

TUULIVOIMAPUISTO MAANINKA

Meluselvitys

Versio	Päivämäärä	Tekijät	Hyväksytty	Tiivistelmä
01	17.06.2016	CGr	JRd	Maaningan tuulivoimapuiston meluselvitys.

Sisällysluettelo

1	Yhteenveto	3
2	Tausta	4
3	Melu.....	4
3.1	Melun muodostuminen.....	4
4	Melun ohjearvot	6
4.1	Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista.....	6
4.2	Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat.....	6
5	Lähtötiedot ja menetelmät.....	6
5.1	Lähtötiedot.....	6
5.2	Menetelmät.....	7
6	Arvioidut meluvaikutukset	9
6.1	Nykytilanne.....	9
6.2	Rakentamisen aikaiset vaikutukset	9
6.3	Toiminnan aikaiset vaikutukset.....	9
6.4	Pienitaajuinen melu	12
6.5	Käytön lopettamisen aikaiset vaikutukset	12
6.6	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät	12
7	Haittojen ehkäiseminen ja seuranta.....	12
8	Lähteet.....	14
9	Mallinnustietojen raportti	15
	Liite 1: Melumallinnuksen tulokset.....	17
	Liite 2: Pienitaajuisen melun laskenta 45 voimalaa (lineaariset melutasot)	18
	Liite 3: Pienitaajuisen melun laskenta 61 voimalaa (lineaariset melutasot)	20
	Liite 4: Voimaloiden sijainnit	22

1 Yhteenveto

Tehtävä: Meluselvitys Maaningan tuulivoimapuiston vaikutusalueella.

Työmenetelmät: Meluselvitykseen on kerätty ajantasaista tietoa tuulivoimaloiden melun ominaispiirteistä, melun ohjearvoista, paikallisista olosuhteista sekä mallinnusmenetelmistä. Pääasiallisena laskentatyökaluna on käytetty WindPRO Ver3.0.651 ohjelmiston DECIBEL-moduulia sekä ISO 9613-2 standardin mukaisia oletuksia ja lähtöarvoja. Mallinnuksessa ja raportoinnissa on käytetty koko prosessin ajan ympäristöministeriön helmikuussa 2014 julkaisemia ohjeita (Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014). Vaikutusten arvioinnissa käytetyt laskentaparametrit on taulukoitu tässä raportissa.

Pienitaajuinen melu on laskettu käyttäen R Ver3.1.1-ohjelmistoa ja työ on tehty ympäristöministeriön helmikuussa 2014 julkaisemia ohjeita noudattaen. Rakennusten äänieristys on laskettu DSO 1284 menetelmän mukaisesti, ja tuloksia on vertailtu asumisterveysohjeessa oleviin sisämelun ohjearvoihin.

Tulokset: Ympäristöministeriön suunnitteluohjearvoja asunnoille ja vapaa-ajan asunnoille ei ylitetä. Myöskään STM:n antamia sisätilojen pienitaajuisen melun ohjearvoja ei ylitetä.

2 Tausta

Tämä meluselvitys on tehty Maaningan tuulivoimapuistolle, jossa on kaksi eri sijoitussuunnitelmavaihtoehtoa, 45 ja 61 voimalan vaihtoehdot. Maaningan melumallinnus on tehty molemmille vaihtoehdoille Vestas V126 3.3 MW voimalalla, jonka napakorkeus on 170 metriä ja roottorin halkaisija 126 metriä. Kyseisen voimalan lähtöäänitaso vastaa markkinoilla yleisesti käytettävien voimaloiden lähtöäänitasoja. Mallinnuksessa käytettiin Vestaksen toimittamia melutietoja elokuulta 2015.

Tämä selvitys on tehty ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti (Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014 Tuulivoimaloiden melun mallintaminen) WindPRO Ver3.0.651 ohjelmiston melulaskentatyökälulla. Pienitaajunen melu on laskettu käyttäen R Ver3.1.1-ohjelmistoa ja työ on tehty ympäristöministeriön helmikuussa 2014 julkaisemia ohjeita noudattaen.

3 Melu

Ääni on aaltoliikettä, joka kulkee väliainetta, esimerkiksi ilmaa, pitkin äänilähteestä äänen havainnointipisteeseen. Äänelle on ominaista voimakkuuden, taajuuden ja jaksollisuuden vaihtelut. On syytä huomioida, että tässä yhteydessä paljon käytetty A-painotettu äänenvoimakkuuden arvo (dB[A]) on eri kuin absoluuttinen äänenvoimakkuus (dB). Absoluuttinen äänen voimakkuus sisältää kaikkien taajuuksien äänenvoimakkuuden summan, kun A-painotetussa arvossa painotetaan ihmiskorvalle herkkiä taajuuksia.

Ääni luokitellaan meluksi, jos ihminen kokee sen epämiellyttävänä tai häiritsevänä. Ihmiset kokevat meluvaikutukset, kuten muutkin vaikutukset, hyvin eri tavoin. Sama ääni voidaan kokea paikasta ja henkilöstä riippuen eri tilanteissa epämiellyttäväksi meluksi, neutraaliksi ääneksi tai nautinnolliseksi ääneksi. Äänen kokemiseen vaikuttaa myös sen voimakkuus, jaksollisuus sekä taajuus.

Oleellinen vaikutus äänilähteen, kuten tuulivoimalan, meluun on taustamelulla. Taustamelu voi mm. peittää äänilähteelle tyypillisiä ominaisuuksia, kuten äänen jaksollisuutta. Yleisimpiä taustamelun aiheuttajia ovat tuulen aiheuttama suhina sekä liikenteen kohina. Tuulen nopeuden kasvaessa riittävästi, peittää sen tuottama taustamelu tuulivoimalan melun alleen.

Voimakas tai häiritsevä melu voi aiheuttaa terveyshaittoja ja vaikuttaa luonnonympäristön toimintaan. Mitä lähemmäs tuulivoimaloita mennään, sitä häiritsevämpänä melu saatetaan kokea. Siksi on tärkeää tarkastella aluetta maankäytöllisestä näkökulmasta.

3.1 Melun muodostuminen

Tuulivoimaloiden synnyttämä ääni muodostuu pääosin (noin 65 % äänestä) lapojen liikkeestä, mutta myös koneiston aiheuttamasta mekaanisesta äänestä (noin 35 % äänestä). Konehuoneesta lähtevä ääni voi nousta merkittävämmäksi äänen lähteeksi esimerkiksi

vikatilanteissa, kun vaihteisto tai generaattori ei toimi oikein. (Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, 2012)

Lapojen aiheuttama aerodynaaminen melu johtuu pyörimisestä aiheutuvasta jatkuvasta huminasta sekä jaksollisesta huminasta. Jaksollinen humina syntyy ilmakerroksen puristumisesta lavan ohittaessa tornin ja toisaalta lavan melun heijastuessa tornin rungosta. Äänen voimakkuuteen vaikuttaa merkittävästi roottorin koko siten, että suuremmilla lavoilla meluvaikutukset ovat suuremmat. Kovalla tuulella äänet ovat voimakkaimmillaan etenkin, kun tuuli puhaltaa voimalan suunnasta. Lämpötila ja ilmankosteus vaikuttavat melun voimakkuuteen. Oleellimmat tekijät äänen voimakkuuden kannalta ovat kuitenkin etäisyys tuulivoimalasta ja lähistöllä olevien voimaloiden lukumäärä. (Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, 2012)

Äänelle on ominaista sen vaimeneminen paikallisten olosuhteiden mukaisesti. Äänenvoimakkuus vaimenee äänilähteestä kauemmas mentäessä, sillä sen sisältämä energia vähenee. Etenemiseen vaikuttavat myös ilman ominaisuudet, kuten lämpötila sekä suhteellinen kosteus. Maaston muodoilla, kasvillisuudella ja tuulensuunnalla on oleellinen merkitys äänen vaimenemisessa. Selvittämällä vaimenemiseen vaikuttavat tekijät, pystytään äänen kulkua arvioimaan teoreettisesti.

Tuulivoimaloiden rakentamisen aikainen melu johtuu mm. teiden, tuulivoimaloiden, sähköverkon sekä muun infrastruktuurin rakentamisesta sekä alueen liikenteestä. Nämä vaikutukset ovat lyhytaikaisia ja tilapäisiä.

Seuraavassa taulukossa on vertailuarvoja äänenvoimakkuusarvojen suhteesta.

Taulukko 1. Vertailutaulukko absoluuttisista äänenvoimakkuuksista.

130 dB	Kipukynnys	
100-120 dB	Rock-konsertti	107 dB: Tyypillinen pistemäinen laskennallinen äänilähde konehuoneen korkeudella
90 dB	Rekan ohiajo	
80 dB	Vilkasliikenteinen katu	
70 dB	Ajoneuvon sisämelu	
60 dB	Toimisto, jossa ilmastointi	
50 dB	Vaimea keskustelu	
40 dB	Taustamelu kotona	
30 dB	Kuiskaus (1m)	

4 Melun ohjeartot

4.1 Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjeartoista

Asetuksessa säädetään toimivien tuulivoimaloiden aiheuttaman laskennallisen tai mitatun melutason ohjeartot. Melulle altistuvalla alueella melutaso ei saa ulkona ylittää seuraavassa taulukossa lueteltuja A-taajuuspainotetun keskiäänitason ohjeartoja. Asetus on tullut voimaan 1.9.2015.

