

## METSÄHALLITUS LAATUMAA

Tolpanvaara-Jylhävaara, tuulivoimapuiston meluselvitys

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

**Sisältö**

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ARVIONTIMENETELMÄT JA ARVIOINNIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ÄÄNIAALLON MITTAUSYKSIKÖT JA YMPÄRISTÖMELU</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>TUULIVOIMALAITOSTEN MELU</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>HANKKEEN AIHEUTTAMAT MELUVAIKUTUKSET</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>MALLINNETUT TUULIVOIMALATYYPIT</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>MELUMALLINNUS JA LASKENTAPARAMETRIT</b>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>ALUEEN LYHYT TUULISUUSANALYYSI</b>	<b>9</b>
<b>9</b>	<b>SOVELLETTAVAT VERTAILUOHJEARVOT</b>	<b>9</b>
<b>10</b>	<b>MELUMALLINNUSTULOKSET, VE1</b>	<b>10</b>
<b>11</b>	<b>MELUMALLINNUSTULOKSET, VE2</b>	<b>13</b>
<b>12</b>	<b>PIENTAAJUINEN MELU</b>	<b>16</b>
<b>13</b>	<b>VAIHTOEHTOJEN VE0, VE1 JA VE2 VERTAILU</b>	<b>18</b>
<b>14</b>	<b>RAKENTAMISEN AIKAISET MELUVAIKUTUKSET</b>	<b>18</b>
<b>15</b>	<b>MELUN VAIKUTUKSET ALUEEN ÄÄNIMAISEMAAN</b>	<b>18</b>
<b>16</b>	<b>HAITALLISTEN VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN</b>	<b>18</b>
<b>17</b>	<b>VAIKUTUSTEN SEURANTA</b>	<b>19</b>

Ellei kuvatekstissä ole toisin mainittu, kartta-aineiston kopiointilupnumero on 770/KTJ/11 ja julkaisulupnumero 48/MLL/12.

**Pöyry Finland Oy**

DI Carlo Di Napoli

Tutkijantie 2 A  
FI-90590 OULU  
Finland

Kotipaikka Vantaa, Finland

Y-tunnus 0625905-6

Tel. +358 10 33 33280

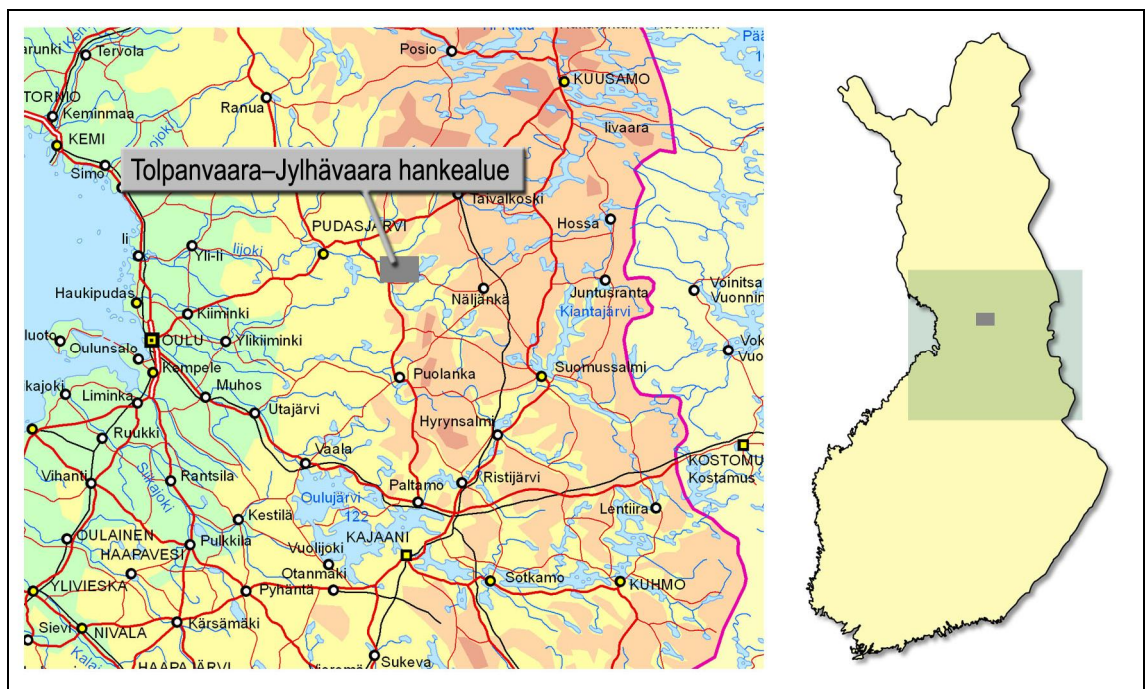
Fax +358 10 33 28250

[www.poyry.fi](http://www.poyry.fi)

## 1 JOHDANTO

Metsähallitus suunnittelee tuulivoimapuistohanketta Pudasjärven Tolpanvaara–Jylhävaaran alueelle. Tässä selvityksessä arvioidaan tuulivoimalahankkeen meluvaikutukset laskennallisesti kahdelle hankevaihtoehdolle. Suunniteltu tuulipuistoalue sijaitsee noin 30 kilometrin etäisyydellä Pudasjärven keskustasta itään (Kuva 1-1).

Toteuttamisvaihtoehdosta riippuen alueelle on mahdollista rakentaa 18–27 tuulivoimalayksikköä, joiden todennäköisin yksikköteho on noin 3 MW, tornikorkeus 120–160 metriä ja lavan pituus 50–70 metriä.



Kuva 1-1. Tuulivoimapuiston sijainti Pudasjärvellä.

## 2 ARVIONTIMENETELMÄT JA ARVIOINNIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT

Tuulivoimalaitosten rakentaminen koostuu tieväylän, voimaloiden perustusten ja kaapeloinnin sekä voimaloiden pystytyksen työvaiheista. Melun kannalta merkittävimmät vaiheet ovat tiestön rakentamisen ja perustusten rakentamisen aikana, jolloin voi esiintyä myös vähäisissä määrin impulssimaista melua. Tässä selvityksessä ei ole erillisen karttapohjaisen melumallin avulla arvioitu rakentamisen aikaista melua, sillä työvaiheet voivat vaihdella ajallisesti voimakkaasti. Rakentamisaikainen melu koostuu pitkälti tavanomaisesta maanrakennustyön aiheuttamasta melusta ja on lyhytaikaista, ja tehdään todennäköisesti pääosin päiväsaikaan.

