kallionpinta on näkyvässä tai ohuen maakerroksen alla, niin perustus voidaan ankkuroida suoraan kallioon pulteilla. Ankkurointi tapahtuu upottamalla noin 40–60 kpl 12 metriä pitkiä kalliopultteja porattuun kallioon. Kallioperustuksessa kuluu noin 20 kuutiota betonia, joten tämä voi osoittautua hyvinkin taloudelliseksi vaihtoehdoksi sijainneissa, jonne on kallista ja hankalaa kuljettaa betonia. [36]

4.3.2 Merituulivoimalan perustukset

Merituulivoimaloilla perustustavan valinnassa on otettava merenpohjan lisäksi huomioon veden syvyys. Paaluperustuksessa pohjaan kiinnitetään noin 3–4,5 metriä halkaisijaltaan olevia paaluja. Pehmeään maaperään paalujen kiinnitys onnistuu juntaamalla, mutta tiiviissä tai kallioisessa maaperässä joudutaan kiinnitys tekemään kalliokaivolla vedenalaisilla räjähteillä. Kun räjähdettä on saatu kaivettua pois, upotetaan paalu kaivoon ja kiinnitetään paikalleen betonilla. [38, s. 9]

Perustus voidaan myös toteuttaa kasuuniperustuksella, joka perustuu raskaaseen merenpohjalle upotettavaan betoniperustukseen. Kasuuni on halkaisijaltaan noin 15–20 metriä ja täten tarvitsee enemmän pinta-alaa kiinnitykseen kuin paaluperustus. Merenpohjan pehmeä maaperä ruopataan ja tasoitetaan, jonka jälkeen kasuuni uitetaan paikalleen yhtenäisenä kappaleena. [38, s. 9]

Paalu- ja kasuuniperustukset eivät kuitenkaan ole kustannustehokkaita perustustyyppejä yli 60 metrin syvyydessä. Syvässä vesistöissä tuulivoimala voidaan rakentaa kelluvan alustan päälle, joka ankkuroidaan merenpohjaan esimerkiksi kaapeleilla. Kelluvat perustukset mahdollistavat tuulivoimaloiden rakentamisen kauas rannikosta. [39, s. 81–82]

4.3.3 Infrastrukturi

Tuulipuiston sijainnin valinnassa on otettava huomioon olemassa oleva infrastrukturi. Syrjäisillä alueilla lähin tiestö tai sähköverkonliittymispiste voi olla monien kymmenien kilometrien päässä. Lisäksi olemassa olevaa tiestöä joudutaan kunnostamaan. Tämä voi vaikuttaa huomattavasti pienien tuulivoimahankkeiden kannattavuuteen. Suuremmilla

hankkeilla rakennettavan infrastruktuurin rakennuskulujen merkitys pienenee, sillä kulut voimalaa kohden ovat pienet.

Rakentamisen aikana voimaloille kulkee raskaita ja pitkiä kuljetuksia. Tiet rakennetaan kantavasta soramurskeesta ja ovat leveydeltään noin 6–12 metriä [40]. Tietä joudutaan leventämään mutkissa, jotta pitkät kuljetukset pääsevät kääntymään. Tiestön on myös oltava tarpeeksi tasaista, joten epätasaisessa tai kallioisessa maastossa maaperää joudutaan tasoittamaan. Yhden kilometrin ja noin 6 metriä leveän tien rakentamiseen kuluu noin 3 000 kuutiometriä murskettä. [29]

Yli 250 MW:n tuulivoimapuistot tulee liittää 400 kV jännitteiseen kantaverkkoon. Alle 250 MW:n tuulipuisto voidaan liittää joko 220 tai 110 kV:n verkkoon, mutta liittyminen tehdään silti usein yli 100 MW:n tuulivoimapuistoilla 400 kV:n verkkoon. Verkon siirtokapasiteetin riittävyys on varmistettava 110 kV:n verkkoon liittyessä. Jos verkkoa joudutaan vahvistamaan, maksaa liittyjä siitä aiheutuneet kulut niiltä osin, mitä tuotantolaitoksen tehon lisääminen tulisi kustantamaan. [41][42]

5. TUULIVOIMARAKENTAMISEN OHJAUSKEINOJA

Tuulivoimalat voivat sijainnista riippuen aiheuttaa haitallisia vaikutuksia luonnolle sekä ihmisten ja eläinten elinympäristölle. Näitä haittavaikutuksia pyritään ehkäisemään tuulivoimarakentamisen ohjauksella, sekä ohjaamaan tuulivoimaloiden rakentamista parhaiten niille soveltuville alueille. [43, s. 3] Edellytyksenä kestäväälle tuulivoimarakentamiselle onkin se, että siitä saatavat hyödyt ovat suurempia kuin siitä aiheutuneet haitat.

Tuulivoimarakentaminen edellyttää aina maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) mukaista rakennus- tai toimenpidelupaa. Pääsääntöisesti tuulivoimarakentaminen seuraa samoja säädöksiä kuin kaikki muu rakentaminen. Tuulivoimahankkeen rakennusluvan myöntäminen vaatii tarvittavien kaavoitusten toteuttamista ja lupien myöntämistä, jotka riippuvat hankkeen laajuudesta, sijainnista ja sen ympäristöstä. Teollisen kokoluokan tuulivoimalat vaativat aina rakennusluvan, mutta yksityiseen käyttöön tarkoitetut pienoistuulivoimalat voidaan toteuttaa toimenpideluvalla. [43, s. 3][37–39]

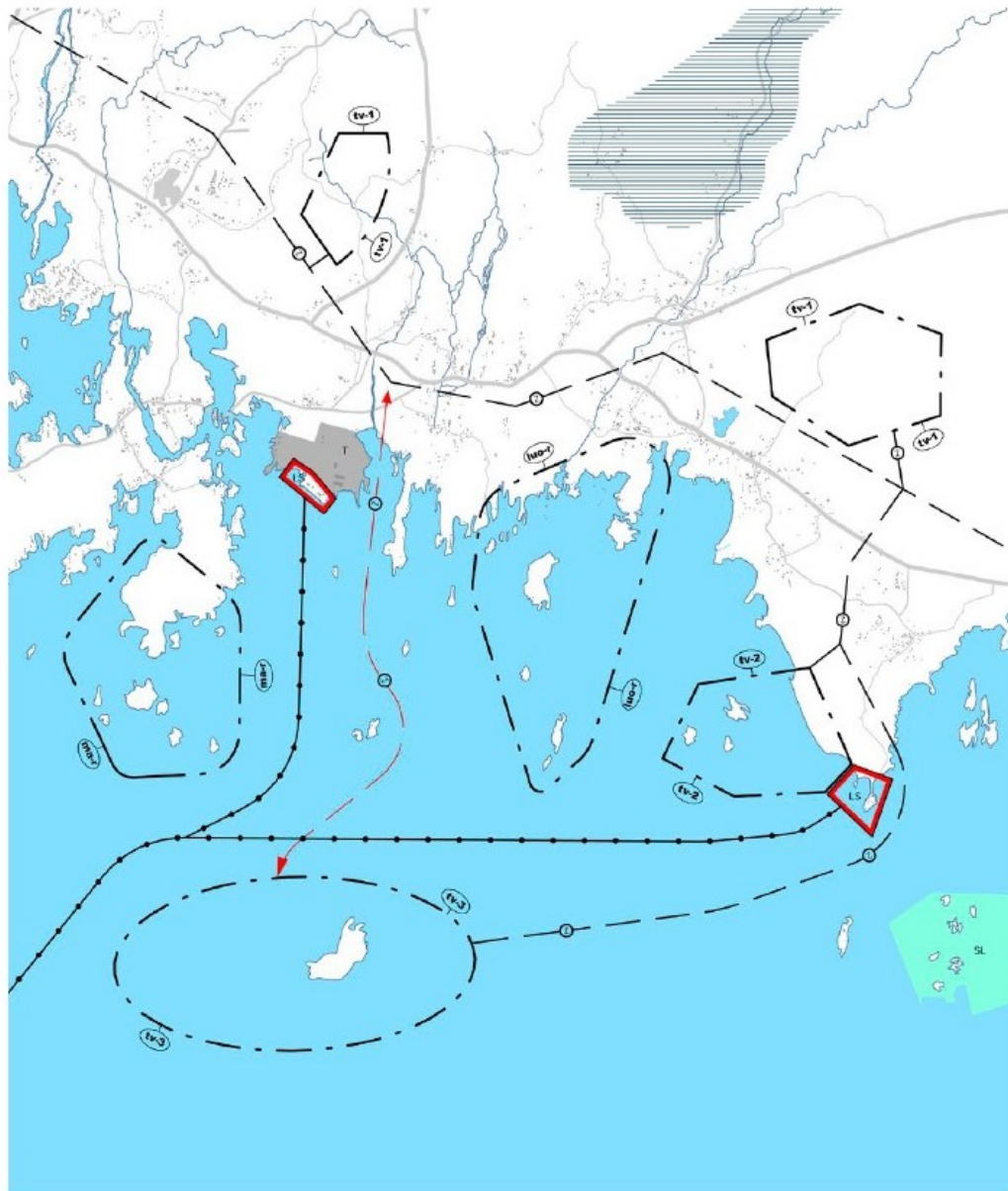
5.1 Kaavoitus













Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan alueiden käytön suunnittelu koostuu yleispiirteisistä ja yksityiskohtaisista kaavoista. Yleispiirteiset kaavat toimivat ohjeena yksityiskohtaisen kaavan suunnittelussa. Maakunta- ja yleiskaava kuuluvat yleispiirteisiin kaavoihin. Yksityiskohtainen kaava toteutetaan asemakaavana. Maakuntakaavan laatimisesta vastaa maakunnan liitto, jonka jäsenenä ovat alueen kunnat. Yleis- ja asemakaavan laatimisesta vastaa kunta. [43, s. 19]

Kaavoituksessa on otettava huomioon MRL 24 §:n mukaan valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet. Tavoitteet liittyvät muun muassa maisemaa, luonnonarvoja ja kulttuuri-perintöjä koskeviin kysymyksiin. Valtakunnallisissa alueidenkäyttötavoitteissa on myös suoraan tuulivoimarakentamiseen kohdistuvia tavoitteita. Maakuntakaavoitukseen on merkittävä parhaiten tuulivoimalle soveltuvat alueet. Lisäksi tuulivoimalat on pyrittävä sijoittamaan useamman voimalan kokonaisuuksiksi. Perusteena tähän on se, että hajautettu tuulivoimaloiden rakentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa ja vaikutukset ympäristöön sekä maisemaan lisääntyvät. [43, s. 21–22]