Taulukko 2. Ohjeartot valtioneuvoston asetuksessa.

	ulkomelutaso L_{Aeq} päivällä klo 7—22	ulkomelutaso L_{Aeq} yöllä klo 22—7
pysyvä asutus	45 dB	40 dB
loma-asutus	45 dB	40 dB
hoitolaitokset	45 dB	40 dB
oppilaitokset	45 dB	—
virkestysalueet	45 dB	—
leirintäalueet	45 dB	40 dB
kansallispuistot	40 dB	40 dB

4.2 Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat

Sosiaali- ja terveysministeriön vuoden 2015 Asumisterveysasetuksessa määrittelemät yöaikaisen pieni- eli matalataajuuden sisämelun toimenpiderajat on esitetty alla.

Taulukko 3. Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat yöaikaiselle pienitaajuudelle sisämelulle.

Kaista / Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
$L_{eq, 1h}$ / dB	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

5 Lähtötiedot ja menetelmät

5.1 Lähtötiedot

Tuulivoimaloiden aiheuttamat meluvaikutukset on mallinnettu soveltaen ISO 9613-2 standardia. Lähtötietoina on käytetty alla olevissa taulukoissa olevia arvoja.

Voimalatiedot, kuten äänitehotasojen takuarvot, on saatu voimalan valmistajalta. Äänitehotasot ilmoitetaan joko kokonaisäänitehotasona tai 1/3 oktaavikaistoittain riippuen valmistajasta ja käytettävästä voimalasta. Maaningan tapauksessa äänitehotasot on ilmoitettu 1/3 oktaavikaistoittain.

Mallinnuksessa käytetty voimalatyyppi on mainittu alla.

Taulukko 4. Hankkeen voimalatiedot.

Hankealue	Suunnitteluvaihe	Voimalat	Voimalan tornin korkeus (m)	Voimalan äänitehotaso (L _{wa})	1/3 oktaavikaistoittainen äänispektri
Maaninka	YVA	V126 3.3MW	170	106.0 dBA	Käytössä

Taulukko 5. Melumallinnuksessa käytettyjä arvoja (Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014).

Maaston vaikutus melun etenemiseen, kerroin	0.4
Tarkastelupisteen korkeus (metriä maanpinnan yläpuolella)	4 m
Ilman lämpötila	15°C
Ilman suhteellinen kosteus	70 %

Alueen korkeustietona on käytetty Maanmittauslaitoksen kahden metrin korkeusmallia ja alueen maanpeitteisyys on Suomen ympäristökeskuksen OIVA-tietokannasta. Kasvillisuuden vaimentavaa vaikutusta ei ole mallinnuksessa huomioitu, koska nykyisten tutkimusten perusteella ei riittävää luotettavuutta tästä voida saavuttaa. Rakennustiedot perustuvat Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan, jota on päivitetty paikallisten kuntaviranomaisten ohjeistuksen mukaisesti.

Laskennassa on otettu lähtökohdaksi voimalan tuottama äänenvoimakkuus ja tämän pohjalta on mallinnettu äänen vaimeneminen (geometrinen vaimeneminen sekä ilmakehän vaimentava vaikutus) koko tuulivoimapuiston alueella. Mallinnuksessa on oletettu, että kaikki asunnot ovat tuulen alapuolella kaikkiin voimaloihin nähden ja tuulenoisuus 10 metrin korkeudella maan pinnasta on 8 m/s. Useiden voimaloiden yhteismeluvaikutukset on otettu huomioon. Alueelta valittiin kymmenen havainnointipistettä (asuntoa tai vapaa-ajan asuntoa), joiden kohdalta voimaloiden aiheuttamat äänenvoimakkuudet ilmoitetaan.

5.2 Menetelmät

Melumallinnus on suoritettu WindPRO Ver3.0.651 ohjelmiston DECIBEL-moduulia käyttäen. WindPRO on tanskalaisen EMD International A/S:n tarjoama tuulivoiman mallinnusohjelmisto. Ohjelmistolla mallinnetaan ja visualisoidaan äänen eteneminen ja vaimeneminen, mutta sitä käytetään myös muiden vaikutusten mallintamiseen sekä tuuliresurssien laskemiseen.

Mallinnusta tehtäessä ohjelmistoon syötetään ympäristöministeriön (2/2014) ohjeistamat parametrit sekä ISO 9613-2 standardin mukaiset lähtötiedot. Mallinnuksessa lasketaan melun leviäminen vaikutusalueella sekä hankkeesta aiheutuvat melutasot tarkastelluissa pisteissä.

Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti melupäästöarvoon lisätään 2 dB, jos asunnon ja voimalan perustusten välinen korkeusero ylittää 60 metriä. Korjaus tehdään, kun etäisyys voimalan ja asunnon välillä on enintään kolme kilometriä. Korkeusero ei ylitä 60 metriä, joten melupäästöarvoon ei ole lisätty 2 dB.

Jos ääni on erityisen häiritsevää eli kapeakaistaista tai impulssimaista lisätään laskenta- tai mittaustuloksiin 5 dB ennen asetuksen ohjearvoon vertaamista. Voimalatoimittajan lähtötietojen perusteella, tämän mallinnuksen laskentatuloksiin ei ole tarvetta lisätä sanktiota.

Amplitudimodulaatio on paikallisista olosuhteista ja voimalatyypistä riippuva ilmiö. Ilmiötä ei pysty mallintamaan etukäteen, vaan se pystytään varmistamaan ainoastaan käytönaikaisilla melumittauksilla.

Ympäristöministeriön tuulivoimaloiden melumallinnusohjeen mukaan ”melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen sykinnän (amplitudimodulaatio) vaikutukset sisältyvät lähtökohtaisesti valmistajan ilmoittamiin melupäästön takuuarvoihin, eikä niiden tarkastelua tässä yhteydessä edellytetä. Aiheesta on tehty kansainvälisiä tutkimuksia (esim. Bertagnolio, 2014), joiden mukaan havaittu amplitudimodulaatio on mahdollista hallita teknisesti.

Pienitaajuinen melulaskenta on tehty ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti, asuntojen ja vapaa-ajan asuntojen ulkopuolelta käyttäen annettua laskentakaavaa. Sisätilojen melutasot on laskettu niin ikään ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti. Rakennusten äänieristys on laskettu DSO 1284 menetelmän mukaisesti, ja tuloksia on vertailtu asumisterveysohjeessa oleviin sisämelun ohjearvoihin.

Pienitaajuinen melu 1/3-oktaavitasoittain altistuvassa kohteessa rakennuksen ulkopuolella arvioidaan yhtälöllä

$$L_p = L_w - 20 \text{ dB} \cdot \log_{10}(d_1 / 1 \text{ m}) - 11 \text{ dB} + A_{gr} - A_{atm} \cdot d_2$$

missä

L_p	on äänen 1/3-oktaavitaso altistuvassa kohteessa [dB]
L_w	on tuulivoimalan 1/3-oktaavikaistan äänitehotaso [dB]
d_1	on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [m]
A_{gr}	on heijastavan pinnan tuottama korjaus [dB]
A_{atm}	on ilmakehän tuottama vaimennus lämpötilassa 15 C° ja 70 % suhteellisessa kosteudessa [dB/km]
d_2	on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [km]

Kuva 1. Pienitaajuisen melun laskentakaava (Ympäristöministeriö, 2014)

6 Arvioidut meluvaikutukset

6.1 Nykytilanne

Maaningan tuulivoimapuiston alue on pääasiassa erämaa-aluetta ja sen äänimaisema on tällaiselle alueelle tyypillistä.