Melun leviäminen maastoon on havainnollistettu käyttäen tietokoneavusteisia melulaskentaohjelmistoa CadnaA 4.3, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi immisio- eli vastaanottopisteessä ray-tracing -menetelmällä. Mallissa otetaan huomioon äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot, rakennukset ja muut heijastavat pinnat

sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Melumallin leviämiskartta piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein valituilla lähtöarvoparametreilla. Laskentaparametrit on esitetty taulukossa *Taulukko 7-1*.

Laskentatulokset melun leviämisyöhykkeiden osalta kuvastavat sitä potentiaalista melun leviämisen tilannetta, kun äänitehotaso voimaloissa on taatun maksimin mukainen ja melun leviäminen tapahtuu joka suuntaan. Todellisuudessa ko. tilanne ei kuitenkaan tapahdu hetkellistasolla, jolloin mallinnuskartta on vain teoreettinen yksinkertaistus huomattavasti monimutkaisemmasta reaalitylanteesta. Lisäksi mallinnuskartta ei huomioi tilastollista tuulen ja samalla äänitehotason pysyvyyttä.

Pohjoismaainen malli sekä ruotsalainen yleinen ja yksinkertaistettu tuulivoimaloiden laskentamalli antavat kohtalaisen tarkkoja tuloksia keskimäärin noin kilometriin asti. Tulosten tarkkuus voi heiketä yöajan tilanteessa, jossa vallitsee stabiili ilmakehä ja tuulen nopeusero tai lämpötilaprofiili siiven eri vaihe-korkeuksien ja referenssikorkeuden (10 m) välillä kasvaa. (*van den Berg 2007*)

Ympäristöministeriö valmistelee parhaillaan kansallisia ohjeita tuulivoimamelun mallintamiseksi. Tässä lasketut tilanteet voivat siten poiketa tulevista ohjeista. Huomionarvoista on kuitenkin tiedostaa, että tässä mallinnuksessa on oletettu sellainen akustinen tilanne maaheijastusten sekä säätilan osalta, jonka esiintyvyys vaihtelee kuukausittain voimakkaasti. Tässä melumallinnuksessa kuvataan sitä potentiaalista tilannetta keskiäänitason osalta, joka syntyy jos oletetaan maanpinnan olevan akustisesti kova (kuin kallio, asfaltti tai vesi) ja napakorkeudella > 10 m/s tuulennopeus. Lisäksi on mallinnettu kesäaikana yleisemmin esiintyvää tilannetta tuulennopeudella 7 m/s. Seuraavassa kappaleessa tuodaan esille alueen tuulisuusjakautumia Suomen Tuuliatlaksen mukaan.

Melulaskenta sisältää useita epävarmuuksia, jotka liittyvät erityisesti emissiolähteen epävarmuuteen sekä sään ja amplitudimodulaation arvioinnin epävarmuuksiin.

Lisäksi äänitehotason määritys- ja mittausstandardi IEC 61400-11 sisältää epävarmuuksia. Esim. se ei huomioi lainkaan usean turbiinin synkronisuustilanteiden amplitudimodulaatiota kauempana laitoksista eikä myöskään pientaajuista melua (< 50 Hz) tai infraääniä./12/ Säätekijöiden epävarmuuden vaikutus on suuri pitkissä etäisyyksissä.

Arvioimme kokonaisepävarmuudeksi noin +2 ja -4 dB 1000 metrissä IEC standardin

tuulisuusluokassa 8 m/s 10 m:n korkeudella, sillä laskennassa huomioidaan lisätoleranssin avulla pahimman tilanteen syntyä. Tästä perusmallin osuus on noin ± 2 dB.

### 3 ÄÄNIAALLON MITTAUSYKSIKÖT JA YMPÄRISTÖMELU

Äänen voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle (eli hyvin pienelle paineenmuutokselle) käytetään referenssipainetta 20 µPa ilmalle sekä 1 µPa muille aineille.

Äänen voimakkuutta voidaan havainnollistaa seuraavalla taulukolla, jossa on esitetty kunkin äänenpainetason muutosta vastaava desibelitaso tyypillisen äänilähteen luona mitattuna.

Äänenpaine, $\mu\text{Pa}$	Tyypillinen äänilähde	Äänenpainetaso, dB
1 000 000 000	Suihkumoottori	134
10 000 000	Rock-konsertti	114
1 000 000	Suuri teollisuusmoottori	94
100 000	Yleistä toimistomelua	74
10 000	Toimistohuone	54
1 000	Hiljainen luontoalue	34
100	Erittäin hiljainen huone	14
20	Kuulokynnys	0

Ääni on aaltoliikettä, joka välittyäkseen eteenpäin tarvitsee aina väliaineen. Ilmassa äänellä on nopeus joka on riippuvainen ilman lämpötilasta. Eri väliaineissa ääniaalto kulkee eri nopeuksilla väliaineen ominaisuuksien mukaan. Normaali ympäristömelu sisältää useiden kohteiden yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jatkuvassa muutoksessa. Mittauksin voidaan kuitenkin erotella melun hetkelliset komponentit esim. taajuustarkastelulla.