5.1.1 Maakuntakaava

Maakuntakaavan tehtävänä on osoittaa valtakunnallisia, maakunnallisia tai seudullisia alueidenkäyttötarpeita ja ohjata yksityiskohtaisempaa kaavoitusta. Maakuntakaavoituksessa tuulivoimarakentamista keskitetään kaavoitukseen merkityille tuulivoima-alueille. Keskitämisen tavoitteena on maakuntakaavoituksen alueiden käyttötarpeiden toteutuminen ja yhteensovittaminen, pienentää tuulivoimarakentamisen ympäristövaikutuksia sekä helpottaa tuulivoimarakentamista. [43, s. 23]



	Satama-alue		Luonnonsuojelualue		Valtakunnallisesti arvokas maisema-alue		Tuulivoimaloiden alue Merkinnän kuvaus: Merkinnällä osoitetaan alueita, joille on mahdollista sijoittaa tuulivoimaloita. Suunnittelumääräys: Alueen suunnittelussa on otettava huomioon rakentamisen vaikutukset maisemaan ja asutukseen.
	Pääjohto tai -linja. Ohjeellinen merikaapeli.		Pääjohto tai -linja. Ohjeellinen sähkölinja.		Sähkölinjan yhteistarve		Tuulivoimaloiden alue Merkinnän kuvaus: Merkinnällä osoitetaan alueita, joille on mahdollista sijoittaa tuulivoimaloita. Suunnittelumääräys: Alueen suunnittelussa on otettava huomioon rakentamisen vaikutukset maisemaan, asutukseen, luonnon monimuotoisuuteen ja lentoliikenteeseen. Suojelumääräys: Alueella ei saa suorittaa sellaisia toimenpiteitä, jotka vaarantavat Niemenokan länsirannan merenrantaniitty -luontotyypin ominaispiirteiden säilymisen.
	Laivaväylä		Maisemallisesti arvokas alue Merkinnän kuvaus: Merkinnällä osoitetaan alueita, joiden maisema-arvot tulee säilyttää. Suunnittelumääräys: Alueelle ei saa suunnitella rakennelmia, joilla on niiden huomattavan korkeuden vuoksi haitallisia vaikutuksia maisemaan.		Linnustollisesti arvokas alue Merkinnän kuvaus: Merkinnällä osoitetaan alueita, joiden linnustolliset arvot tulee säilyttää. Suunnittelumääräys: Alueelle ei saa suunnitella rakennelmia, joilla on niiden huomattavan korkeuden ja muiden ominaisuuksien vuoksi haitallisia vaikutuksia linnustoon.		Tuulivoimaloiden alue Merkinnän kuvaus: Merkinnällä osoitetaan alueita, joille on mahdollista sijoittaa tuulivoimaloita. Suunnittelumääräys: Alueen suunnittelussa on otettava huomioon rakentamisen vaikutukset maisemaan, linnustoon, vedenlaiseen luontoon ja kulttuuriperintöön. Suojelumääräys: Alueella ei saa suorittaa sellaisia toimenpiteitä, jotka vaarantavat kalojen lisääntymiselle tärkeän X-matalikon luonnonarvojen säilymisen.

Kuva 9. Ympäristöministeriön esimerkki tuulivoimarakentamista koskevasta maakunta-kaavasta [43, s. 110-111].

Kuvassa 9 on esimerkki tuulivoimarakentamista koskevasta maakuntakaavasta, johon on muun muassa merkittynä tuulivoima-alueet, laivaväylät, sähkölinjat ja suojellut alueet. Tuulivoima-alueet merkitään maakuntakaavassa osa-aluemerkinnällä (tv). Tuulivoima-alueen osa-aluemerkintä ei saa olla ristiriidassa alueen pääasiallisen tarkoituksen tai muiden osa-aluemerkintöjen tavoitteiden kanssa. Tuulivoima-alue voidaan merkitä maakuntakaavassa myös alueelle, jolle ei ole pääasiallista käyttötarkoitusta osoitettu. Nämä alueet ovat maakuntakaavassa valkoisella merkityjä. Mahdolliset tuulivoimarakentamisen yksityiskohtaisempaa suunnittelua rajoittavat määräykset annetaan maakuntakaavassa. Määräyksiä tavoitteena voi olla alueen luonnonarvojen, maiseman tai kulttuuriympäristön suojeleminen. Rakennusmääräykset voivat muun muassa rajoittaa voimaloiden lukumäärää tai maksimi korkeutta. [43, s. 24–25]

5.1.2 Yleiskaava

MRL 35 §:n mukaan yleiskaavalla ohjataan kunnan tai sen osan toimintoja ja niiden yhteensovittamista [44]. Yleiskaavan laatimista ohjataan maakuntakaavalla. Maakuntakaavoituksen tavoin yleiskaavoituksen tehtävänä on osoittaa alueidenkäyttötavoitteet sekä ohjata yksityiskohtaisempaa asemakaavoitusta. [43, s. 26]

MLR 39 §:n mukaan yleiskaavoituksessa tuulivoimarakentamisen osalta on otettava huomioon ympäristöhaittojen vähentäminen, rakennetun ympäristön, maiseman ja luonnonvarojen vaaliminen sekä virkistysalueiden riittävyys [43, s. 27]. Lisäksi kaavoituksella ei saa aiheuttaa kohtuutonta haittaa maanomistajille. [44]

Rakennusluvut tuulivoimaloille voidaan myöntää tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavan yleiskaavan perusteella. Tällaisen yleiskaavan laatiminen edellyttää yleiskaavan vaatimuksien lisäksi MRL 77 b §:n erityisien sisältövaatimuksien toteutumista. [43, s. 28] Erityisien vaatimuksien mukaan yleiskaavan on ohjattava rakentamista ja muuta alueen käyttöä riittävästi. Lisäksi tuulivoimarakentamisen ja muun maankäytön on sopeuduttava ympäristöön ja maisemaan, sekä voimaloiden huolto ja sähkönsiirto on pystyttävä toteuttamaan. [44]

MRL 77 b §:n ensimmäinen vaatimus edellyttää sitä, että tuulivoimarakentamisen alueella ei ole maankäyttöä, joka tarvitsisi asemakaavoituksen laatimista. Tämä tarkoittaa sitä, että tuulivoimarakentamisen suoraan ohjaavaa yleiskaavaa ei ole mahdollista toteuttaa alueilla, joissa on taajama-asutusta tai muuta maankäyttöä, joka vaatisi yhteensovittamista. [43, s. 30]

Toisen vaatimuksen mukaan on arvioitava tuulivoimaloiden sopeutuminen ympäristöön ja maisemaan. Arvioinnissa on erityisesti kiinnitettävä huomiota alueen luonnonarvoihin ja -suojeluun, virkistystarpeisiin, kulttuuriympäristön arvoihin, muinaisjäännösten säilyttämiseen sekä asuinympäristöön kohdistuviin vaikutuksiin. Lisäksi on huomioitava puolustusvoimien toiminta alueella sekä liikenteen turvaaminen. Esimerkiksi alueen lentoliikenne voi asettaa rajoituksia voimaloiden korkeudelle. [43, s. 30][32]

Pääsääntöisesti tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavaan yleiskaavaan merkitään jokaiselle voimalalle oma tuulivoima-alue, jonka sisälle on mahdollista kaikki voimalaa koskevat osat. Tuulivoima-alueelle voidaan sijoittaa useampiakin voimaloita, jos alueiden käyttötarpeet ja maanomistusolot sen mahdollistavat. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi merialueet. [43, s. 31]

5.1.3 Asemakaava

Jos tuulivoimarakentamiselle ei pystytä myöntämään lupaa tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavan yleiskaavan perusteella, niin on laadittava asemakaava [43, s. 33]. MRL 50 §:n mukaan asemakaavan tarkoituksena on ohjata alueen yksityiskohtaista rakentamista ja maankäyttöä ottaen huomioon paikalliset olosuhteet sekä kaupunki- ja maisemakuvan [44].

MRL 54 §:n sisältövaatimusten mukaisesti asemakaavan on luotava edellytykset terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle ympäristölle [44]. Tuulivoimarakentamisen osalta on siis erityisesti kiinnitettävä huomiota sen vaikutuksista meluun, turvallisuuteen, maisemaan, kaupunkikuvaan ja virkistysmahdollisuuksiin [43, s. 33].

5.1.4 Tuulivoimahankkeen kaavoituksen eteneminen

Kaavoitusprosessi koostuu neljästä eri vaiheesta: aloitus-, valmistelu-, ehdotus- ja hyväksymisvaiheesta. Kaavoituksen suunnittelu aloitetaan osallistumis- ja arviointisuunnitelman (OAS) tekemisellä. Tässä vaiheessa pohditaan millaiset ovat kaavan tavoitteet ja mitä asioita on selvitettävä. Lisäksi selvitetään, kuinka laajasti vaikutuksia arvioidaan ja miten osallistuminen järjestetään. Kaavoituksen aloittamisesta on myös tiedotettava. [43, s. 19–20]

Kaavoituksen sisällön tärkeimmät ratkaisut laaditaan valmisteluvaiheessa. Tähän kuuluu tavoitteiden tarkentaminen ja selvityksien laatiminen tai täydentäminen. Lisäksi suunnitellaan kaavaratkaisun periaatteita ja vaihtoehtoja ja arvioidaan niiden vaikutuksia. [43, s. 20] Kaavaluonnos ja sen valmisteluaineisto asetetaan nähtäville sekä luonnoksesta järjestetään yleisötilaisuus osallisille ja kunnan asukkaille [45]. Luonnoksesta saatua palautetta hyödynnetään kaavaehdotuksen laadinnassa [43, s. 20].

Ennen kaavaehdotuksen hyväksymistä asetetaan se julkisesti nähtäville. Osalliset ja kunnan asukkaat voivat antaa muistutuksia ehdotuksesta. Muistutuksista laaditaan yhteenveto ja selvitetään, onko kaavaehdotusta tarpeen tarkistaa. Jos ehdotukseen tehdään vielä huomattavia muutoksia, on se asetettava uudelleen nähtäville. [43, s. 20]

5.2 Muut tuulivoimarakentamista ohjaavat lait

Tuulivoimahankkeen kaavoitusta laadittaessa sovelletaan usein monia lakeja tapauskohtaisesti. Ennen rakennusluvan myöntämistä hankkeelle on myös haettava useita lupia, jotka ovat lakipykälissä määritellyjä. Pääsääntöisesti kaikki tuulivoimahankkeet edellyttävät lentoestolupaa ja lausuntoa Puolustusvoimilta. Muita mahdollisia lupia ovat vesi- ja ympäristölupa.