6.2 Rakentamisen aikaiset vaikutukset

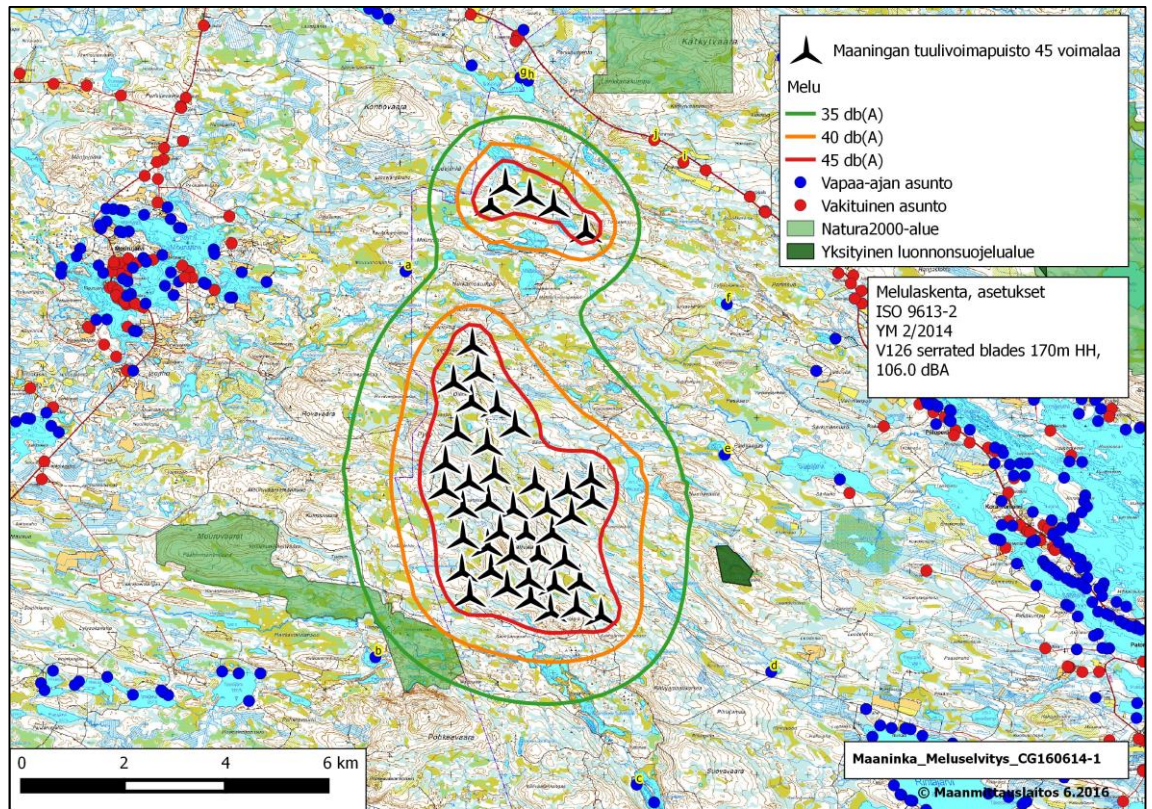
Tuulivoimapuiston rakentamisen aikana melua aiheutuu mm. maansiirtokoneista, nostureista, ajoneuvoliikenteestä sekä rakentamisesta. Rakennustyömaan melu on hyvin impulssimaista ja paikallista ja ajoittuu pääasiallisesti päiväaikaan. Tämän vuoksi meluvaikutukset eivät kasva merkittäviksi. Tiestön ja perustusten rakentaminen tuottaa eniten melua ja lisääntyvä liikenne saattaa nostaa alueen melutasoa hieman.

Rakentaminen kestää vain lyhyen ajan suhteessa tuulivoimaloiden elinkaareen, joten meluvaikutuksetkin voidaan katsoa lyhytkestoisiksi.

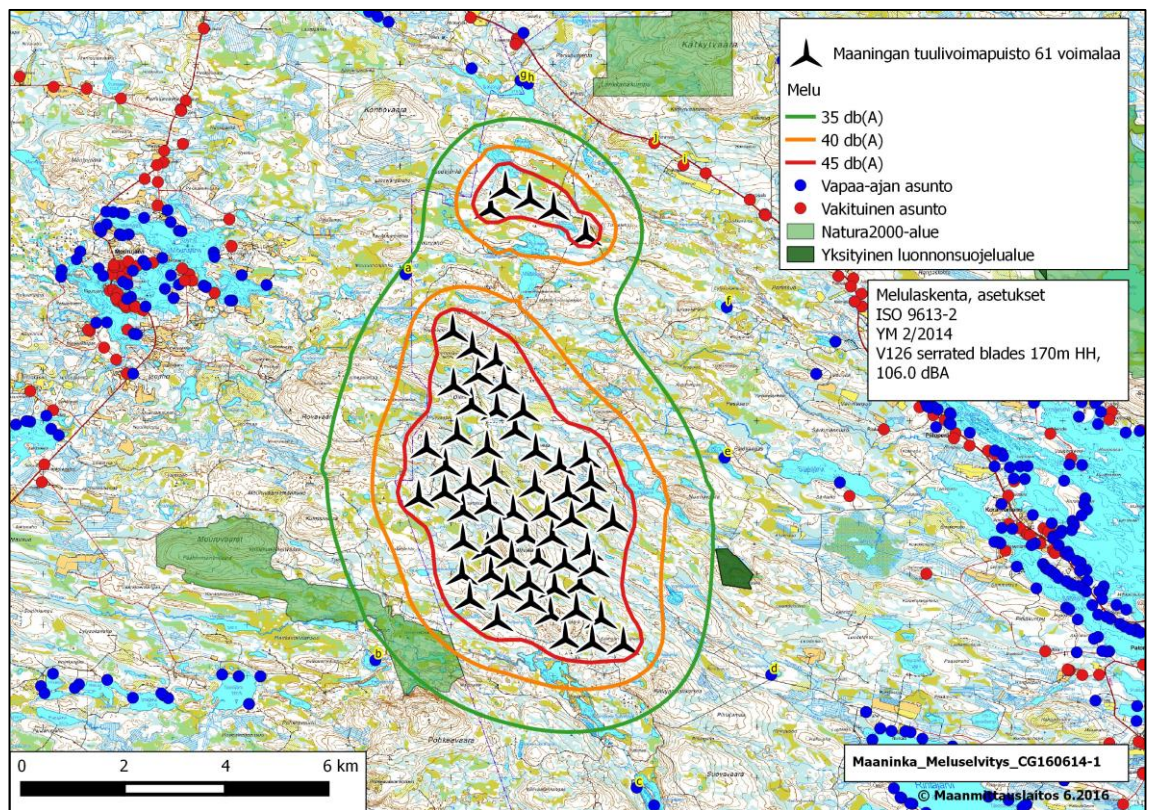
6.3 Toiminnan aikaiset vaikutukset

Valtioneuvoston asetuksen ulkomelutason ohjearvojen mukaiset äänitasot ulottuvat Maaningan tuulivoimapuistossa siten, että 40 dBA:n raja ulottuu 600-1300 metrin päähän uloimmasta voimalasta.

Maaningan melumallinnuksessa on käytetty Vestaksen V126 3.3MW serrated blade voimalaa, jonka kokonaisäänitaso on 106.0 dBA.



Kuva 2. Maaningan tuulivoimapuiston melumallinnus, 45 voimalaa. Kuvaan on merkitty kirjaimin 10 havainnointipistettä.



Kuva 3. Maaningan tuulivoimapuiston melumallinnus, 61 voimalaa. Kuvaan on merkitty kirjaimin 10 havainnointipistettä.

Melumallinnuksen mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen yöajan ohjearvoa 40 dBA. Yhden vapaa-ajan asunnon kohdalla (a) laskettu melutaso ylittää 35 dBA 61 voimalan sijoitussuunnitelmalla, muuten melutaso alittaa 35 dBA kaikkien asuntojen sekä vapaa-ajan asuntojen kohdalla molemmissa sijoitussuunnitelmissa.

Alueen läheisyydestä on valittu 10 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 1.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että Maaningan tuulivoimapuiston meluvaikutukset ovat normaalin toiminnan aikana vähäiset.

Tuulivoimapuiston alueella, voimaloiden välittömässä läheisyydessä, äänitaso on yli 45 dBA, joten melulla saattaa olla vaikutuksia esimerkiksi alueen virkistyskäyttöön. Alueen pohjoisosassa kulkee kaavoitettu moottorikelkkailureitti, jolla 45 dBA:n äänitaso saatetaan ylittää. Käyttötarkoitus huomioiden, tuulivoimaloiden äänen ei nähdä aiheuttavan merkittävää haittaa alueelle. Alueen lounaispuolella sijaitsee Natura-alue, jossa äänitasot mallinnuksen mukaan ovat 35-40 dBA. Virkistysalueille asetettu 45 dBA:n ohjearvo kuitenkin alitetaan, joten tuulivoimaloiden melun ei nähdä aiheuttavan alueelle merkittävää haittaa.

6.4 Pienitaajuinen melu

Pienitaajuinen melu on laskettu ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti.

Asumisterveysohjeen ohjearvot pienitaajuiselle melulle alittuvat selvästi lähimmissä asunnoissa. Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla sisätilojen ohjearvot alittuvat selvästi. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoissa ohjearvot alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Laskennan tulokset löytyvät liitteestä 2 ja 3.

Laskennassa ei ole otettu huomioon asuntojen todellisia äänieristysominaisuuksia, joten todellinen pienitaajuinen melu voi olla laskettua korkeampi (DSO laskentamenetelmässä käytetään ainoastaan talojen keskimääräistä äänieristystä). Lasketut arvot eivät kuitenkaan ole lähellä asumisterveysasetuksen toimenpideraja-arvoja, joten arvion mukaan marginaalit ovat riittävät, eivätkä raja-arvot ylity.

6.5 Käytön lopettamisen aikaiset vaikutukset

Käytön lopettamisen aikaiset meluvaikutukset ovat samankaltaiset rakennusvaiheen vaikutusten kanssa. Ajallisesti meluvaikutukset ovat tuolloin lyhytkestoiset ja ne johtuvat työmaakoneiden äänistä ja liikenteestä.

Käytön lopettamisen jälkeen alueen äänimaisema palaa samaan tilaan, kuin ennen tuulivoimapuiston rakentamista.