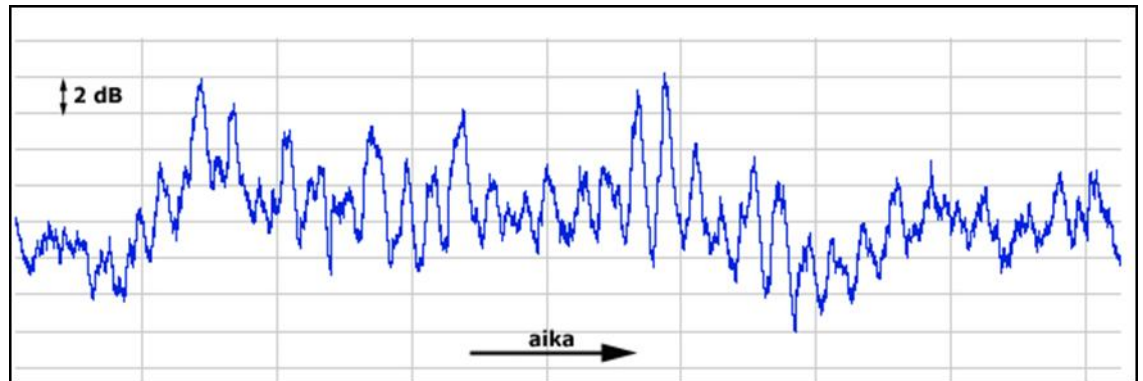
Melu on sen sijaan käsite, jolla ymmärretään äänen negatiivisia vaikutuksia, ei-toivottua ääntä josta seuraa ihmisille haittaa. Melu on siis fysikaalisten mittareiden lisäksi myös hyvin pitkälti subjektiivinen käsite, jossa kuulijan omilla tuntemuksilla ja äänenerotuskyvyllä on ratkaiseva merkitys.

Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, häiritsevyys sekä kiusallisuus. Nämä tekijät on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen ja ilmaistaan usein A-kirjaimella dimension perässä, esimerkiksi dB(A).

#### 4 TUULIVOIMALAITOSTEN MELU

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta (noin 100–2000 Hz) lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmista sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien meluista (mm. vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät pääsääntöisesti taajuusalueella 50–500 Hz). Aerodynaaminen melu on hallitsevin lapojen suuren vaikutuspinta-alan ja jaksollisen ns. amplitudimoduloituneen äänen vuoksi, jossa äänen voimakkuus vaihtelee ajallisesti lapojen pyörimistaajuuden mukaan noin kerran sekunnissa. Kuvassa *Kuva 4-1* on esitetty kolmen 1,5 MW:n tuulivoimalaitoksen yöajan käyntiääntä nauhoitettuna 800 m:n päästä laitoksista.

Amplitudimodulaatio (myöhemmin ”AM”) voidaan havaita sekä aerodynaamiselle virtausmelulle että myös koneiston kapeakaistaisille komponenteille. Yleisesti tuuli-voimalan melun taajuusjakauma on painottunut pientaajuisten melun ja keskitaajuuksien alueelle 50–600 Hz.



**Kuva 4-1.** Kolmen 1,5 MW:n tuulivoimalaitoksen yöajan käyntiäntä nauhoitettuna 800 m:n päästä laitoksista. Kuvassa näkyy amplitudimodulaation vaihtelua noin kerran sekunnissa.

Aerodynaaminen melu kuullaan usein kohinamaisena äänenä, jossa on jaksollinen rytm. Pientaajuisten melun osuutta aerodynaamisessa melussa lisäävät tulovirtauksen turbulenssi-ilmiöt, siipivirtauksen irtoamistilanteet (sakkaus) sekä ilmakehän äänen leviämisiilmiöt (ilmamassan impedanssi korkeammille äänen taajuuksille etäisyyden kasvaessa). Aerodynaaminen melu voi myös aiheuttaa viheltävää ääntä esim. siipivaurioiden yhteydessä.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Pyörivän siivistön äänitaso on ylä- ja alatuulen puolilla suurempi kuin sivusta käsin katsottuna samalla etäisyydellä (*Oerlemans & Schepers 2009*). Lisäksi voimalan lähtöäänitaso on suoraan tuulennopeudesta riippuvainen siten, että alhaisilla tuulennopeuksilla ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin nimellisteholla (esim. *Kuva 6-1*). Maksimi äänitehotaso ( $L_w$ ) saavutetaan nimellistehon tuulinopeuksilla (yleisesti nopeus napakorkeudella jo yli 10 m/s) ennen siipikulmasäädön käynnistymistä, mikä yleensä tasoittaa äänitehotason nousun tuulen nopeuden edelleen kasvaessa. Kärkinopeus on moderneissa voimaloissa maksimissaan noin 75 m/s.

Taustamelu ja tuulen aiheuttama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänit ovat ajallisesti vaihtelevia. Niiden voimakkuus on sitä parempi, mitä lähempänä peittoäänien taajuusjakauma on vastaavaa tuuliturbiinin äänijakaumaa (*Nelson 2007*). Yleisesti luonnollisten taustäänien taajuusjakauma on painottunut ylempiin taajuuksiin ja tuulivoimalan melu alempiin. Lisäksi tuulivoimamelun mahdollinen amplitudimodulaatio voi heikentää taustamelun peittovaikutusta ja siten kuulua myös taustakohinan läpi. Näin erityisesti tilanteissa, joissa alailmakehän stabiilisuus kasvaa, joka osaltaan vähentää kasvillisuuden ja aallokon kohinaa tuulisuuden vähentyessä matalilla korkeuksilla. Stabiili ilmakehä syntyy usein ilta- ja yöaikaan ja poistuu päiväaikaan lukuun ottamatta kylmiä



talvipäiviä. Tällöin kuitenkin voimalan napakorkeudella tuulisuus voi samanaikaisesti lisääntyä ja voimalan äänitehotaso kasvaa (*van den Berg 2007*).

Tuulivoimalaitoksen melun häiritsevyys on todettu olevan suurempi kuin esim. vastaavan äänitason tieliikennemelulähde. Häiritsevyys alkaa lisääntyä jo tasolta 35 dB(A) ja kasvaa jyrkästi yli 40 dB(A):n keskiäänitasolla. (*Siponen 2011, Saarinen 2011*). Lisääntynyt melu voi aiheuttaa viihtyvyyshaittaa, lisätä kiusaantuneisuutta ja sisätiloissa jäljelle jäävä pientaajuinen melu voi aiheuttaa myös unihäiriöitä.

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jossa kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon.

## 5 HANKKEEN AIHEUTTAMAT MELUVAIKUTUKSET

Laskentatulokset ovat esitetty värikarttamuodossa sekä pientaajuisen melun osalta yksittäislaskentapisteen tuloksena lähimmäksi katsotun asuinalueen piha-alueen reunalla voimaloille päin. Laskenta ei huomioi taustamelun määrää.

Laskennan lähtötiedot on koottu asiakkaan lähettämästä datasta, digitaaliaineistosta, sekä kirjallisuudesta.