5.2.1 Luonnonsuojelulaki

Luonnonsuojelulaki (LSL) 1 § asettaa tavoitteet luonnon monimuotoisuuden ylläpitämiselle, luonnonkauneuden ja maisema-arvojen vaalimiselle sekä luonnonvarojen ja -ympäristön kestävä käytön tukemiselle [46]. Luonnonsuojelulakia sovelletaan kaavoituksessa asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Erityisesti tuulivoimarakentamista koskevat luonnonsuojelulain säädökset liittyvät luonnonsuojelualueisiin (LSL 3 luku), luontotyyppien ja maiseman suojeluun (LSL 29 §, 32 §) sekä eliölajien suojeluun (LSL 6 luku). [43, s. 48][46].

Lisäksi LSL 10 luvun mukaan Natura 2000 -verkoston alueille tai niiden läheisyyteen rakentaminen voi vaatia erillistä arviointia, sillä LSL 64 a §:n mukaan Natura 2000 -verkoston alueiden luonnonarvoja ei saisi merkittävästi heikentää. LSL 66 §:n mukaisesti hankkeelle ei voida myöntää lupaa, jos sen arvioidaan merkittävästi heikentävän alueen niitä luonnonarvoja, joiden perusteella alue on sisällytetty Natura 2000 -verkostoon. [43, s. 49][46]

5.2.2 Ympäristönsuojelulaki

Pääsääntöisesti tuulivoimalat eivät vaadi ympäristönsuojelulaissa määriteltyä ympäristölupaa. Jos voimaloista kuitenkin arvioidaan aiheutuvan naapuruussuhdelain 16 §:n mukaista kohtuutonta rasiusta melusta tai välkkeestä, voidaan asiaan puuttua yksittäisellä määräyksellä tai voimalalle vaaditaan ympäristöluvan myöntämistä. [43, s. 51][47]

Yksittäisen määräyksen toimittaa kunnan ympäristöviranomainen, jos voimalan melu- tai välkehaittoja on ehkäistävä. Määräys velvoittaa tarpeellisten melu- ja välkehäiriöiden selvittämiseen. Määräyksellä voidaan rajoittaa voimalan toimintaa, jos tämän katsotaan olevan kohtuullinen ottaen huomioon toiminnan luonteen ja rasituksen merkityksen ympäristöön. Jos toimenpidettä ei pystytä yksilöimään tai yksittäinen määräys ei vaikuta riittävästi häiriön ehkäisemiseen, voidaan edellyttää ympäristöluvan hakemista voimalalle. [43, s. 51]

5.2.3 Vesilaki

Tuulivoimalan rakentamiseen tarvitaan aina vesilupa, jos se rakennetaan vesistöön tai rakentamisesta aiheutuu muutoksia vesistöön [48]. Vesistöön rakentaminen vaatii vesilupaa, jos sen seurauksena vesistöön syntyy Vesilain (VL) 3 luvun 2 §:n mukaisia muutoksia. Tuulivoimarakentamisesta aiheutuvia tällaisia muutoksia ovat luonnon kauneuden ja ympäristön viihtyvyyden vähentyminen ja vahingon aiheutuminen vesiliikenteelle, kalakannalle ja kalastukselle. [43, s. 39][49]

Lisäksi hankkeelle on aina oltava vesilupa, jos siitä aiheutuu VL 3 luvun 3 §:n mukaisia seurauksia. Tuulivoiman kannalta merkittävät seuraukset koskevat valtavyylän tai yleisen kulku- tai uittovyylän sulkemista tai supistamista. Myös yli 500 kuutiometrin ruoppausmassan ruoppaaminen tai voimajohdon tekeminen yleisen kulkuväylän ali edellyttävät vesiluvan myöntämistä. [43, s. 39][49] Liikenneviraston [50, s. 9] ohjeistuksen mukaan tuulivoimaloiden sijoittelussa tulee ottaa huomioon niiden aiheuttamat vaikutukset merenkululle ja liikenteenohjaukselle tärkeisiin radiolaitteisiin ja tutkiin.

5.2.4 Ilmailulaki

Pääsääntöisesti tuulivoimalan rakentaminen vaatii ilmailulain (IL) mukaisen lentoesteluvan. IL 158 §:n mukaan yli 30 metriä korkeat rakennelmat lähellä lentoasemia tai kaikki yli 60 metriä korkeat rakennelmat Suomessa tarvitsevat lentoesteluvan. [43, s. 56][51] Rakennelma ei myöskään saa häiritä ilmailua palvelevia laitteita, eikä sitä saa asettaa

tai valaista niin, että voidaan erehtyä sen palvelevan ilmailua ohjaavana merkinä tai laitteena. [52] Tuulivoimala voidaan vapauttaa luvanvaraisuudesta IL 158 §:n mukaisesti, jos sillä ei ole vaikutusta ilmailun toimintaan tai se sijaitsee lähellä jo olemassa olevaa lentolupa-estettä [43, s. 56][52].



Kuva 10. Esimerkki tuulivoimaloiden päivämerkinnöistä [29, s. 40].

Lentoestelupaa vaativat tuulivoimalat tulee merkitä lentoestemerkinnoillä Liikenteen turvallisuusviraston antamien määräyksien mukaisesti. Maalaukset toimivat päivämerkintöinä ja erilaiset valaistukset yömerkintöinä. [43, s. 56] Yömerkinnät voi olla jatkuvaa tai vilkkuvaa punaista valoa niin, että ne vilkkuvat yhtäaikaaisesti. [51] Kuvassa 10 on esimerkki tuulivoimaloiden lappoihin maalatuista punaisista päivämerkinnöistä.

5.2.5 Maantielaki

Maantielaki (ML) 4 § määrittelee maantiekse kaikki sellaiset yleiset tiet, joiden ylläpitämisestä huolehtii valtio. Maanteiksi luokitellaan valtatie, kantatie, seututiet ja yhdystiet. [43, s. 57][53]

Maanteille määritellään ML 44 §:ssä suoja-alueet ja ML 45 §:ssä näkemäalueet. Suoja-alueelle ei saa pystyttää rakennusta. Maantien näkemäalueelle, erityisesti liittymä-, risteys- tai kaarrekohtaisissa, ei saa asettaa liikenteen seuraamista häiritsevää rakennelmaa, kuten tuulivoimalan lapoja. Maanteillä suoja-alue yltää 20 metrin etäisyydelle uloimman ajoradan keskilinjasta. [53] Moottoritieillä tämä kasvaa 50 metriin. [50][53, s. 7]

Tuulivoimalan riittävän etäisyyden arvioinnissa otetaan huomioon muun muassa tie-luokka, liikennemäärä ja nopeusrajoitus. Esimerkiksi Liikennevirasto suosittelee voimalan etäisyydeksi 300 metriä maantiestä, jossa nopeusrajoitus on 100 km/h tai enemmän. Etäisyyttä voidaan pienentää riskiarvion perusteella, jossa otetaan huomioon näkemäalue ja mahdollinen lavoista irtoava jää. Tuulivoimala tulee kuitenkin sijoittaa maantien suoja-alueen reunasta vähintään yhtä kauas, kuin mikä on voimalan kokonaiskorkeus (torni + lapa). Varalaskupaikkojen kohdalle puolustusvoimat on määritellyt tuulivoimaloiden vähimmäisetäisyydeksi 12 kilometriä, joka mitataan varalaskupaikan keskipisteestä. Puolustusvoimat määrittelevät varalaskupaikan riittävän etäisyyden tapauskohtaisesti. [50, s. 7]

5.2.6 Ratalaki

Kuten maantielaissa, ratalain 37–38 §:ssä määritellään rautatien näkemä- ja suoja-alue. Rautatien suoja-alue yltää 30 metrin etäisyydelle raiteen keskilinjasta, mutta sitä voidaan supistaa tai laajentaa enintään 50 metriin, jos ratasuunnitelmassa on erityisestä syystä näin määritelty. [50, s. 8][54]

Tuulivoimala tulee sijoittaa suoja-alueen reunasta vähintään yhtä kauas, kuin mikä on voimalan kokonaiskorkeus (torni + lapa). Syöttöasemien tai muiden rautatien rakennuksien osalta voimalan etäisyys määritellään tapauskohtaisesti. Esimerkiksi voimalan rakentaminen lähemmäksi kuin 500 metriä ratapihaa tai asemaa edellyttää riskiarvioinnin laatimista. [50, s. 8]

5.2.7 Laki puolustusvoimista ja aluevalvontalaki

Tuulivoimarakentamisessa on otettava huomioon laki puolustusvoimista ja aluevalvontalaki. Ne asettavat edellytykset aluevalvonnalle ja alueellisen koskemattomuuden turvaamiselle. [55][56]

Tuulivoimalat aiheuttavat katvealueita Suomen ilmatilan ja aluevesien valvonnassa [57]. Tuulivoimarakentaminen edellyttää aina lausuntoa Puolustusvoimilta häiriövaikutuksista, jos voimaloiden korkeus on yli 50 metriä. Yksittäisiä yli 50 metrin korkeuden voimaloita voi rakentaa ilman lausuntoa, jos ne eivät sijaitse Puolustusvoimien vakituudessa

käytössä olevilla alueilla. [58] Jos voimaloista arvioidaan aiheutuvan merkittäviä haittoja, voi Puolustusvoimat antaa kielteisen lausunnon hankkeen toteuttamisesta [57].

Merituulivoimaloiden rakentamista koskettaa myös aluevalvontalain 12 §, jonka mukaan merenpohjan rakenteen tai koostumuksen selvittäminen edellyttää erillistä lupaa Puolustusvoimilta [43, s. 61][56].