6.6 Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät

Mallinnuksessa on käytetty ympäristöministeriön ohjeistuksen ja siellä mainittujen standardien mukaisia menetelmiä ja tulokset on raportoitu ohjeistuksen mukaisesti. Mallinnusmenetelmiin sisältyy aina pieni epävarmuus, jota on pienennetty mm. asiantuntijoiden yhteisesti päättämällä mallinnuksen lähtötiedoilla, jotka ympäristöministeriö on julkaissut.

Kyseisen voimalan lähtöäänitaso vastaa markkinoilla yleisesti käytettävien voimaloiden lähtöäänitasoja ja valittaessa eri voimalatyyppi, melumallinnuksen tulokset voivat muuttua.

Pienitaajuisen melun laskennassa käytettävä menetelmä käyttää oletuksena keskimääräistä talojen rakenteiden äänieristysarvoa, joten talojen eristykset voivat todellisuudessa vaihdella.

7 Haittojen ehkäiseminen ja seuranta

Rakennusaikana meluhaittoja voidaan vähentää käyttämällä vähemmän melua aiheuttavia työkoneita ja ajoittamalla työt vähemmän häiritsevään aikaan vuorokaudesta.

Tuulivoimaloiden meluvaikutuksia voidaan säädellä vaikuttamalla äänilähteiden toimintaan. Konehuoneesta lähtevää ääntä voidaan vaimentaa lisäämällä konehuoneeseen eristeitä tai

korjaamalla/muuttamalla tekniikkaa. Merkittävämpi vaimennus saadaan aikaan kuitenkin roottorin toimintaan vaikuttamalla.

Yksinkertaisesti voimalan ääntä saadaan vaimennettua hidastamalla roottorin pyörimistä tai säätämällä lapojen pyörimiskulmaa, mutta molemmilla tavoilla myös voimalan tuotanto pienenee. Säätämällä lähellä toisiaan pyörivien voimaloiden toimintaa, voidaan melua pienentää esimerkiksi muuttamalla lapojen kohtauskulmaa. Myös voimaloiden toiminta-aikoja voidaan tarvittaessa muuttaa siten, että ohjeavot eivät ylitä herkällä alueella, joskaan tälle ei meluselvityksen tulosten mukaan ole tarvetta Maaningan hankkeessa.

8 Lähteet

Sosiaali- ja Terveysministeriö (2015). Asumisterveysasetus. Helsinki.
<http://www.stm.fi/tiedotteet/tiedote/-/view/1907834>

Valtioneuvosto (2015). Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>

Bertagnolio, F. et.al. (2014). Cyclic pitch for the control of wind turbine noise amplitude modulation. Viitattu 14.1.2014. Saatavilla
http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p551.pdf.

Liikennevirasto (2009). Liikennemäärä. <http://kartta.liikennevirasto.fi/maaliikenne/wms>

Suomen ympäristökeskus (2014). OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille.
<http://www.d3.ymparisto.fi/d3/paikkatieto.htm>

Vestas (2015). V126-3.3_3.45MW Estimated Third Octaves, Item No. 0048-2151.V03

Ympäristöministeriö (2012). Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Helsinki.
http://www.tuulivoimaopas.fi/files/40/Tuulivoimarakentamisen_suunnittelu.pdf

Ympäristöministeriö (2014). Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Helsinki.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42937/OH_2_2014.pdf?sequence=1

Maanmittauslaitos (2015). Maanmittauslaitoksen avoimen tietoaaineiston lisenssi - versio 1.0 - 1.5.2012. http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata_lisenssi_versio1_20120501

Liite 1: Melumallinnuksen tulokset

Taulukko 6. Meluarvot valituissa kohteissa.

	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Rakennuksen tyyppi	Ohjearvo (dBA)	Melu 45 voimalaa (dBA)	Melu 61 voimalaa (dBA)	Ohjearvojen ylitys
a	569111	7361875	vapaa-ajan asunto	40	33.7	35.9	Ei
b	568519	7354304	vapaa-ajan asunto	40	32.6	33.5	Ei
c	573647	7351805	vapaa-ajan asunto	40	27.5	29.7	Ei
d	576289	7354018	vapaa-ajan asunto	40	26.9	29.1	Ei
e	575377	7358278	vapaa-ajan asunto	40	31.9	33.8	Ei
f	575417	7361230	vapaa-ajan asunto	40	27.8	29.2	Ei
g	571367	7365677	vapaa-ajan asunto	40	31	31.3	Ei
h	571518	7365614	vapaa-ajan asunto	40	31.3	31.6	Ei
i	574567	7364014	vakituinen asunto	40	28.5	29.1	Ei
j	573993	7364450	vakituinen asunto	40	29.6	30	Ei

Liite 2: Pienitaajuisten melun laskenta 45 voimalaa (lineaariset melutasot)

Asumisterveysohjeen ohjearvot pienitaajuiselle melulle alittuvat selvästi lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoilla ohjearvot alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa.

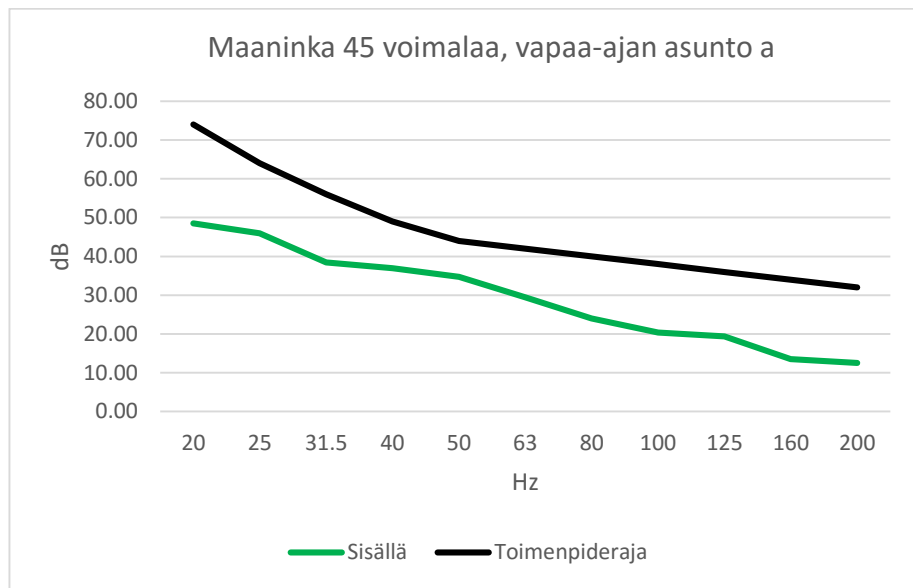
Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla ohjearvot alittuvat selvästi.

Taulukko 7. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.

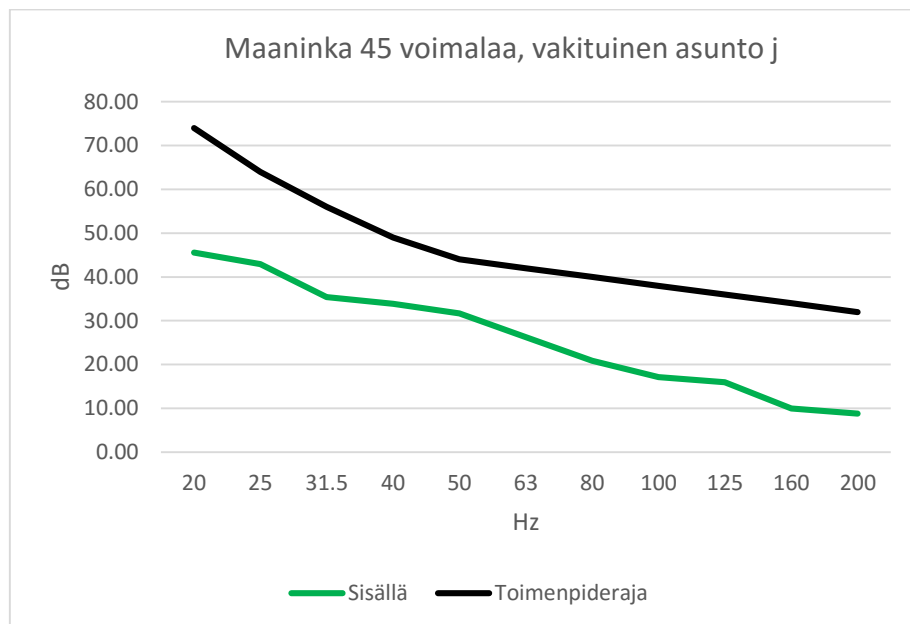
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
20	55.11	55.00	51.94	51.70	54.28	52.32	52.19	52.34	51.75	52.14
25	54.34	54.22	51.13	50.88	53.50	51.51	51.40	51.55	50.94	51.34
31.5	49.20	49.08	45.98	45.73	48.36	46.36	46.25	46.41	45.79	46.19
40	48.33	48.21	45.07	44.81	47.47	45.45	45.36	45.51	44.88	45.29
50	47.75	47.63	44.46	44.20	46.88	44.84	44.76	44.92	44.27	44.69
63	46.01	45.88	42.64	42.37	45.11	43.03	42.98	43.14	42.46	42.90
80	43.73	43.59	40.27	39.99	42.80	40.66	40.66	40.82	40.10	40.56
100	41.60	41.45	37.98	37.68	40.62	38.38	38.46	38.64	37.84	38.34
125	39.55	39.36	35.69	35.36	38.47	36.09	36.32	36.51	35.60	36.15
160	34.69	34.45	30.49	30.11	33.48	30.88	31.37	31.58	30.49	31.13
200	33.75	33.44	29.10	28.66	32.34	29.48	30.36	30.59	29.27	30.03

Taulukko 8. Pienitaajuinen melu sisätiloissa.