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on 2,5 m. Kartassa on kuvattu tuulivoimaloiden lisäksi maaston muodot, rakennusten ja teiden paikkatiedot.

## 6 MALLINNETUT TUULIVOIMALATYYPIT

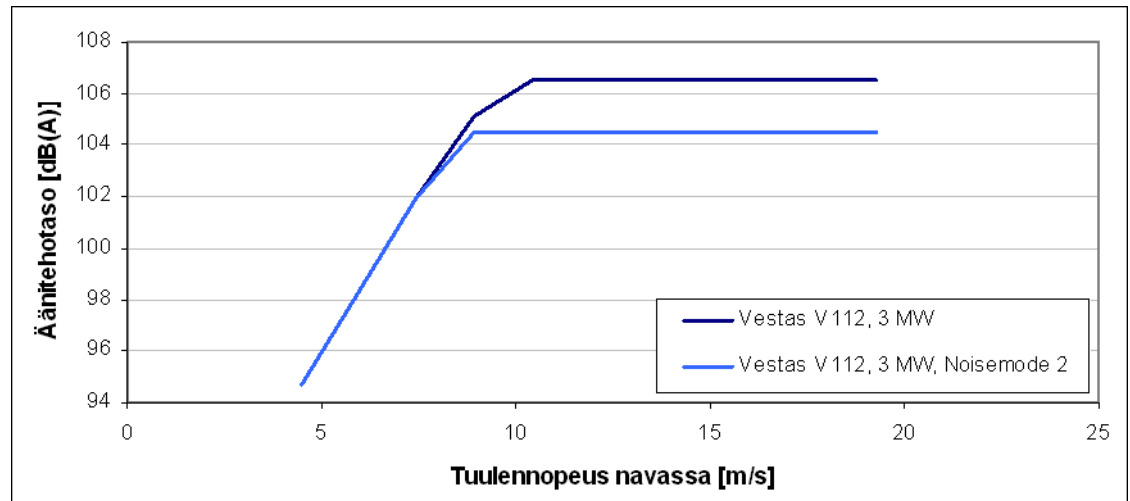
Melumallinnuksessa on käytetty yhtä 3 MW tuulivoimalatyyppiä (Vestas V112) vaihtoehdossa 1 (VE1, 27 x 3 MW) ja vaihtoehdossa 2 (VE2, 18 x 3MW). Tuulivoimalan äänispektri terssikaistalla on saatu käyttäen arvoja kirjallisuudesta (*Moller 2012*). Alla taulukossa *Taulukko 6-1* on esitetty melumallinnuksessa käytetty kunkin oktaavikaistan painottamaton spektriarvo [dB(L)] sekä A-taajuuspainotettu kokonaisarvo 95 % nimellisteholla [dB(A)] ja ilmakehän stabiilisuudella  $m=0.16$  eli neutraali siten, kuin se on annettu laitevalmistajan tuotespesifikaatioissa (*Vestas 2012*).

**Taulukko 6-1. Melumallinnuksessa käytetty kunkin oktaavikaistan painottamaton spektriarvo [dB(L)] sekä A-taajuuspainotettu kokonaisarvo 95% nimellisteholla [dB(A)] ja ilmakehän stabiilisuudella  $m=0.16$ .**

	Oktaavikaistat, Hz									
Voimalatyyppi	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	YHT
<b>V112, 3 MW</b>	117	117	112	105	102	102	99	94	86	<b>107</b>

Alla olevassa kuvassa *Kuva 6-1* on esitetty lisäksi äänitehotason muutos ja melun optimointiajon vaikutusta laitevalmistajan tuotespesifikaatiosta tuulennopeuden funktiona, kun tuulennopeus mitataan voimalan navan korkeudelta. Kuvasta voi

huomata äänitehotason huomattavan nousun (noin 3 dB / (m/s)) alhaisilla tuulennopeuksilla sekä sen tasoittumisen kovemmillä nopeuksilla.



Kuva 6-1. Laittevalmistajan äänitehotasoja taattuna (Vestas 2012) ilmakehän stabiilisuusarvolla  $m = 0.16$  (neutraali).

## 7

### MELUMALLINNUS JA LASKENTAPARAMETRIT

Taulukossa *Taulukko 7-1* on esitetty laskentamallien parametrit.

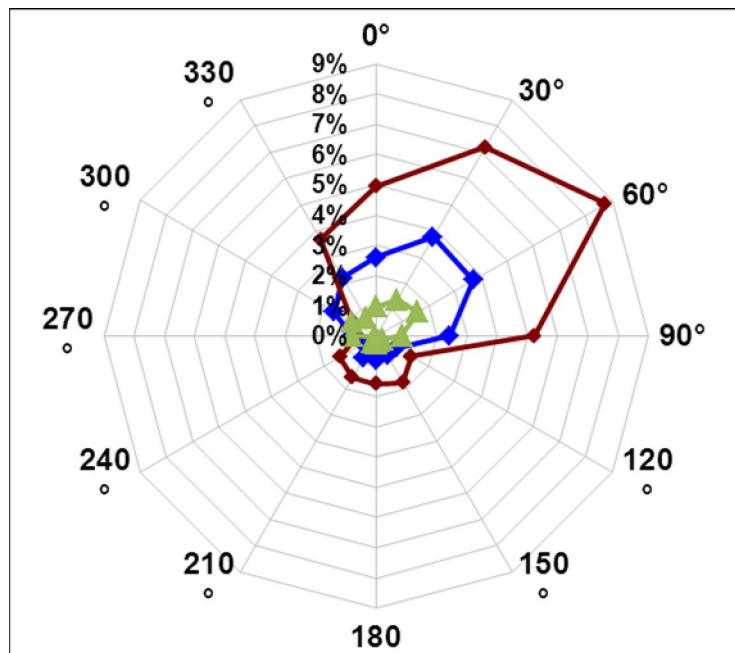
**Taulukko 7-1. Laskentamallien parametrit.**