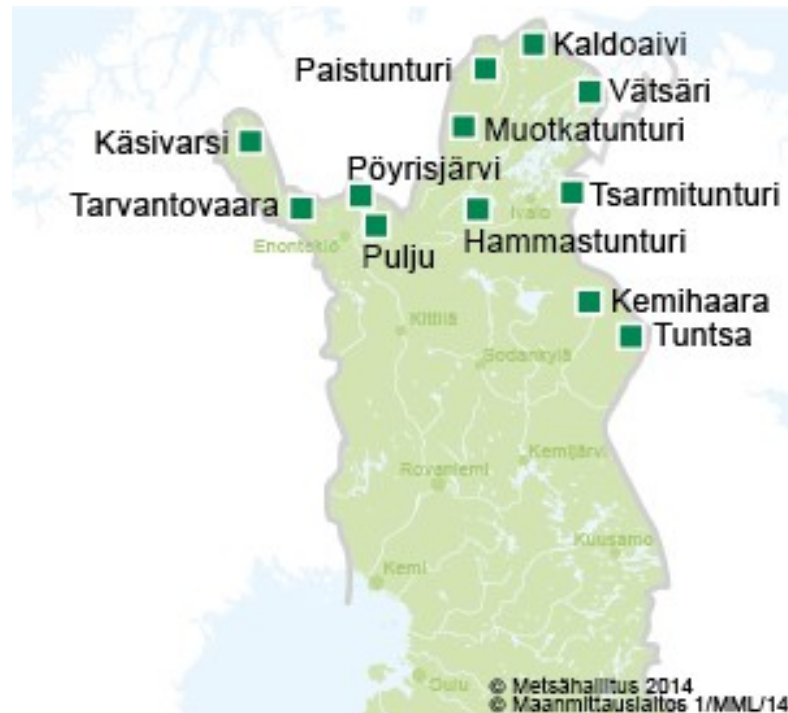
5.2.8 Muinaismuistolaki

Muinaismuistolain (MML) 1 §:n mukaan muinaisjäännöksiä kaivaminen, peittäminen, muuttaminen, vahingoittaminen, poistaminen tai muu kajoaminen on kiellettyä ilman siihen myönnettyä lupaa. MML 2 §:ssä määritellään mitkä asiat luokitellaan kiinteiksi muinaisjäännöksiksi. [59]

Tuulivoimahankkeen suunnittelun yhteydessä on kartoitettava alueen muinaisjäännökset ja arvioitava niihin kohdistuvat vaikutukset. MLM 13 §:n mukaisesti asiasta on neuvoteltava muinaistieteellisen toimikunnan kanssa, jos hankkeen tai kaavoituksen toimeenpaneminen tulee koskemaan kiinteää muinaisjäännöstä. [43, s. 62][59]

5.2.9 Erämaalaki

Erämaa-alueet ovat erämaalain (EML) 1 §:n mukaan suojeltuja alueita, joiden tarkoituksena on näiden erämaaluonteen säilyttäminen, luontaiselinkeinojen turvaaminen sekä luonnon monipuolisen käytön ja sen edellytyksien kehittäminen. Erämaa-alueet sijaitsevat Lapin pohjoisosissa ja niitä on yhteensä 12 kappaletta. Erämaa-alueet ovat lueteltuna EML 3 §:ssä. [43, s. 62][60] Kuvassa 11 on esitettyä kaikki Suomen erämaat kartalla.



Kuva 11. Suomen erämaat kartalla [61].

Tuulivoimarakentaminen ei sovellu erämaa-alueelle EML 7 §:n asettaman hoito- ja käyttösuunnitelman mukaisesti. Sen tavoitteena on säilyttää erämaa-alueiden metsät luonnontilaisina. Lisäksi EML 5 § kieltää pysyvien teiden rakentamisen erämaa-alueille. [60]

5.2.10 Poronhoitolaki

Poronhoitolaki (PHL) on asetettu turvaamaan elinkeinon asemaa ja antamaan poronhoidolle pysyvästi vapaan laidunnusoikeuden PHL 3 §:n mukaisesti. PHL 2 §:n mukaan poronhoitoalueen maata ei saa käyttää siten, että siitä aiheutuisi merkittävää haittaa poronhoidolle. [43, s. 36][62]

Poronhoitoalueelle tuulivoimaa rakennettaessa on erityisesti huomioitava alueelle asetetut rajoitukset ja arvioitava tuulivoimarakentamisen vaikutukset poronhoitoon. Tuulivoimarakentamisesta neuvotellaan paliskunnan edustajien eli alueen poronomistajien sekä Paliskuntain yhdistyksen kanssa. [43, s. 36][62]

Ruotsalaistutkimus on osoittanut, että porot ovat tavallista valppaampia lähellä toiminnassa olevia tuulivoimaloita ja porot välttelevät näitä noin 3 kilometrin säteellä. Tämä voi olla erityisesti ongelmallista, jos tuulivoimaloita sijaitsee tärkeillä laidunta-alueilla tai laidunta-alueiden välisillä porojen kulkureiteillä. [63, s. 8]

6. TUULIVOIMARAKENTAMISEN VAIKUTUKSET

Tuulivoimaloilla on monenlaisia vaikutuksia muun muassa maisemaan, luonnonarvoihin sekä ihmisten että eläinten elinoloihin. Näiden vaikutuksien merkittävyys riippuu tuulivoimahankkeen laajuudesta, kohteen ympäristöstä ja muusta läheisen alueen käytöstä. Vaikutuksien arvioinnin sisällön yksityiskohdat ja laajuus vaihtelevat täten tapauskohtaisesti.

Lähtökohtana hankkeen arvioinnin laatimisessa on kaavoituksen sisältövaatimuksen täyttyminen maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti sekä aiemmin luvussa 5.2 esitettyjen lakien soveltaminen. Tuulivoimarakentamiseen vaadittujen lupien myöntäminen edellyttää riittävien selvityksien tekemistä voimaloiden elinkaaren aikaisista vaikutuksista [43, s. 68]. Tässä luvussa keskitytään tarkastelemaan tuulivoimaloiden rakentamisen ja käytön aikaisia vaikutuksia. Rakentamisen lisäksi tuulivoimasta syntyy hiilidioksidipäästöjä voimaloiden osien valmistamisen yhteydessä. Lisäksi tuulivoimaloiden purkamisesta syntyy ongelmajätettä, sillä lapojen komposiittimateriaalit ovat haastavia kierrättää [64].

6.1 Ympäristövaikutusten arviointi eli YVA

YVA-menettelyn tavoitteena on selvittää hankkeen ympäristövaikutukset riittävällä tarkkuudella sekä lisätä kansalaisten mahdollisuuksia osallistua ja vaikuttaa suunnitteluun [24][43, s. 69]. Laki ympäristövaikutusten arvioinnista (YVAL) 40 §:ssä määritellään, että tuulivoimahankkeelle on aina sovellettava YVA-menettelyä, jos voimaloita on vähintään 10 kappaletta tai niiden yhteenlaskettu teho on yli 30 MW [65]. Myös tätä pienemmiltä tuulivoimahankkeilta voidaan edellyttää YVA-menettelyä, jos siitä aiheutuvien ympäristövaikutuksien arvioidaan olevan merkittävät [43, s. 44]. Lisäksi YVAL 5 §:ä mahdollistaa sen, että hankkeen kaavoitus ja YVA-menettely tehdään samanaikaisesti [65]. Tämä nopeuttaa hankkeen etenemistä ja vähentää aiheutuneita kuluja [24].

YVA-menettely lähtee liikkeelle ympäristövaikutusten arviointiohjelman laatimisella, jossa kerrotaan hankkeen toteuttamisvaihtoehdot ja YVA-menettelyssä selvittävät vaikutukset. Kun hankkeen jokaisen vaihtoehdon vaikutukset on selvitetty, toimitetaan arviointiohjelma ELY-keskuksen yhteysviranomaiselle. [24]

Yhteysviranomaisen laatii arviointiohjelmasta selostuksen, johon kootaan ohjelmasta annetut mielipiteet ja lausunnot. Lisäksi viranomaisen antaa oman lausuntonsa ohjelmasta. YVA-menettelyn etenemisestä ilmoitetaan ja järjestetään yleisötilaisuuksia, joissa muun muassa kuntalaiset voivat esittää mielipiteensä. [24]

6.2 Ympäristövaikutusten arvioinnissa huomioitavat asiat

Arviointiohjelmaa laatiessa on lähes aina rajattava, kuinka yksityiskohtaisesti ja millä menetelmillä tuulivoimahankkeen vaikutuksia arvioidaan. Jos hankkeen alueella on jo aikaisemmin laadittu YVA-menettelyn mukaisia tai muita arviointeja tuulivoimarakentamisen osalta, voidaan näitä hyödyntää arviointiohjelmassa. Lisäksi jotkut vaikutukset voivat olla alueellisesti lähes merkityksettömiä, jolloin niiden tarkempi selvittäminen ei ole tarpeellista. [43, s. 70–71] Esimerkiksi merelle rakennetun tuulivoimapuiston meluvaikutuksilla ei ole juuri merkitystä ihmisten elinoloihin. Olemassa olevien ja suunniteltujen selvityksien riittävydestä antaa yhteysviranomaisen oman lausuntonsa [43, s. 70].

Suomen Tuulivoimayhdistyksen [66] kokoama lista selvitettävistä vaikutuksista:

- maankäyttö,
- maisema,
- muinaisjäännökset ja kulttuuriympäristö,
- luonnonympäristö, kuten eläimistö ja kasvillisuus,
- ihmisten terveys, elinolot ja viihtyvyys,
- liikenne,
- elinkeinot,
- tietoliikenne,
- sekä näiden yhteisvaikutukset.

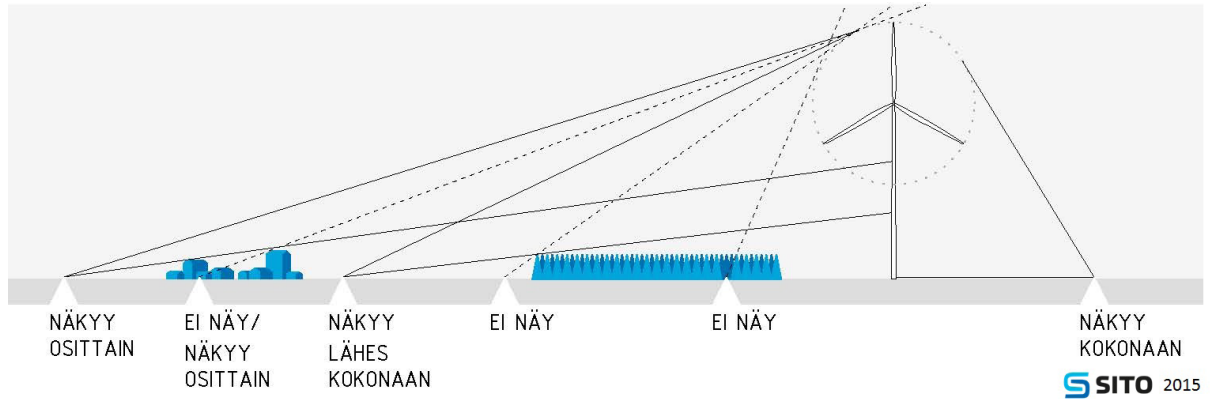
Koska YVA:ssa huomioitavia asioita on runsaasti, keskitytään seuraavissa alaluvuissa vain huomattavimpiin vaikutuksiin.