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
20	48.51	48.40	45.34	45.10	47.68	45.72	45.59	45.74	45.15	45.54
25	45.94	45.82	42.73	42.48	45.10	43.11	43.00	43.15	42.54	42.94
31.5	38.40	38.28	35.18	34.93	37.56	35.56	35.45	35.61	34.99	35.39
40	36.93	36.81	33.67	33.41	36.07	34.05	33.96	34.11	33.48	33.89
50	34.75	34.63	31.46	31.20	33.88	31.84	31.76	31.92	31.27	31.69
63	29.41	29.28	26.04	25.77	28.51	26.43	26.38	26.54	25.86	26.30
80	24.03	23.89	20.57	20.29	23.10	20.96	20.96	21.12	20.40	20.86
100	20.40	20.25	16.78	16.48	19.42	17.18	17.26	17.44	16.64	17.14
125	19.35	19.16	15.49	15.16	18.27	15.89	16.12	16.31	15.40	15.95
160	13.49	13.25	9.29	8.91	12.28	9.68	10.17	10.38	9.29	9.93
200	12.55	12.24	7.90	7.46	11.14	8.28	9.16	9.39	8.07	8.83



Kuva 4. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen matalataajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön ohjearvo vapaa-ajan asunnossa a.



Kuva 5. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen matalataajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön ohjearvo asunnossa j.

Liite 3: Pienitaajuisten melun laskenta 61 voimalaa (lineaariset melutasot)

Asumisterveysohjeen ohjearvot pienitaajuiselle melulle alittuvat selvästi lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoilla ohjearvot alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa.

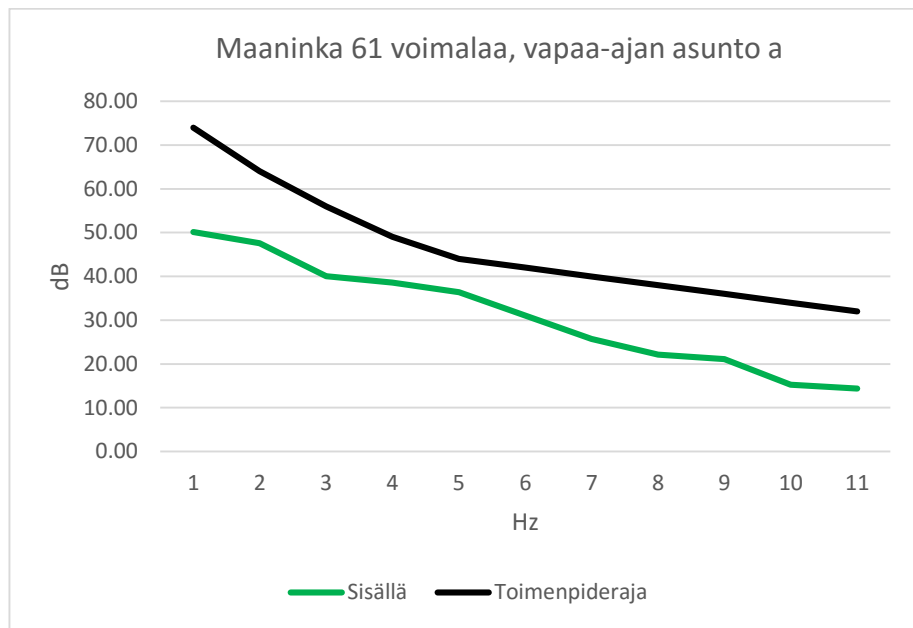
Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla ohjearvot alittuvat selvästi.

Taulukko 9. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.

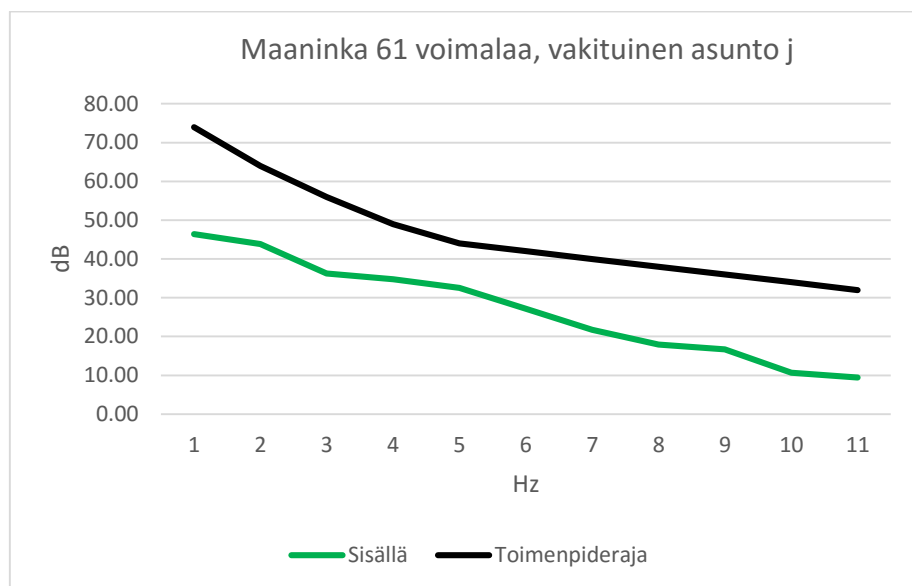
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
20	56.76	56.10	53.64	53.41	55.92	53.73	52.97	53.11	52.76	53.04
25	55.99	55.32	52.84	52.60	55.14	52.92	52.17	52.31	51.94	52.24
31.5	50.86	50.18	47.69	47.45	50.00	47.77	47.02	47.16	46.79	47.08
40	49.99	49.30	46.78	46.54	49.12	46.86	46.12	46.26	45.88	46.18
50	49.42	48.72	46.18	45.93	48.54	46.25	45.51	45.66	45.26	45.57
63	47.68	46.96	44.37	44.11	46.77	44.44	43.71	43.86	43.44	43.77
80	45.41	44.67	42.02	41.75	44.47	42.08	41.37	41.52	41.07	41.41
100	43.31	42.52	39.76	39.47	42.30	39.80	39.14	39.30	38.78	39.16
125	41.28	40.42	37.51	37.19	40.18	37.51	36.94	37.12	36.50	36.92
160	36.47	35.49	32.38	32.01	35.22	32.32	31.92	32.12	31.33	31.84
200	35.60	34.46	31.09	30.64	34.13	30.93	30.83	31.05	30.02	30.64

Taulukko 10. Pienitaajuinen melu sisätiloissa.

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
20	50.16	49.50	47.04	46.81	49.32	47.13	46.37	46.51	46.16	46.44
25	47.59	46.92	44.44	44.20	46.74	44.52	43.77	43.91	43.54	43.84
31.5	40.06	39.38	36.89	36.65	39.20	36.97	36.22	36.36	35.99	36.28
40	38.59	37.90	35.38	35.14	37.72	35.46	34.72	34.86	34.48	34.78
50	36.42	35.72	33.18	32.93	35.54	33.25	32.51	32.66	32.26	32.57
63	31.08	30.36	27.77	27.51	30.17	27.84	27.11	27.26	26.84	27.17
80	25.71	24.97	22.32	22.05	24.77	22.38	21.67	21.82	21.37	21.71
100	22.11	21.32	18.56	18.27	21.10	18.60	17.94	18.10	17.58	17.96
125	21.08	20.22	17.31	16.99	19.98	17.31	16.74	16.92	16.30	16.72
160	15.27	14.29	11.18	10.81	14.02	11.12	10.72	10.92	10.13	10.64
200	14.40	13.26	9.89	9.44	12.93	9.73	9.63	9.85	8.82	9.44



Kuva 6. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen matalataajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön ohjearvo vapaa-ajan asunnossa a.



Kuva 7. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen matalataajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön ohjearvo asunnossa j.

Liite 4: Voimaloiden sijainnit

Taulukko 11. Maaningan voimaloiden sijaintitiedot, 45 voimalaa.