<b>Lähtötieto</b>	
Mallinnusalgoritmit	Keskiäänitason kartat: Pohjoismainen teollisuusmelumalli Pientaajuinen melulaskenta: Mukautettu Tanskalainen tuulivoimalaitosmelun numeerinen laskentamalli
Sääolosuhteet	Yleinen keskiäänitaso LAeq, 11 m/s: Ilman lämpötila 0 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 %. Kesäajan tilanne LAeq, 7m/s, Ilman lämpötila 10 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 %.
Laskentaverkko	Laskentapiste 10 x 10 metrin välein laskentaverkolla 2 metrin korkeudella seuraten maanpintaa
Maanpinnan kovuus	G=0 kaikille alueille, kova maanpinta.
Objektien heijastuvuus	Reseptorilaskennat: arvolla 1 (kertaheijastus)
Jaksollisuus, amplitudimodulaatio	Ei huomioitu
Lisätoleranssit	Tolpanvaaran voimat

## 8 ALUEEN LYHYT TUULISUUSANALYYSI

Alueen tuulisuutta on tarkasteltu tässä lyhyesti käyttäen apuna Tuuliatlaksen (2012) laskennallisia tuulisuustietoja mallinnetun meluemission mukaisille tuulisuuksille eli yli 10 m/s. Kuvassa *Kuva 8-1* on laskettu tuulisuusarvoja myötätuulen puolelle vuotuisesti (vaaleansininen käyrä), tammikuussa (ruskea käyrä) ja heinäkuussa (tummansininen käyrä). Tulosten perusteella vallitseva tuulensuunta yli 10 m/s tuulisuuksilla on selkeästi lounaasta. Siten myötätuulen puolen tilanteet ovat tuulivoimalan melun suuntaavuuden huomioimisen jälkeen pääsääntöisesti välillä 300°–150°, jonne suurin melukuormituskin kohdistuu. Kaikkiaan jäädään kuitenkin alle 10 %:n esiintyvyyksiin kunkin osasuunnan osalta tuulisimmankin kuun osalta. Vastakkaiselle puolelle voidaan olettaa, että vastatuuleen syntyvä melun varjoalue vähentää melukuormitusta erityisesti etäisyyden kasvaessa (etelä-länsipuolelle). Kesäkuukausien osalta jäädään Tuuliatlaksen mukaan alle 5 %:n esiintyvyyksiin kunkin osasuunnan osalta.

Lisäksi on huomioitava että kesäkuukausien keskituulennopeuden mukaan laskettu äänitehotaso (eli laskennallinen lähtöäänitaso voimalalle), olisi arviolta 5 dB alhaisempi kuin tässä laskemassa käytetty äänitehotaso. Tässä selvityksessä on kesäajalle laskettu omat erilliset kartat siten, että kesäajan keskituulennopeutta < 7 m/s vastaava äänitehotaso on korotettu 2 dB:llä laskennan epävarmuuskorjauksena, sillä Suomen Tuuliatlas ei erottele päivä ja yöajan tuulisuustilanteita.



Kuva 8-1. Weibull-jakauman kautta lasketut myötätuulen tilanteen >10m/s tuulisuuksilla (% ajasta kuukausitasolla).

## 9 SOVELLETTAVAT VERTAILUOHJEARVOT

Ympäristöministeriö on esittänyt Tuulivoimarakentamisen suunnittelu-ohjeissa (2012) tuulivoimapuistoja koskeviksi suositusohjearvoiksi asuinkehteille LAeq = 45 dB(A) klo 07–22 ja LAeq = 40 dB(A) klo 22–07. Näistä jälkimmäinen on määräävä vertailuarvo tyypillisesti yöajan korkeamman tuulisuuden vuoksi (mm. usein esiintyvä stabiili ilmakehä). Vastaavasti taajaman ulkopuolisille loma-asutuskehteille suositusohjearvona

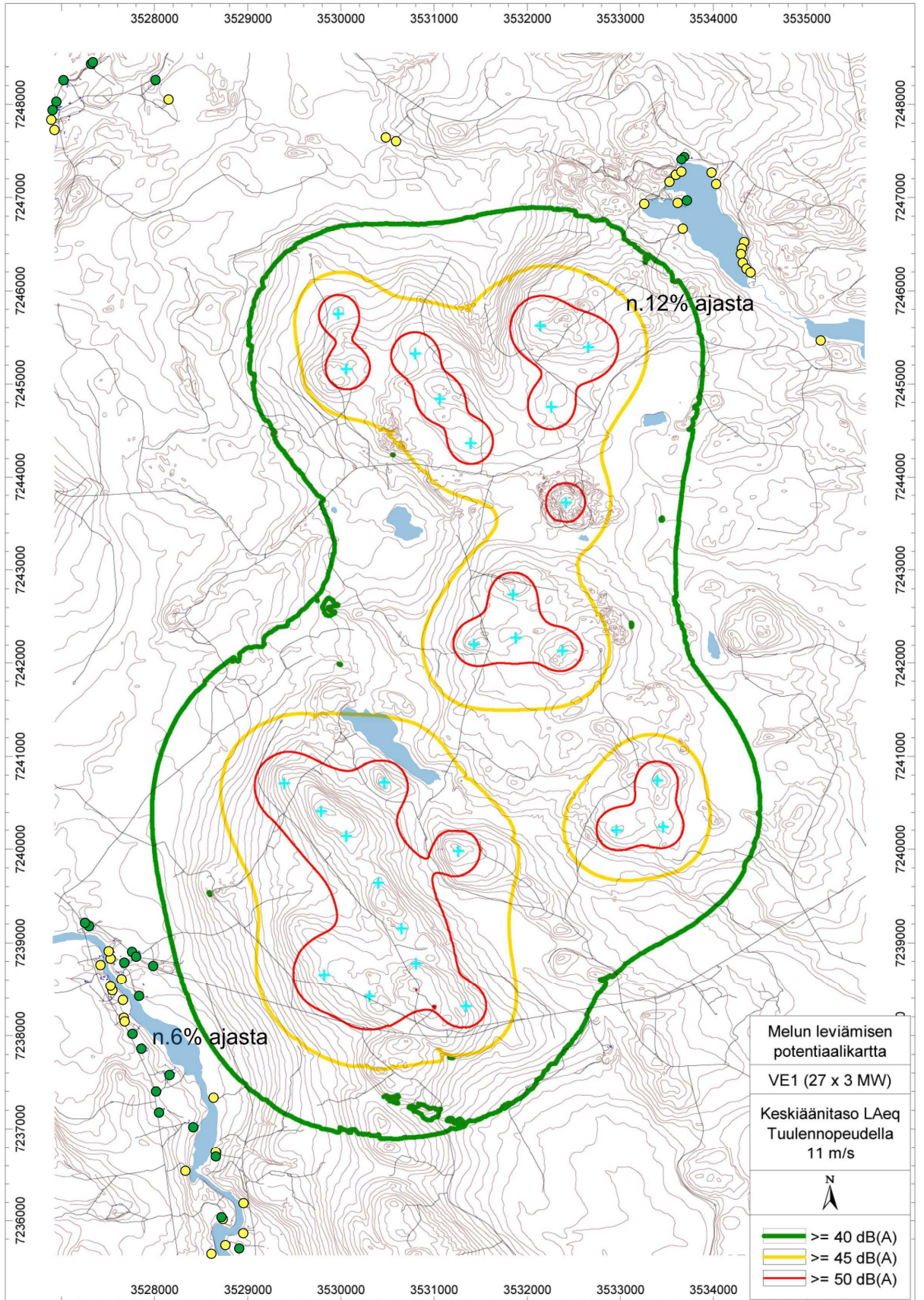
käytetään  $L_{Aeq} = 40$  dB(A) klo 07-22 ja  $L_{Aeq} = 35$  dB(A) klo 22-07. Lisäksi ohjeessa annetaan  $L_{eq}$ , 1h ohjearvorajat pientaajuisen melun ohjearvoista sisätiloissa terssikaistoittain taajuuksilla 16-160 Hz. Yleisiä ilmaäänien eristävyysarvoja rakennuksille ei ole ohjeessa kuitenkaan erikseen lueteltu. Ohjeessa todetaan myös seuraavasti: ”Mikäli tuulivoimalan äänen spektri sisältää melulle häiriintyvässä kohteessa tonaalisia tai kapeakaistaisia taajuuskomponentteja tai ääni on impulssimaista tai selvästi amplitudimoduloitua lisätään laskenta- tai mittaustulokseen 5 dB ennen suunnitteluohjearvoon vertaamista.”