6.2.1 Vaikutukset maisemaan

Tuulivoimahankkeen merkittävimmät vaikutukset näkyvät maisemakuvan muutoksena. Maisemavaikutuksien merkittävyyttä voidaan tarkastella voimaloiden näkyvyyden ja maiseman ominaisuuksien sekä sietokyvyn kannalta. [43, s. 72–73]

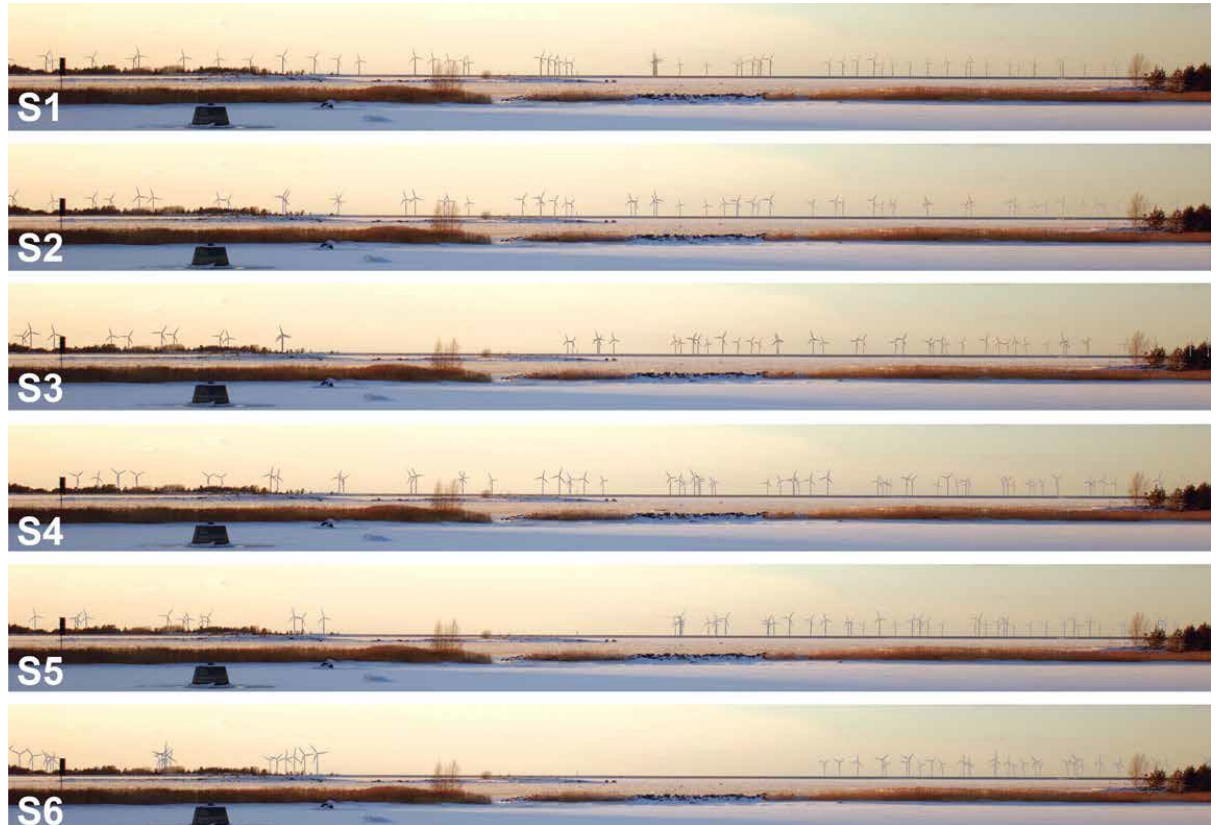
Voimaloiden näkyvyyteen vaikuttavat muun muassa voimaloiden lukumäärä, koko ja sijoittelu, maaston ominaisuudet, kasvillisuus, ilman selkeys ja rakennukset [43, s. 73].

Tyypilliset teolliset tuulivoimalat yltävät noin 200 metrin korkeuteen, joten ne on mahdollista nähdä selkeällä kelillä kymmenien kilometrien päästä tasaisessa maastossa. Tähän voidaan vaikuttaa voimaloiden sijoittelulla siten, että ne jäävät esteiden kuten puiden ja rakennuksien taakse tietyillä näköetäisyyksillä, kuten kuvassa 12 on havainnollistettu.



Kuva 12. Näköetäisyyden ja esteiden vaikutus tuulivoimalan näkyvyyteen [67, s. 18].

Isoilla tuulipuistoilla maisemakuvaan voidaan vaikuttaa huomattavasti myös ryhmittelyllä. Ryhmittelyn tarkoituksena on asettaa tuulivoimalat esimerkiksi siten, että ne muodostavat säännöllisen kuvion tai jättävät tyhjiä katselulinjoja yleisimmästä katselusuunnasta tai pisteestä [67, s. 21]. Kuvassa 13 on esitetty ryhmittelyn vaikutusta tietystä katselupisteestä. Erityisesti vaihtoehdoissa S2 ja S4 voimaloiden sijoittelu on epämääräistä ja sijoittelu luo levottoman maisemakuvan. Vaihtoehdossa S6 voimalat on asetettu siten, että ne eivät täysin hallitse maisemaa.



Kuva 13. Tuulivoimaloiden ryhmittelyn vaikutus maisemakuvaan [67, s. 21].

Maiseman sietokyky kuvaa sitä, kuinka voimakkaasti maisemanluonne muuttuu uusia elementtejä lisätessä. Tuulivoimarakentamisen kannalta maiseman sietokyky on suurimmillaan alueilla, joissa on korkeita rakennelmia, kuten teollisuuslaitokset ja mastot. [43, s. 73] Mitä enemmän alueella on rakentamista, sitä paremmin voimalat todennäköisesti sopivat maisemakuvaan.

Paikallisesti maisemaan vaikuttaa myös muu rakentaminen, kuten tiestöt ja sähköverkko, jotka edellyttävät metsän raivaamista. Uusien teiden rakentamisen lisäksi olemassa olevaa tiestöä voidaan joutua parantamaan. Leveiden kuljetuksien vuoksi metsää joudutaan raivaamaan 12–15 metrin leveydeltä [29, s. 43]. Voimalat liitetään tuulivoimalueen sähköasemaan maakaapeleilla, jossa tuotetun tehon jännite muutetaan sähköverkon siirtojännitteeseen. Sähköaseman ja siirtoverkon yhdistävät 110 kV avojohdot, jotka edellyttävät 26–30 metrin levyisen johtokäytävän raivaamista. [67, s. 9] Korkeat avojohdot myös vaikuttavat maisemakuvaan laajemmalla alueella. Ympäristöministeriön [43, s. 75] mukaan seuraavat alueet eivät sovellu tuulivoimarakentamiseen maisemavai-
kutuksien takia:

- valta- ja maakunnallisesti arvokkaat maisema-alueet,
- valta- ja maakunnallisesti merkittävät rakennetun kulttuuriympäristö,

- sekä muinaisjäänökset.

6.2.2 Vaikutukset eläimiin

Tuulivoimaloiden vaikutukset lintuihin jakautuvat suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin, joiden merkittävyys riippuu keskeisesti tuulivoima-alueen sijainnista ja voimaloiden sijoittelusta. Suoriin vaikutuksiin kuuluvat lintujen törmäysriskit. Epäsuorat vaikutukset koostuvat häirintä- ja estevaikutuksista sekä elinympäristön muutoksista. [68, s. 6]

Suurin osa kuolemaan johtavista törmäyksistä aiheutuu törmäyksistä voimalan liikkuvaan lapaan. Kuolemia voi tapahtua myös törmäyksistä sähkölinjoihin tai muihin rakenteisiin. Kuolemaan johtaneiden törmäyksien lukumäärä vuodessa voimalaa kohden voi vaihdella nolasta useampiin kymmeniin. [68, s. 6–7] Kuolemaan johtavien törmäyksien määrään vaikuttaa voimaloiden sijainti ja alueen lintukanta [43, s. 85]. Liukuvat ja kaartelevat lintulajit, kuten päiväpetolinnut ja haikarat, törmäävät useammin voimaloiden liikkuviin lapoihin kuin suoraan lentävät lintulajit [69]. Pääsääntöisesti myös isommat lintulajit ovat alttiimpia törmäyksille kuin pienemmät. Törmäyskuolleisuuden vaikutukset ovat erityisen haitallisia uhanalaisilla ja hitaasti lisääntyvillä lajeilla. [43, s. 85–86]

Voimaloiden lapojen pyöriminen sekä siitä syntyvä ääni, varjostukset ja valon välke aiheuttavat este- ja häiriövaikutuksia, jotka voivat tehdä alueesta epäsuotuisan ruokailu-, lepäily- tai pesimäalueena. Osa lintulajeista välttelee tuulivoima-alueita täysin, mutta toisaalta joidenkin lajien käyttäytymisessä ei olla havaittu muutosta. Estevaikutukset ovat merkittävät, jos voimalat sijaitsevat pesän ja saalistusalueen välissä tai tärkeillä muuttoreiteillä lisäten törmäysriskiä. [43, s. 86]

Linnustojen suojelemiseksi on määritelty linnuston kannalta tärkeitä alueita, joille ei pääsääntöisesti rakenneta tuulivoimaloita. Tapauskohtaisesti voidaan kuitenkin tehdä poikkeuksia, jos tälle on riittävät perusteet. [43, s. 87] Ympäristöministeriön [43, s. 87] mukaan linnustolle tärkeitä alueita ovat:

- luonnonsuojelulain alaiset suojelualueet,
- lintuvesiensuojeluohjelman alueet,
- kansainvälisesti tärkeät lintualueet eli IBA-alueet (Important Bird Areas),
- Suomen tärkeät lintualueet eli FINIBA-alueet (Finnish Important Bird Areas),
- Natura 2000 -verkoston lintudirektiivin mukaiset alueet,
- sekä lintujen päämuuttoreitit.