Voimala	Itäinen (ETRS- TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35- FIN)	Kokonaisäänen- voimakkuus [dB(A)]	Tuulivoimalatyyppi
1	7355203	572945	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
5	7359973	570530	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
6	7356061	570215	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
7	7356815	571470	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
8	7357778	571648	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
9	7356077	570785	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
10	7356285	572228	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
12	7356387	571192	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
14	7360495	570420	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
15	7355276	571954	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
16	7356554	570722	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
17	7363239	570776	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
18	7355354	572461	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
19	7356840	570963	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
20	7359386	570401	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
23	7357308	571887	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
24	7359772	570050	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
27	7356374	571709	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
28	7355750	571102	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
29	7355794	572031	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
30	7357826	570354	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
31	7355519	571564	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
33	7363426	571545	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
34	7363632	571069	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
35	7355574	570368	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
36	7363219	572014	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
39	7357421	570734	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
40	7355861	572532	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
41	7357675	569870	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
42	7357287	571220	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
43	7358795	570117	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
44	7358542	570709	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
45	7359285	570898	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
46	7355899	571524	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
48	7362718	572645	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade

49	7358185	569893	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
54	7357977	570852	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
56	7357309	570235	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
58	7358895	571257	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
59	7356711	570233	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
60	7356809	571985	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
67	7357165	572367	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
68	7357670	572286	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
69	7357474	572773	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
70	7357882	572748	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade

Taulukko 12. Maaninnan voimaloiden sijaintitiedot, 61 voimalaa.

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Kokonaisäänenvoimakkuus [dB(A)]	Tuulivoimalatyyppi
1	7355203	572945	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
3	7356209	572802	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
5	7359973	570530	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
6	7356061	570215	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
7	7356815	571470	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
8	7357778	571648	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
9	7356077	570785	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
10	7356285	572228	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
12	7356387	571192	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
13	7358544	569519	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
14	7360495	570420	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
15	7355276	571954	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
16	7356554	570722	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
17	7363239	570776	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
18	7355354	572461	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
19	7356840	570963	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
20	7359386	570401	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
21	7360825	570035	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
23	7357308	571887	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
24	7359772	570050	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
27	7356374	571709	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
28	7355750	571102	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
29	7355794	572031	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
30	7357826	570354	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
31	7355519	571564	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
33	7363426	571545	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
34	7363632	571069	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
35	7355574	570368	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade

36	7363219	572014	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
38	7354690	573384	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
39	7357421	570734	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
40	7355861	572532	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
41	7357675	569870	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
42	7357287	571220	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
43	7358795	570117	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
44	7358542	570709	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
45	7359285	570898	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
46	7355899	571524	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
47	7357569	569367	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
48	7362718	572645	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
49	7358185	569893	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
52	7354802	572243	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
53	7354727	572771	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
54	7357977	570852	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
56	7357309	570235	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
58	7358895	571257	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
59	7356711	570233	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
60	7356809	571985	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
61	7355155	570909	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
63	7358481	571665	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
64	7358209	572130	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
65	7358348	572636	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
66	7356540	572677	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
67	7357165	572367	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
68	7357670	572286	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
69	7357474	572773	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
70	7357882	572748	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
72	7357099	573175	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
73	7360263	570884	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
74	7359796	571041	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade
75	7359265	571414	106.0	VESTAS V126-3.3 MW serrated blade

TUULIVOIMAPUISTO MAANINKA

Välkeselvitys

Versio	Päivämäärä	Tekijät	Hyväksytty	Tiivistelmä
01	17.6.2016	CGr	JRd	Tuulivoimapuisto Maaninka, välkeselvitys.

Sisällys

1	Yhteenveto	3
1	Tausta	4
2	Varjovälkkeen muodostuminen	4
2.1	Ohje- ja raja-arvot	5
2.2	Varjovälkkeen lähtötiedot ja menetelmät	5
3	Välkevaikutukset.....	6
3.1	Maaningan välkevaikutukset, 45 voimalaa	6
3.2	Maaningan välkevaikutukset, 61 voimalaa	7
3.3	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät	9
3.4	Haittojen ehkäiseminen ja seuranta	9
4	Lähteet.....	10
5	Liite 1: Voimaloiden sijainnit, 45 voimalaa.....	11
6	Liite 2: Voimaloiden sijainnit, 61 voimalaa.....	12

1 Yhteenveto

Tehtävä: Välkeselvitys Maaningan tuulivoimapuiston vaikutusalueella.

Työmenetelmät: Välkeselvitykseen on kerätty ajantasaista tietoa tuulivoimaloiden varjon välkkeen ominaispiirteistä, välkkeen ohjearvoista, paikallisista olosuhteista sekä mallinnusmenetelmistä. Pääasiallisena laskentatyökaluna on käytetty WindPRO Ver3.0.651 ohjelmiston SHADOW-moduulia. Mallinnuksessa ja raportoinnissa on käytetty koko prosessin ajan ympäristöministeriön vuonna 2012 julkaisemia ohjeita raportista Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöministeriö, 2012). Vaikutusten arvioinnissa käytetyt laskentaparametrit on taulukoitu tässä raportissa.

Tulokset: Ruotsissa ja Saksassa annettua maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä asunnoille ei ylitetä. Myöskään vuosikohtaiset suositukset teoreettisessa maksimitilanteessa (30h/v) ja päiväkohtaiset suositukset teoreettisessa maksimitilanteessa (30 min/pv) eivät ylity.

1 Tausta

Tämä välkemallinnus on tehty Maaningan tuulivoimapuistolle, jossa on kaksi eri sijoitus suunnitelmavaihtoehtoa, 45 ja 61 voimalan vaihtoehtoja. Maaningan välkemallinnus on tehty molemmille sijoitus suunnitelmille voimalalla, jonka napakorkeus on 170 metriä ja roottorin halkaisija 160 metriä. Kyseinen voimala on suurempi kuin tällä hetkellä markkinoilla olevat voimalat ja valittu mallinnusvoimalaksi maksimivaikutusten selvittämiseksi.

Tämä selvitys on tehty WindPRO 3.0.651 ohjelmiston SHADOW-moduulia käyttäen. Tulosten arvioinnissa on käytetty muiden maiden ohjeistoja, joita ympäristöministeriö raportissa Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (2012) suosittelee käytettävän. Etha Wind Oy on parhaan kykensä mukaan tarkistanut tietojen ja laskennan oikeellisuuden.

2 Varjovälkkeen muodostuminen

Tuulivoimaloiden roottorin pyörimisestä aiheutuu säännöllisesti välkkyvää varjovaikutusta, kun voimala pyörii tarkastelupisteen ja auringon välissä. Välkkeen määrä riippuu sääolosuhteista siten, että esimerkiksi pilvisellä säällä välkettä ei esiinny. Kesällä välkevaikutukset ovat mahdollisia aamuisin ja iltaisin, kun aurinko on matalalla. Talvisin välkettä voidaan havaita myös päivällä. Etäisyyden kasvaessa tuulivoimalan ja tarkastelupisteen välissä, välkkeen vaikutus pienenee. Kun tuulivoimala ei pyöri, välkettä ei esiinny. Välkevaikutus riippuu myös tuulen suunnasta eli roottorin kulmasta havainnointipisteeseen nähden.

Havaintopaikkaan kohdistuva varjovälke ei ole jatkuvaa, vaan välkkeen ajankohta ja kestoaika vaihtelee vuorokauden ja vuodenajan mukaan. Yhtäjaksoista välkettä esiintyy yleensä noin 5-30 minuuttia päivässä riippuen havainnointipaikan suhteesta välkelähteeseen.

Ihmiset kokevat välkevaikutukset, kuten muutkin vaikutukset, hyvin eri tavoin. Se havaitaanko varjovälkettä asuinalueella, loma-asunnolla tai työalueella, vaikuttaa ilmiön häiritsevyyteen. Myös eri hankkeiden varjovälkkeen kumuloituminen voi vaikuttaa lähialueen asuinviihtyvyyteen sekä virkistyskäyttöön. Noudatettaessa ympäristöministeriön suosittelemia ulkomaisia ohjeistoja, pystytään välkkeen häiritsevyyttä minimoimaan.



Kuva 1. Varjovälkettä muodostuu, kun tuulivoimala pyörii tarkastelupisteen ja auringon välissä, aurinkoisella ja pilvettömällä säällä.

2.1 Ohje- ja raja-arvot

Tuulivoimaloista aiheutuvalle varjovälkkeelle ei ole Pohjoismaissa määritelty raja-arvoja. Saksassa ja Ruotsissa on tuulivoimapuistojen viereiselle asutukselle annettu suositusarvo maksimissaan kahdeksan tuntia välkettä vuodessa (nk. todellinen tilanne, jossa huomioidaan auringonpaisteajat ja tuuliolosuhteet) ja 30 minuuttia päivässä sekä 30 tuntia vuodessa (teoreettisessa maksimitilanteessa). Kahdeksan tunnin vuotuisen välkkeen suositusarvoa käytetään yleisesti myös Suomessa.

2.2 Varjovälkkeen lähtötiedot ja menetelmät

Välkkeen muodostumiseen vaikuttavat oleellisesti sääolosuhteiden lisäksi voimaloiden käyttöaika, korkeus ja roottorin halkaisija. Myös kasvillisuus ja puusto vaikuttavat oleellisesti välkevaikutuksen muodostumiseen, mutta niitä ei ole laskennassa otettu huomioon eli mallinnuksessa välkettä on paikoittain enemmän kuin todellisuudessa.