## 10 MELUMALLINNUSTULOKSET, VE1

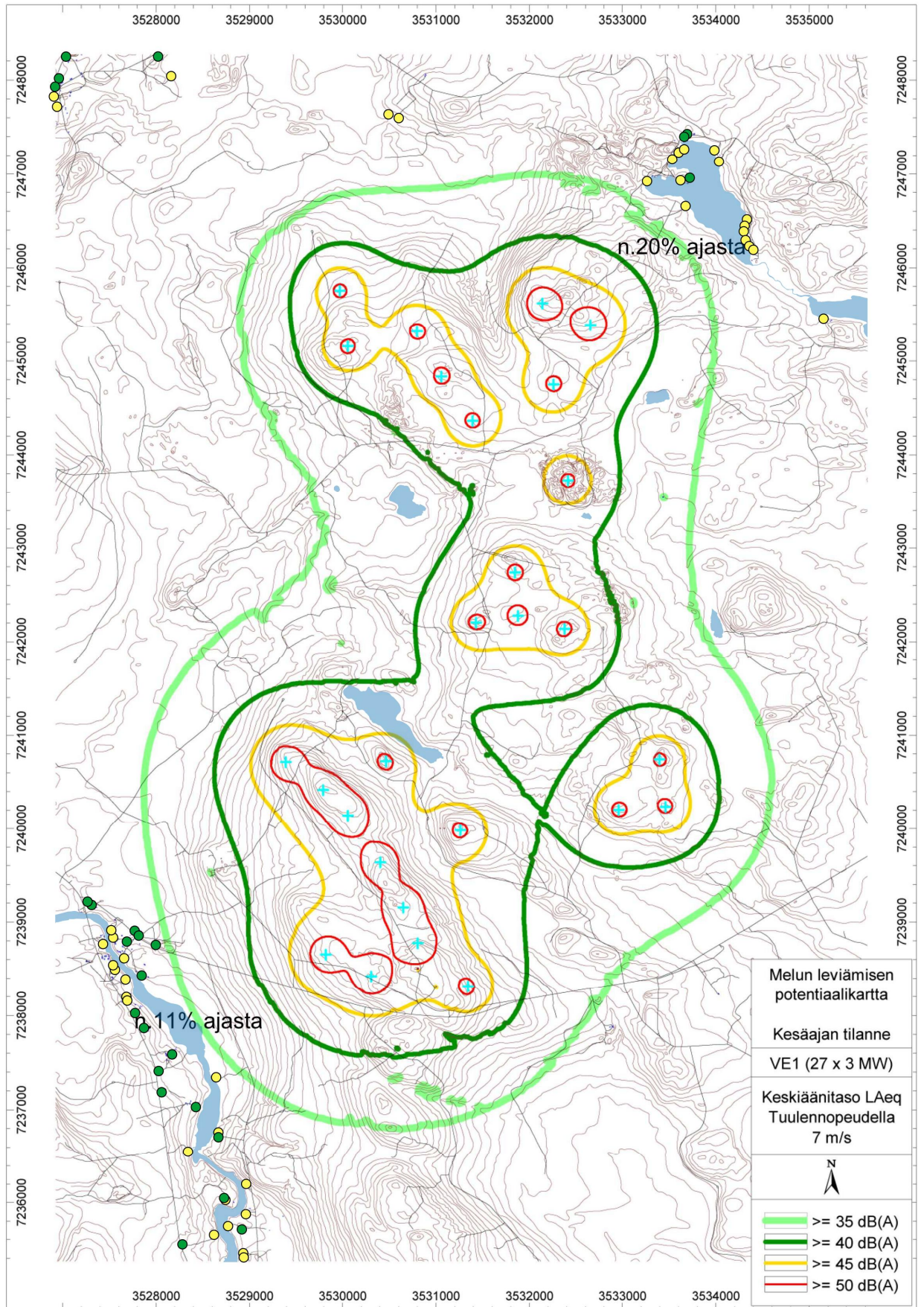
Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta VE1 hankevaihtoehdolle (27 x 3 MW) on esitetty kuvassa *Kuva 10-1*.