Lepakoilla merkittävimmät vaikutukset liittyvät törmäysriskeihin muuttomatkoilla ja liikkuessa yhdyskunnista ruokailupaikoille. Lepakkojen muuttoreitit kulkevat vesistöjen rantoja pitkin, jotka on huomioitava tuulivoimaloita sijoitettaessa. Lisäksi voimaloiden valoihin ja lapojen jättöpyörteisiin kerääntyy hyönteisiä, jotka houkuttelevat lepakkoja voimaloiden läheisyyteen lisäten törmäysriskiä. [67, s. 90] On myös esitetty, että lavan taakse syntyvä äkillinen alipaineen muutos voi aiheuttaa lepakoilla barotraumaa eli keuhkojen repeämää [70]. Tuulivoimaloiden ei kuitenkaan ole havaittu merkittävästi vaikuttavan lepakkojen aktiivisuuteen. [43, s. 91]

Huomattavimmat vaikutukset kaloihin aiheutuvat voimaloiden rakentamisvaiheessa, jolloin kutualueita voi tuhoutua. Käytön aikaiset vaikutukset ovat kuitenkin vähäiset. Voimaloiden perustukset voivat myös lisätä joidenkin eläimien ja kasvien elinolosuhteita. Erityisesti simppekoiden on havaittu kiinnittyvän perustuksien pinoille. [70]

6.2.3 Vaikutukset ihmisiin

Tuulivoima vaikuttaa ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen. Luonnon ja maiseman muutokset sekä voimaloiden ääni, välke ja varjostukset vaikuttavat muun muassa alueen asumisviihtyvyyteen ja virkistysaktiviteetteihin, kuten ulkoiluun, metsästämiseen ja marjastamiseen. [71, s. 188]

Tuulivoimaloiden välke ja varjostukset syntyvät auringon paistaessa voimalan pyöriä lapojen takaa. Lajojen varjostukset yltyvät olosuhteista ja sijainnista riippuen 1–3 kilometrin etäisyydelle voimalasta. Lähelle asutusta rakennettaessa tyypillisesti mallinnetaan välkkeen ja varjostuksen vaikutusalue, kesto ja ajankohdat. Välke- ja varjostushaittoja voidaan lieventää pysäyttämällä voimala niinä aikoina, kun haitat ovat merkittävät. [43, s. 83–84]

Äänivaikutukset ovat erityisen ongelmallisia voimaloiden lähiasutuksille, sillä pitkäaikainen altistuminen voimaloiden äänihäiriöille voi vaikuttaa ihmisten terveyteen. Tällöin puhutaan tuulivoimalan meluhaitoista. [43, s. 76] Meluhaittoja syntyy sekä voimaloiden toiminnan että rakentamisen aikana. Tuulivoimalan pyöriä lavoista syntyvä ääni on matalataajuisista ja luonteeltaan vaihtelevaa huminaa [71, s. 215]. Lajojen jaksollinen liike aiheuttaa voimalan äänelle tyypillistä amplitudimodulaatiota eli äänenvoimakkuuden jaksollista vaihtelua. Lajojen ääni voimistuu alaspäin liikkuessa, ja koska lavoja on tyypillisesti kolme, äänen amplitudimodulaation taajuus on kolminkertainen voimalan pyörimisnopeuteen. [72, s. 8] Lisäksi lavan ohittaessa voimalan tornin niiden väliin puristuva ilma

synnyttää jaksollista ääntä [71, s. 215]. Matalataajuinen ääni ei juuri vaimene ilmacehässä, joten se etenee laajalle alueelle. Äänen etenemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat maastonmuodot, kasvillisuus, tuulen nopeus ja suunta sekä ilman lämpötila. Olennaisessa osassa äänen kuultavuuden kannalta on taustamelu, kuten liikenne tai tuulen kohina, joka peittää lapojen synnyttämää ääntä alleen. [43, s. 76]

Tuulivoimaloiden aiheuttamalle melulle on asetettu ohjearvoja valtionneuvoston tuulivoimasetuksessa [73]. Kaikilla alueilla on päivän ulkomelutason ylärajaksi asetettu 45 dB, lukuun ottamatta kansallispuistoja, missä yläraja on 40 dB. Yöllä ylärajaksi on asetettu 40 dB, mutta oppilaitoksissa ja virkistysalueilla ei ole asetettu ylärajaa, koska näillä alueilla melulla ei ole merkitystä öisin. Eri alueiden ulkomelutasorajat ovat esitettyinä taulukossa 1. Yksinkertaisin tapa varmistaa melutason pysyminen sallituissa rajoissa on sijoittaa voimat tarpeeksi etäälle meluhäiriölle alttiista alueista. Riittävä etäisyys määritellään tapauskohtaisesti.

	ulkomelutaso LAeq päivällä klo 7—22	ulkomelutaso LAeq yöllä klo 22—7
pysyvä asutus	45 dB	40 dB
loma-asutus	45 dB	40 dB
hoitolaitokset	45 dB	40 dB
oppilaitokset	45 dB	—
virkistysalueet	45 dB	—
leirintäalueet	45 dB	40 dB
kansallispuistot	40 dB	40 dB

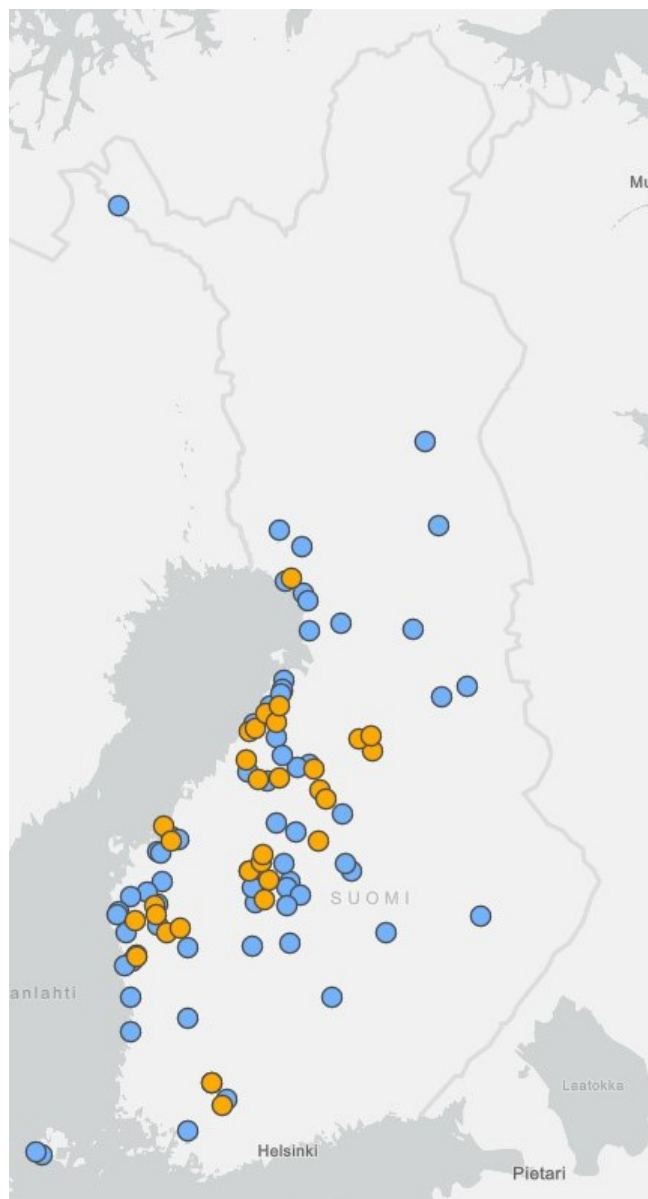
Taulukko 1. Tuulivoimameluasetuksessa säädetyt ohjearvot tuulivoimaloiden melutasoille [43, s. 78].

Tuulivoimaloiden meluhäiriöt voivat aiheuttaa terveysvaikutuksia, jos melu kuuluu sisätiloihin ja on pitkäaikaista. Melusta koettu häiriö on subjektiivista ja voi joillakin vaikuttaa muun muassa unen laatuun, lepoon sekä yleiseen viihtyvyyteen. [43, s. 76–77] Kuultavan äänen lisäksi tuulivoimaloista syntyy infraääntä. Infraäänellä tarkoitetaan alle 20 Hz:stä ääntä, joka on normaalisti ihmisen kuulokynnyksen ulkopuolella. Infraääni on kuitenkin kuultavissa, jos äänenpaine on tarpeeksi suuri, noin 80 dB 20 Hz:n taajuudella [74, s. 48]. Lähellä tuulivoimaloita asuvilta henkilöiltä on tullut ilmoituksia monenlaisista oireista infraäänestä johtuen, kuten päänsärkyä, huimausta, uupumusta, tinnitusta, korkea verenpainetta ja rytmihäiriötä [75, s. 1].

Suomalaisessa tutkimuksessa [76] selvitettiin autonomisen hermoston vasteita kuuntelukokeilla, joissa käytettiin pitkäaikaismittauksilla tallennettua tuulivoimaloiden sisältämää ääntä. Ne henkilöt, jotka olivat ilmoittaneet saaneensa oireita tuulivoiman infraäänistä, eivät olleet havainneet infraääntä muita osallistujia herkemmin kuuntelukokeessa. Lisäksi heidän autonomisen hermostonsa ei havaittu reagoivan tavallista voimakkaammin infraääniin. [76, s. 1–2] Tutkimuksissa ei siis saatu näyttöä siitä, että tuulivoimaloiden infraäänellä olisi terveysvaikutuksia. Samassa tutkimuksessa järjestetyn kyselyn [76, s. 1] mukaan kuitenkin havaittiin, että alle 2,5 km:n etäisyydellä voimaloista asuvista 15 % uskoi kokevansa oireita infraäänestä. 20 kilometrin etäisyydellä vastaava osuus oli 5 %, joten tuulivoimaloiden läheisyydellä näyttäisi olevan korrelaatiota oireilun kanssa. Infraääneen liitetyt oireilut voivat olla osittain seurausta siitä, että tuulivoimalat koetaan häiritseviksi niiden välkkeen, varjostuksien ja kuultavan äänen takia [76, s. 6].

7. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Suomen tuulivoimayhdistyksen [77] mukaan vuonna 2021 helmikuussa Suomessa oli 32 tuulivoimahanketta, jotka ovat edenneet rakennusvaiheeseen. Hankkeet kattavat yhteensä 461 voimalaa ja niiden yhteenlaskettu teho on 2435 MW. Kaikki rakenteillaan olevat hankkeet on ajoitettu valmistuvaksi viimeistään vuoden 2023 aikana [78]. Vuonna 2020 Suomen yhteenlaskettu tuulivoimakapasiteetti oli 2586 MW, joten tuulivoimakapasiteetti tulee melkein kaksinkertaistumaan vuoden 2023 loppuun mennessä.



Kuva 14. Luvitetut ja rakenteilla olevat tuulipuistot Suomessa vuonna 2021 helmikuussa [79].

Kuvassa 14 on esitetty kaikki luvitetut (sininen) ja rakenteilla olevat (oranssi) tuulipuistot Suomessa. Kuvasta havaitaan, että länsirannikon lisäksi tuulivoimahankkeiden määrä sisämaassa on voimakkaassa kasvussa erityisesti Etelä-Pohjanmaalla ja Keski-Suomessa. Luvitettuja tuulipuistoja on myös muutamia Itä-Suomessa, joka tyypillisesti on ollut haastava paikka toteuttaa tuulivoimahankkeita Puolustusvoimien tutkiin aiheutuneiden häiriöiden takia. Tulevaisuudessa tuulivoima näyttäisi siis jakautuvan Suomeen aikaisempaa tasaisemmin.