Tuulivoimaloiden aiheuttaman varjovälkkeen vaikutusalue ja -määrä mallinetaan tuulivoimamallinnukseen käytettävällä WindPRO-ohjelmalla, jossa pohjatietona käytettiin paikallisia olosuhteita vastaavia tilastollisia tietoja. Ohjelmalla voidaan laskea sekä tiettyyn pisteeseen kohdistuva varjovälke, että koko tuulivoima-alueen varjovälkkeen muodostuminen. Laskennat tehtiin todellisten olosuhteiden mukaisesti, jolloin otetaan huomioon tuulivoimaloiden korkeus, sijainti ja roottorin halkaisija sekä paikalliset, tilastolliset sääolosuhteet. Puustoa ja muuta kasvillisuutta ei kuitenkaan huomioida.

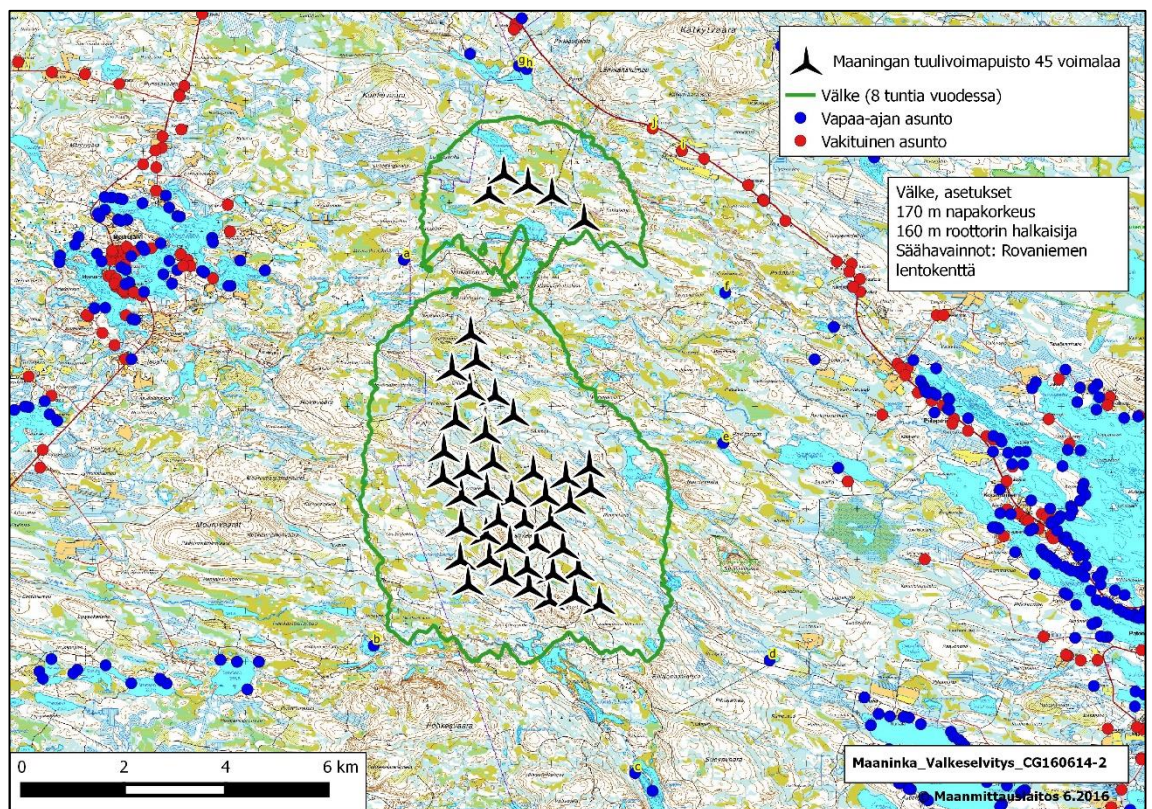
Maastotietokantana käytettiin Maanmittauslaitoksen kahden metrin korkeusmallia ja säähavaintotietoina käytettiin Rovaniemen säähavaintoja. Rovaniemi sijaitsee noin 130 km päässä suunnitellusta tuulivoimapuistoalueesta. Laskelmissa oletetaan, että tuulivoimaloiden roottorit pyörivät vain tuulennopeuden ollessa sopiva. Varjovälkettä tarkasteltiin 1,5 metrin korkeudelta eli suunnilleen ihmisen havainnointikorkeudelta.

3 Välkevaikutukset

Välkemallinnukset on suoritettu saksalaisten asetusten mukaisesti, ottaen huomioon voimalan lapojen keskimääräiset leveydet, joiden avulla lasketaan maksimitarkasteluetaisyys voimaloista. Maksimitarkasteluetaisyys määritetään siten, että havainnointipisteessä voimalan lapa peittää vähintään 20 % auringosta. Saksalaisia asetuksia sovelletaan myös Ruotsissa.

3.1 Maaningan välkevaikutukset, 45 voimalaa

Seuraavassa kuvassa on välkemallinnuksen tulokset esitettynä visuaalisesti ja sen jälkeen tuloksia on selostettu yksityiskohtaisesti sanallisesti.



Kuva 2. Varjovälkkeen muodostuminen Maaningan alueella. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-j).

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Saksassa ja Ruotsissa annettua maksimisuosituksia kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä asunnoille ei ylitetä. Myöskään vuosikohtaiset suositukset teoreettisessa maksimitilanteessa (30h/v) ja päiväkohtaiset suositukset teoreettisessa maksimitilanteessa (30 min/pv) eivät ylitä.

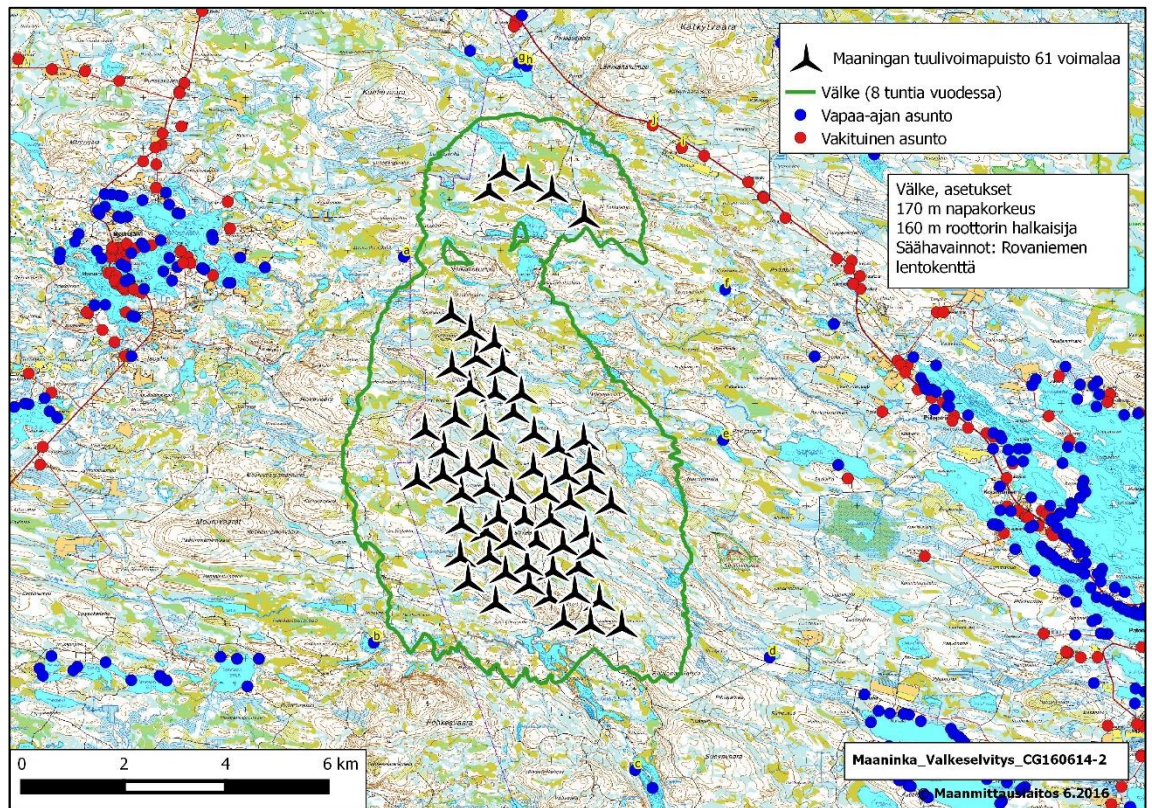
Laskennassa on tarkasteltu välkettä myös yksittäisissä havainnointipisteissä. Seuraavassa taulukossa on laskennasta saadut tulokset havainnointipisteille.

Taulukko 1. Varjovälkelaskennan tulokset, 45 voimalaa.

Havainnointi-piste	Luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	vapaa-ajan asunto	569111	7361875	1:09	7:32	0:21	Ei
b	vapaa-ajan asunto	568519	7354304	0:00	0:00	0:00	Ei
c	vapaa-ajan asunto	573647	7351805	0:00	0:00	0:00	Ei
d	vapaa-ajan asunto	576289	7354018	0:00	0:00	0:00	Ei
e	vapaa-ajan asunto	575377	7358278	0:00	0:00	0:00	Ei
f	vapaa-ajan asunto	575417	7361230	0:00	0:00	0:00	Ei
g	vapaa-ajan asunto	571367	7365677	0:00	0:00	0:00	Ei
h	vapaa-ajan asunto	571518	7365614	0:00	0:00	0:00	Ei
i	vakituinen asunto	574567	7364014	0:00	0:00	0:00	Ei
j	vakituinen asunto	573993	7364450	0:00	0:00	0:00	Ei

3.2 Maaningan välkevaikutukset, 61 voimalaa

Seuraavassa kuvassa on välkemallinnuksen tulokset esitettynä visuaalisesti ja sen jälkeen tuloksia on selostettu yksityiskohtaisesti sanallisesti.