Laskennan perusteella alueen eteläosaan kohdistuva melukuormitus Siivikon kylään rajoittuisi alle 40 dB(A):n tasolle  $L_{Aeq}$ . Melun kansainvälisissä validointimittauksissa on havaittu, että korkealla kummalla sijaitsevilla voimaloilla ja mahdollisesti myös voimaloiden ja reseptoripisteen väliin jäävällä laaksolla on vaikutusta melutasoon (*Leventhall & Bowdler 2011*). Laskennassa onkin huomioitu +3 dB:n lisätoleranssi Tolpanvaaran kummulle sijoitettujen laitosten melun lähtöäänitasoille, sillä korkeusaro napakorkeuden ja reseptoripisteen välillä on noin 281 m. Etäisyys lähimpään suunniteltuun tuulivoimalaan on reseptoripisteestä kuitenkin noin 1900 m.

Hankealueen koillispuolella sijaitsevat Pieni Haukijärvi ja Haukijärvi, jonka rannoilla on loma-asutusta. Melun leviäminen kesäajan laskennan perusteella ei ylitä taajaman ulkopuolisten loma-asutusalueiden suunnittelun yöajan ohjearvoa 35 dB(A) mallinnetun tuulisuuden 7 m/s tilanteissa lähimmissä loma-asutuskohteissa (*Kuva 10-2*). Etäisyys lähimmästä reseptoripisteestä lähimpään suunniteltuun tuulivoimalaan on noin 1600 m ja kahdelle pohjoispuolen voimalalle on käytetty äänitehotason lisäkerrointa laskevan maaston korkeusmuodon vuoksi.



**Kuva 10-1. Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta VE1-hankevaihtoehdolle. Asuinrakennukset on merkitty vihreällä ja lomarakennukset keltaisella symbolilla.**



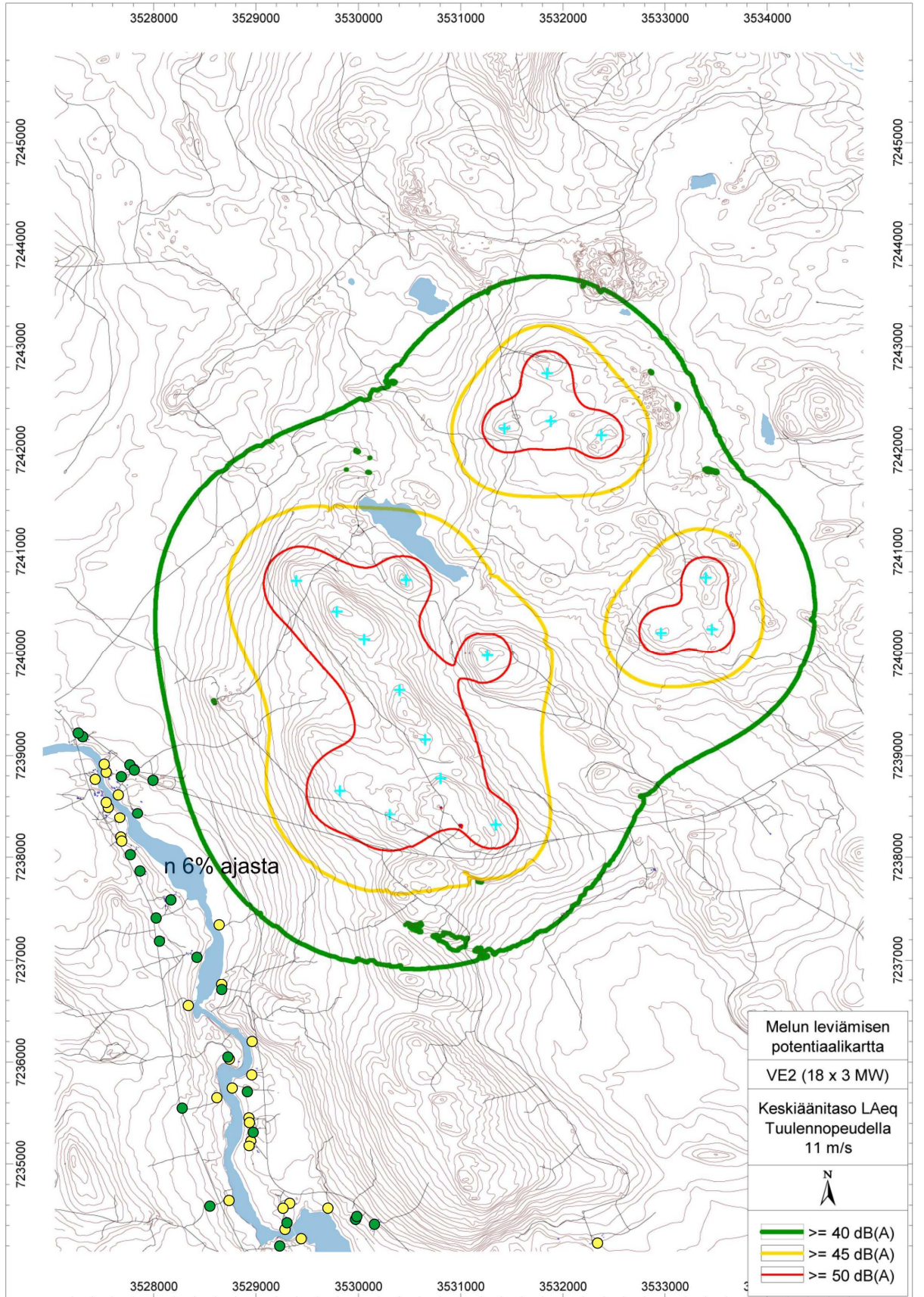
**Kuva 10-2. Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta VE1-hankevaihtoehdolle kesäajan tilanteessa.**

## 11 MELUMALLINNUSTULOKSET, VE2

Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta VE2 hankevaihtoehdolle (18 x 3 MW) on esitetty kuvissa *Kuva 11-1* ja *Kuva 11-2*.