7.1 Rakentamisen hajauttaminen

Fingridin toimitusjohtaja Jukka Ruusunen mukaan [80] tuulivoiman liiallinen keskittyminen länsirannikolle voi aiheuttaa pullonkauloja sähköverkossa, sillä suurin osa sähköstä kulutetaan Suomen eteläosissa. Pullonkaula syntyy silloin, kun sähköverkon siirtokapasiteetti ei riitä siirtämään tuulivoiman tuottamaa energiaa sen kuluttajille. Esimerkkinä tästä on Saksa, jossa maan pohjoisosan tuulivoimalla tuotettua tehoa ei pystytä kokonaisuudessaan siirtämään etelään liian heikon sähköverkon infrastruktuurin takia [80]. Jos tuulivoimaa rakennetaan edelleen keskitetysti länsirannikolle, voi pullonkaulan uhka olla todellinen myös Suomessa, jos sähköverkkoa ei ehditä vahvistamaan tarpeeksi nopeasti. Sähköverkon siirtokapasiteetin riittävyys voitaisiin varmistaa muun muassa siirtämällä tuulivoimarakentamista kohti sähkönkulutuksen keskittymää. Jukka Ruusunen vaati ratkaisuja siihen, että Puolustusvoimien tutkat eivät olisi täysin esteenä tuulivoimaloiden rakentamiselle Suomen etelä- ja itäosissa [80].

Toinen merkittävä tekijä tuulivoimarakentamisen ohjaamiselle pois länsirannikolta on tuulivoimaloiden kiinteistövero. Tuulipuistosta maksetaan keskimäärin noin 400 000 euroa kiinteistöveroa jokaista voimalaa kohti niiden toiminta-ajan aikana [81]. Tuulivoimaloista maksettava kiinteistövero olisi merkittävä tulonlähde Keski- ja Itä-Suomen köyhimmille kunnille. Lisäksi tuulivoimapuiston rakentajat pysyvät kunnassa 1–1,5 vuotta, joka tuo lisätuloja asumis- ja ruokailukulujen kautta [82].

7.2 Tuulivoiman vastustaminen

Tuulivoimarakentamista voi tulevaisuudessa hidastaa huolet tuulivoimaloiden vaikutuksista muun muassa luontoon, ympäristöön ja terveyteen. Saksassa muun muassa runsas tuulivoimaloista johtuva lintukuolleisuus on herättänyt paljon huomiota luonnonsuojelijoiden ja tutkijoiden keskuudessa. Tuulivoiman aiheuttamat haitat luonnolle ovat le-

vinneet julkisuuteen sekä valituksia tuulivoimasta on laadittu alan tunnetuimpien tutkijoiden toimesta. Tämän seurauksena useat tutkijat ovat alkaneet kannattaa ydinvoimaa tuulivoiman sijasta päästöjen vähentämiseksi. [83]

Huolet tuulivoiman haitoista alkavat myös näkyä Suomessa. Maaliskuussa 2021 on tehty kansalaisaloite, jossa vaaditaan kaikki tulevat ja toiminnassa olevat tuulivoimalat ympäristöluvan alaisiksi. Perusteluina on muun muassa tuulivoimaloista syntyvät infraäänien terveyshaitat, luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen sekä vaikutukset eläimistöön ja maisemaan. Aloite on kerännyt 2966 kannatusilmoitusta 20.04.2021 mennessä. [84] Kansalaisaloitteet menevät eduskunnan käsiteltäviksi, jos aloite on saanut yli 50 000 kannatusilmoitusta. On todennäköistä, että tulevaisuudessa tuulivoimarakentamista koskevaa lainsäädäntöä tiukennetaan, jos tyytymättömyys tuulivoimasta kasvaa.

8. YHTEENVETO

Kansallisen energia- ja ilmastostrategian asettamien tavoitteiden myötä Suomen energiantuotanto on siirtymässä nopeasti kohti uusiutuvia ja päästöttömiä energiamuotoja. Näiden tavoitteiden lisäksi Suomen hyvät tuuliolosuhteet ja tuulivoiman halpa hinta tuotettua energiaa kohden on kiihdyttänyt tuulivoimarakentamista Suomessa. Maatuulivoima on osoittautunut halvimmaksi sähköntuotantomuodoksi. Vuonna 2020 tuulivoiman yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti oli 2586 MW ja uutta tuulivoimakapasiteettia odotetaan valmistuvan 2435 MW:n edestä vuoden 2023 loppuun mennessä. Lähitulevaisuudessa tuulivoimakapasiteetin odotetaan siis kasvavan keskimäärin noin 30 % vuodessa.

Suomessa tuulivoimarakentaminen on vahvasti keskittynyt länsirannikolle, erityisesti Pohjois-Pohjanmaalle. Tuulivoimaloiden korkeuden kasvaessa tuulivoimahankkeet myös sisämaassa ovat alkanut yleistyä. Maaston ja metsien vaikutus tuuleen heikkenee huomattavasti mitä korkeammalle maanpinnasta nousee.

Hyvien tuuliolosuhteiden lisäksi tuulivoimahankkeen kannattavuuteen vaikuttaa muun muassa hankkeen laajuus, maantieteellinen sijainti, maasto ja maaperän ominaisuudet. Esimerkiksi pienen tuulivoimapuiston rakentaminen syrjäiselle alueelle ei välttämättä ole kannattavaa, jos infrastruktuurin ja muun rakentamisen kustannuksen voimalaa kohden kasvavat suuriksi.

Tuulivoimarakentamisella voi olla huomattavia vaikutuksia maisemaan, luontoon ja eläimistöön, kuten lintuihin ja lepakoihin. Tuulivoimaloista aiheutuu lähiasutukselle melu- ja välkehäiriöitä liikkuvista lavoista. Lisäksi tuulivoimaloiden lähistöllä asuvat ovat raportoineet kokevansa oireita infraäänestä, jolle ei kuitenkaan ole löydetty näyttöä kuuntelukokeilla. Näiden vaikutuksien ehkäisemiseksi tuulivoimahankkeelle on aina laadittava kaavoitus ja hankittava mahdollisesti sitä koskevat luvat, jotka ovat laissa määriteltyjä. Tuulivoimaloille haettavia pakollisia lupia ovat rakennuslupa ja Puolustusvoimien hyväksyntä rakentamisesta. Muita lupia ovat ympäristö-, vesi- ja lentoestelupa, joiden tarpeellisuudet riippuvat hankkeen sijainnista. Kaavoituksessa sovelletaan useita eri tuulivoimaa koskevia lakipykälä. Suurille yli kymmenen tuulivoiman käsittävälle tuulivoimahankkeille laaditaan aina ympäristövaikutusten arviointi eli YVA. YVA:n tavoitteena on varmistaa se, että hankkeesta aiheutuvat ympäristövaikutukset selvitetään riittävällä tarkkuudella. Lisäksi tämä mahdollistaa kansalaisten osallistumisen hankkeen suunnitteluun järjestetyillä ylei-

sötilaisuuksilla. Kun kaavoitus, lupa ja YVA asiat ovat kunnossa, niin voimaloiden rakentaminen voi alkaa. Rakentamiseen kuuluvat tuulivoimaloiden pystyttämisen lisäksi maanrakennustyöt, kuten tiestöt ja liittymä sähköverkkoon.

Lisääntyneet huolet tuulivoiman vaikutuksista luontoon, ympäristöön ja terveyteen voivat tulevaisuudessa olla jarruttavia tekijöitä tuulivoimarakentamisella. Tuulivoimaan kohdistuvaan lainsäädäntöön voi esimerkiksi tulla huomattavia muutoksia, jos ihmisten tyytymättömyys tuulivoimasta kasvaa.

LÄHTEET

- [1] Energia- ja ilmastostrategia, Motiva Oy, 2021, Viitattu: 27.03.2021, Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/energia- ja ilmastostrategia>.
- [2] Taustaraportti kansalliselle energia- ja ilmastostrategialle vuoteen 2030, Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017, Viitattu: 27.03.2021, Saatavissa: <https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>.
- [3] Suomalaisen energia-asenteet 2019, Energiateollisuus ry, 2019, Viitattu: 27.03.2021, Saatavissa: <https://energia.fi/meista/tutkimus/energia-asenteet>.
- [4] Eri tuulivoimatyyppejä, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 06.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/eri-voimalatyyppeja>.
- [5] A. Korpela, Tuulivoiman perusteet, AMK-Tammertekniikka, 2016.
- [6] T. Ackermann, Wind Power in Power Systems, John Wiley & Sons, 2005.
- [7] F. Castellani, D. Astolfi, M. Peppoloni. F. Natili, Experimental Vibration Analysis of a Small Scale Vertical Wind Energy System for Residential Use, MDPI, 2019, Viitattu: 26.04.2021, Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/333316757_Experimental_Vibration_Analysis_of_a_Small_Scale_Vertical_Wind_Energy_System_for_Residential_Use.
- [8] Tuulivoimaloiden rakenne, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 06.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>.
- [9] Energiavuosi 2020, Energiateollisuus ry, 2021, Viitattu: 07.02.2021, Saatavissa: https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi_2020_-_sahko.html.
- [10] Tuulivoimatilastot 2020, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 07.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tilastot-2/tuulivoimatilastot-2020>.
- [11] Merialueiden tuulipäivät, Ilmatieteenlaitos, 2021, Viitattu: 07.02.2021, Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuulitilastot>.

- [12] Tuulivoimalla katettiin noin 10% Suomen sähkönkulutuksesta vuonna 2020, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 07.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankoh-taista/tiedotteet/tuulivoimalla-katettiin-noin-10-suomen-sahkonkulutuksesta-vuonna-2020>.
- [13] Investoinnit, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 07.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/taloudellisuus/investoinnit>.
- [14] E. Vakkilainen ja A. Kivistö, Sähkön tuotantokustannusvertailu, 2017, Viitattu: 07.02.2021, Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/143861>.
- [15] Suomen tuulivoimapuistot, Etha Wind Oy, 2021, Viitattu: 06.02.2021, Saatavissa: <https://www.ethawind.com/suomen-tuulivoimapuistot/>.
- [16] Tuulivoima Suomessa, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 07.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>.
- [17] Tuulivoimahankkeen suunnittelu ja toteutus, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/tuulivoimahankkeen-suunnittelu-ja-toteutus>.
- [18] Tuulivoimaprojektin vaiheet, Motiva Oy, 2020, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimaprojektin_vaiheet.
- [19] K. Rinta-Runsala, ei julkisesti saatavilla, 2021, .
- [20] Esiselvitys ja sopivan alueen etsintä, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/esiselvitys-ja-sopivan-alueen-etsinta>.
- [21] Neuvottelut maanomistajan kanssa, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/neuvottelut-maanomistajan-kanssa>.
- [22] Tuulimitaus, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/tuulimitaus>.
- [23] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Motiva Oy, 2020, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimarakentamisen_suunnittelu.