Kuva 3. Varjovälkkeen muodostuminen Maaningan alueella. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-j).

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Saksassa ja Ruotsissa annettua maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä asunnoille ei ylitetä. Päiväkohtaiset suositukset teoreettisessa maksimitilanteessa ylittyvät yhdessä kohteessa neljällä minuutilla (suositusarvo 30 min/pv). Vuosikohtaiset suositukset teoreettisessa maksimitilanteessa ei ylitetä (suositusarvo 30h/v)

Laskennassa on tarkasteltu välkettä myös yksittäisissä havainnointipisteissä. Seuraavassa taulukossa on laskennasta saadut tulokset havainnointipisteille.

Taulukko 2. Varjovälkelaskennan tulokset, 61 WTG.

Havainnointi -piste	Luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	vapaa-ajan asunto	569111	7361875	2:35	16:44	0:34	Kyllä ¹
b	vapaa-ajan asunto	568519	7354304	0:00	0:00	0:00	Ei
c	vapaa-ajan asunto	573647	7351805	0:00	0:00	0:00	Ei
d	vapaa-ajan asunto	576289	7354018	0:00	0:00	0:00	Ei
e	vapaa-ajan asunto	575377	7358278	0:00	0:00	0:00	Ei
f	vapaa-ajan asunto	575417	7361230	0:00	0:00	0:00	Ei
g	vapaa-ajan asunto	571367	7365677	0:00	0:00	0:00	Ei
h	vapaa-ajan asunto	571518	7365614	0:00	0:00	0:00	Ei
i	vakituinen asunto	574567	7364014	0:00	0:00	0:00	Ei
j	vakituinen asunto	573993	7364450	0:00	0:00	0:00	Ei

3.3 Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät

Välkemallinnus edustaa keskimääräistä varjostustilannetta, jossa pohjana on käytetty pitkän ajan tilastollisia sääarvoja. Mikäli sääolosuhteet poikkeavat merkittävästi tilastoiduista arvoista, saattaa myös välkkeen määrä poiketa. Mallinnettaessa Maaningan tuulivoimapuiston välkevaikutuksia, käytössä on ollut kokonaiskorkeudeltaan 250 metriset tuulivoimat. Matalampia voimaloita käytettäessä välkevaikutukset ovat lievemmät.

Tuulivoimaloiden käyttöaste, eli aika jolloin voimat pyörivät ja tuottavat sähköä, vaikuttaa merkittävästi välkkeen syntymiseen. Usein hyvin aurinkoisina ja lämpiminä päivinä, kun olosuhteet ovat suotuisat varjovälkkeelle, eivät tuulivoimat pyöri alhaisten tuulennopeuksien vuoksi. Toisaalta päivinä, jolloin tuulennopeudet lähestyvät myrskylukemia, on pilvisyyden todennäköisyys suuri. Käyttöasteen pienentyessä saattaa välke yksittäisessä pisteessä vähentyä.

3.4 Haittojen ehkäiseminen ja seuranta

Tuulivoimaloiden varjovälkevaikutuksia pystytään ehkäisemään jo suunnitteluvaiheessa. Voimaloita voidaan sijoittaa siten, että ne aiheuttavat mahdollisimman vähän välkettä herkälle alueelle. Myös voimalan koko vaikuttaa merkittävästi syntyvän välkkeen määrään, joten valitsemalla matalampia voimaloita tai pienempiä roottoreita, voidaan välkevaikutuksia vähentää.

¹ Vapaa-ajan asunnon a kohdalla välkkeen suositusarvot ylitetään osittain. Saksassa ja Ruotsissa käytetty suositusarvo päiväkohtaiselle välkkeelle teoreettisessa maksimitilanteessa on 30 minuuttia, joka ylitetään tässä neljällä minuutilla. Muita suositusarvoja ei ylitetä.

Kohtuuton haitta varjovälkkeestä pystytään ehkäisemään myös pysäyttämällä välkettä aiheuttavat voimat kriittiseksi ajaksi. Voimat voidaan ohjelmoida pysähtymään automaattisesti vallitsevien sääolosuhteiden mukaisesti, kun välkettä muodostuisi herkälle alueelle.

4 Lähteet

Ympäristöministeriö (2012). *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu*, Helsinki.

5 Liite 1: Voimaloiden sijainnit, 45 voimalaa

Taulukko 3. Maaningan voimaloiden sijaintitiedot, 45 voimalaa

Voimala	Itäinen (ETRS- TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35- FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	7355203	572945	170/160/250
5	7359973	570530	170/160/250
6	7356061	570215	170/160/250
7	7356815	571470	170/160/250
8	7357778	571648	170/160/250
9	7356077	570785	170/160/250
10	7356285	572228	170/160/250
12	7356387	571192	170/160/250
14	7360495	570420	170/160/250
15	7355276	571954	170/160/250
16	7356554	570722	170/160/250
17	7363239	570776	170/160/250
18	7355354	572461	170/160/250
19	7356840	570963	170/160/250
20	7359386	570401	170/160/250
23	7357308	571887	170/160/250
24	7359772	570050	170/160/250
27	7356374	571709	170/160/250
28	7355750	571102	170/160/250
29	7355794	572031	170/160/250
30	7357826	570354	170/160/250
31	7355519	571564	170/160/250
33	7363426	571545	170/160/250
34	7363632	571069	170/160/250
35	7355574	570368	170/160/250
36	7363219	572014	170/160/250
39	7357421	570734	170/160/250
40	7355861	572532	170/160/250
41	7357675	569870	170/160/250
42	7357287	571220	170/160/250
43	7358795	570117	170/160/250
44	7358542	570709	170/160/250
45	7359285	570898	170/160/250
46	7355899	571524	170/160/250
48	7362718	572645	170/160/250
49	7358185	569893	170/160/250
54	7357977	570852	170/160/250

56	7357309	570235	170/160/250
58	7358895	571257	170/160/250
59	7356711	570233	170/160/250
60	7356809	571985	170/160/250
67	7357165	572367	170/160/250
68	7357670	572286	170/160/250
69	7357474	572773	170/160/250
70	7357882	572748	170/160/250

6 Liite 2: Voimaloiden sijainnit, 61 voimalaa

Taulukko 4. Maaningan voimaloiden sijaintitiedot, 61 voimalaa

Voimala	Itäinen (ETRS- TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35- FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	7355203	572945	170/160/250
3	7356209	572802	170/160/250
5	7359973	570530	170/160/250
6	7356061	570215	170/160/250
7	7356815	571470	170/160/250
8	7357778	571648	170/160/250
9	7356077	570785	170/160/250
10	7356285	572228	170/160/250
12	7356387	571192	170/160/250
13	7358544	569519	170/160/250
14	7360495	570420	170/160/250
15	7355276	571954	170/160/250
16	7356554	570722	170/160/250
17	7363239	570776	170/160/250
18	7355354	572461	170/160/250
19	7356840	570963	170/160/250
20	7359386	570401	170/160/250
21	7360825	570035	170/160/250
23	7357308	571887	170/160/250
24	7359772	570050	170/160/250
27	7356374	571709	170/160/250
28	7355750	571102	170/160/250
29	7355794	572031	170/160/250
30	7357826	570354	170/160/250
31	7355519	571564	170/160/250
33	7363426	571545	170/160/250

34	7363632	571069	170/160/250
35	7355574	570368	170/160/250
36	7363219	572014	170/160/250
38	7354690	573384	170/160/250
39	7357421	570734	170/160/250
40	7355861	572532	170/160/250
41	7357675	569870	170/160/250
42	7357287	571220	170/160/250
43	7358795	570117	170/160/250
44	7358542	570709	170/160/250
45	7359285	570898	170/160/250
46	7355899	571524	170/160/250
47	7357569	569367	170/160/250
48	7362718	572645	170/160/250
49	7358185	569893	170/160/250
52	7354802	572243	170/160/250
53	7354727	572771	170/160/250
54	7357977	570852	170/160/250
56	7357309	570235	170/160/250
58	7358895	571257	170/160/250
59	7356711	570233	170/160/250
60	7356809	571985	170/160/250
61	7355155	570909	170/160/250
63	7358481	571665	170/160/250
64	7358209	572130	170/160/250
65	7358348	572636	170/160/250
66	7356540	572677	170/160/250
67	7357165	572367	170/160/250
68	7357670	572286	170/160/250
69	7357474	572773	170/160/250
70	7357882	572748	170/160/250
72	7357099	573175	170/160/250
73	7360263	570884	170/160/250
74	7359796	571041	170/160/250
75	7359265	571414	170/160/250