- [24] Ympäristövaikutusten arviointi, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/ymparistovaikutusten-arviointi>.
- [25] Tuulipuiston rakentaminen ja voimaloiden pystytys, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/tuulipuiston-rakentaminen-ja-voimaloiden-pystytys>.
- [26] Takuut ja huollot, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 08.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/takuut-ja-huollot>.
- [27] Tuulivoimateknologia, Motiva Oy, 2020, Viitattu: 10.02.2021, Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia.
- [28] Tuulen keskinopeuskartat, Tuuliatlas, 2020, Viitattu: 10.02.2021, Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/nopeus>.
- [29] Metsälän tuulipuiston YVA-selostus, Ramboll Finland Oy, 2009, Viitattu: 11.02.2021, Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Metsalan_tuulivoimapuisto_Kristiinankaupunki.
- [30] Tuulivoimaloiden sijoittelu, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 20.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatuotanto/tuulivoimaloiden-sijoittelu>.
- [31] Torkkolan tuulivoimapuisto Vaasassa , EPV Tuulivoima Oy, Viitattu: 25.04.2021, Saatavissa: <https://www.epvtuulivoima.fi/project/torkkolan-tuulivoimapuisto-vaasassa/>.
- [32] S. Pitkäkoski, 2021, .
- [33] A. Mikkonen ja H. Paalatie, Korvaukset maanomistajille - kompensatiota myös ilmatilan käytöstä, Tuulivoimayhdistys ry, 2019, Viitattu: 20.02.2021, Saatavissa: <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/tuulivoima-ja-yhteiskunta/korvaukset-maanomistajille-kompensaatiota-myos-ilmatilan-kaytosta.html?p64=3>.
- [34] H. Paalatie, 100 Tarinaa tuulivoimasta: Osa 39. Pohjatutkimukset, Tuulivoimayhdistys ry, 2019, Viitattu: 11.02.2021, Saatavissa: <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/100-tarinaa-tuulivoimasta/osa-39.-pohjatutkimukset.html?p82=2>.
- [35] Ponsivuorelle nousee tuulivoimaloita, Kurikka-lehti, 2019, Viitattu: 11.02.2021, Saatavissa: <https://www.kurikka-lehti.fi/artikkeli-6.62.521201.4d47e86c88>.

- [36] H. Paalatie, 100 Tarinaa tuulivoimasta: Osa 32. Tuulivoimalan perustus, Tuulivoimayhdistys ry, 2019, Viitattu: 11.02.2021, Saatavissa: <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/100-tarinaa-tuulivoimasta/osa-32.-tuulivoimalan-perustus.html?p82=3>.
- [37] Miljoona kiloa terästä raudoittaa perustuksia, EPV Tuulivoima Oy, 2014, Viitattu: 25.04.2021, Saatavissa: <https://www.epvtuulivoima.fi/torkkolan-blogi/miljoona-kiloa-terasta-raudoittaa-perustuksia/>.
- [38] Oulun-Haukiputaan edustan merituulipuiston YVA-selostus, Ramboll Finland Oy, 2008, Viitattu: 11.02.2021, Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/OulunHaukiputaan_edustan_merituulipuistohanke_Oulu_Haukipudas.
- [39] P. Breeze, Wind Power Generation, Elsevier Science & Technology, 2016.
- [40] Tuulivoimala ja -puisto, Hyötytuuli Oy, 2021, Viitattu: 20.02.2021, Saatavissa: <https://hyotytuuli.fi/tuulivoima/tuulivoimala-ja-puisto/>.
- [41] Sähkö sopimukset, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 20.02.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/sahkosopimukset>.
- [42] Liittyminen kantaverkkoon, Fingrid Oyj, 2021, Viitattu: 20.02.2021, Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/#liitettavyys>.
- [43] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöministeriö, 2016, Viitattu: 16.03.2021, Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79057>.
- [44] Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132, Viitattu: 16.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L18P125>.
- [45] Tuulivoima-alueen kaavoitus, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 19.03.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tuulivoimasta-kunnille/tuulivoimahanke/tuulivoimaloiden-kaavoitus>.
- [46] Luonnonsuojelulaki 20.12.1996/1096, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L5>.
- [47] Laki eräistä naapuruussuhteista 13.2.1920/26, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1920/19200026>.

- [48] Milloin tarvitaan vesilupa? 2020, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/lupamenettelyt/milloin_tarvitaan_vesilupa.
- [49] Vesilaki 27.5.2011/587, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587#L3P2>.
- [50] Ohje tuulivoimalan rakentamisesta liikenneväylien läheisyyteen, Liikennevirasto, 2012, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: <https://vayla.fi/-/uusi-ohje-tuulivoimaloiden-etaisyysvaatimuksista-liikennevayliin>.
- [51] Milloin tarvitaan lentoestelupa? 2020, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/lupamenettelyt/milloin_tarvitaan_lentoestelupa.
- [52] Ilmailulaki 864/2014, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140864>.
- [53] Maantielaki 503/2005, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050503#Pidp446985824>.
- [54] Ratalaki 2.2.2007/10, Viitattu: 20.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070110>.
- [55] Laki puolustusvoimista 11.5.2007/551, Viitattu: 21.03.2021, Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070551>.
- [56] Aluevalvontalaki 18.8.2000/755, Viitattu: 21.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000755#L6>.
- [57] Puolustusvoimat antaa lausuntoja tuulivoimahankkeista, Puolustusvoimat, Viitattu: 21.03.2021, Saatavissa: <https://puolustusvoimat.fi/tuulivoimaloiden-lausuntoprosessi>.
- [58] Tuulivoimahankkeet, Puolustusvoimat, Viitattu: 21.03.2021, Saatavissa: <https://puolustusvoimat.fi/tuulivoimalahankkeet>.
- [59] Muinaismuistolaki 295/1963, Viitattu: 21.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1963/19630295#Lidp446516352>.
- [60] Erämaalaki 17.1.1991/62, Viitattu: 21.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19910062>.
- [61] Lapin erämaa-alueet - kauas kaikesta, Luontoon.fi, 2014, Viitattu: 25.04.2021, Saatavissa: <https://www.luontoon.fi/eramaa-alueet>.

- [62] Poronhoitolaki 14.9.1990/848, Viitattu: 21.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1990/19900848>.
- [63] A. Skarin, P. Sandström, M. Alam, T. Buhot, C. Nelleman, Renar och vindkraft II - vindkraft i drift och effekter på renar och renskötsel, 2016, Viitattu: 25.04.2021, Saatavissa: <https://pub.epsilon.slu.se/13562/>.
- [64] Tuulivoimaloiden purku ja kierrätys, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, Viitattu: 27.04.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietopankki/tuulivoimaloiden-purku-ja-kierratys>.
- [65] Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017, Viitattu: 22.03.2021, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170252>.
- [66] Tuulipuiston luvittaminen Suomessa, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2019, Viitattu: 24.03.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimahanke/ymparistovaikutusten-arviointi>.
- [67] Maisemavaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa, Ympäristöministeriö, 2016, Viitattu: 24.03.2021, Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/64964>.
- [68] Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa, Ympäristöministeriö, 2016, Viitattu: 25.03.2021, Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75407>.
- [69] Tuulivoima ja linnut, Birdlife Suomi ry, Viitattu: 25.03.2021, Saatavissa: <https://www.birdlife.fi/suojelu/vaikuttaminen/tuulivoima/>.
- [70] Vaikutukset eläimistöön ja kasvillisuuteen, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, Viitattu: 25.03.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tuulivoimasta-kunnille/tuulivoima-ymparistossa/vaikutukset-elaimistoon-ja-kasvillisuuteen>.
- [71] Palovaara-Ahkiovaaran tuulivoimahankeen ympäristövaikutusten arviointiselostus, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy, 2015, Viitattu: 26.03.2021, Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/PalovaaraAhkiovaaran_tuulivoimahanke_Pello.
- [72] V. Hongisto, Tuulivoimalamelun terveysvaikutukset, 2014, Viitattu: 26.03.2021, Saatavissa: <https://www.julkari.fi/handle/10024/116854>.
- [73] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista 1107/2015, Viitattu: 26.03.2021, Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>.

- [74] I. van Kamp & F. van den Berg, Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound, Springer, 2018, Viitattu: 28.03.2021, Saatavissa: <https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/article/10.1007/s40857-017-0115-6>.
- [75] A. Turunen, P. Tiittainen, T. Yli-Tuomi, P. Taimisto, T. Lanki, Symptoms intuitively associated with wind turbine infrasound, 2020, Viitattu: 28.03.2021, Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0013935120312573?via%3Dihub>.
- [76] P. Maijala, A. Turunen, I. Kurki, M. Sainio, Tuulivoimaloiden infraääni ja terveys , Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta, 2020, Viitattu: 28.03.2021, Saatavissa: <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=34903>.
- [77] Tuulivoimahankkeet Suomessa 1/2021, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 13.04.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/sunnittelussa-olevat-hankkeet>.
- [78] Rakenteilla olevat hankkeet, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 13.04.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/rakenteilla-olevat-hankkeet>.
- [79] Tuulivoimakartta, Suomen Tuulivoimayhdistys ry, 2021, Viitattu: 13.04.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/kartta>.
- [80] J. Ruusunen, Viisas energiastrategi ymmärtää ruohonjuuritasoa, 2020, Viitattu: 15.04.2021, Saatavissa: <https://www.fingridlehti.fi/viisas-energiastrategi-ymmartaa-ruohonjuuritasoa/>.
- [81] Tuulivoimaloiden kiinteistövero, Viitattu: 15.04.2021, Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tuulivoimasta-kunnille/taloudelliset-vaikutukset/tuulivoimaloiden-kiinteistovero>.
- [82] Tuulivoiman kapasiteetti tuplaantuu – maatuulivoima kasvaa ilman tukia, Fingrid Oyj, 2020, Viitattu: 20.04.2021, Saatavissa: <https://www.fingridlehti.fi/tuulivoiman-kapasiteetti-tuplaantuu-maatuulivoima-kasvaa-ilman-tukia/>.
- [83] H. Koskenkylä, Tuulivoima vastatuulella Saksassa – ilmaston ja luonnonsuojelun tavoitteiden välillä paha ristiriita, 2019, Viitattu: 20.04.2021, Saatavissa: <https://www.suomenuutiset.fi/tuulivoima-vastatuulella-saksassa-ilmaston-ja-luonnonsuojelun-tavoitteiden-valilla-paha-ristiriita/>.
- [84] Tuulivoimaloita koskeva laki uusittava viipymättä – luonto ja turvallinen elinympäristö kuuluvat meille, Kansalaisaloite, 2021, Viitattu: 20.04.2021, Saatavissa: <https://www.kansalaisaloite.fi/fi/aloite/8104>.