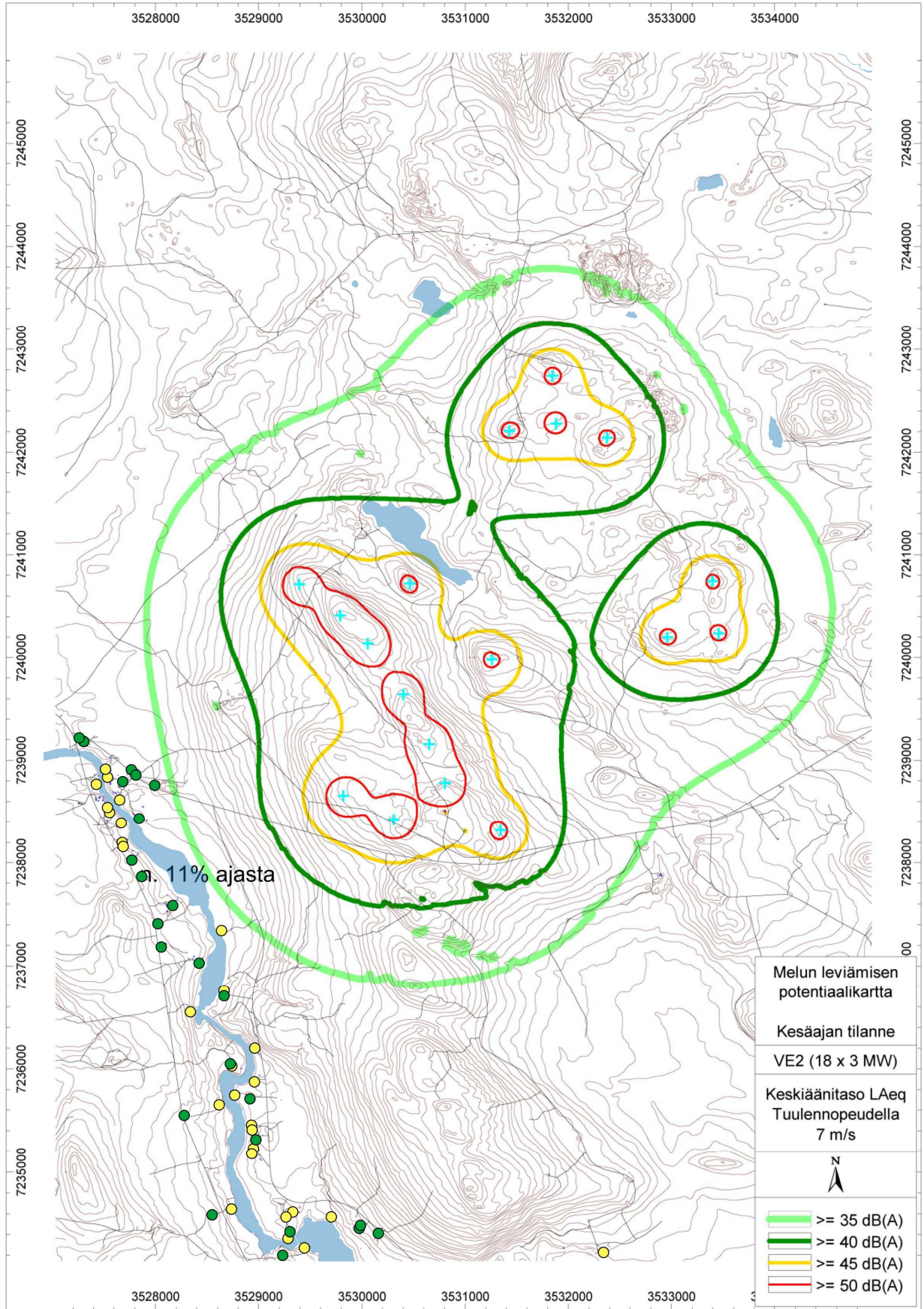
Tässä hankevaihtoehdossa hankealueen pohjoispuolen yhdeksän tuulivoimalaa on nyt poistettu. Laskennan perusteella alueen eteläosaan kohdistuva melukuormitus Siivikon kylään säilyisi jotakuinkin ennallaan, sillä etäisyys hankevaihtoehtojen välillä alueen pohjois- ja eteläosan välillä on melun leviämisen kannalta huomattava.

Haukijärven rannan loma-asuinkohteisiin ei laskennan mukaan kohdistuisi 35 dB(A):n ylittävää melukuormitusta missään säätilanteessa. Etäisyys lähimpään suunniteltuun voimalaan olisi noin 4300 m.



**Kuva 11-1. Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta VE2-hankevaihtoehdolle. Asuinrakennukset on merkitty vihreällä ja lomarakennukset keltaisella symbolilla.**





**Kuva 11-2. Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta VE2-hankevaihtoehdolle kesäajan tilanteessa. Asuinrakennukset on merkitty vihreällä ja lomarakennukset keltaisella symbolilla.**

## 12 PIENTAAJUINEN MELU

Pientaajuinen melu mallinnettiin omana laskentanaan uutta vuonna 2012 julkaistua Tanskalaista mallia hyödyntäen (*Moller & Pedersen 2010, Pedersen 2012*) kahteen reseptoripisteeseen VE1 hankevaihtoehdon osalta, siten että rakennukselle oletetaan varsin heikko ilmaäänieristävyys. Ensimmäinen piste R1 on Siivikon kylän puolella oleva lähin asuinrakennus ja toinen piste R2 lähin loma-asuinrakennus Pienen Haukijärven rannalla alueen pohjoispuolella.

Laskenta on suoritettu seuraavalla yhtälöllä:

$$LpA = L_{WA,ref} - 20\log(r) + \Delta L_{g,sea} - \Delta L\alpha - \Delta L\sigma - 11, \text{ missä} \quad (1)$$

$L_{WA,ref}$  = äänilähteen näennäinen äänitehotaso IEC61400-14 standardin mukaan

$r$  = suora etäisyys voimalan navan ja reseptoripisteen välillä

$\Delta L_{g,sea}$  = maanpinnan yli leviävän pientaajuisen melun pintaheijastuksen impedanssi

$\Delta L\alpha$  = ilmakehän impedanssi

Äänilähteen näennäinen äänitehotaso ("apparent sound power level", IEC 61400-14), on saatu kirjallisuudesta. (*Moller & Pedersen 2012*)

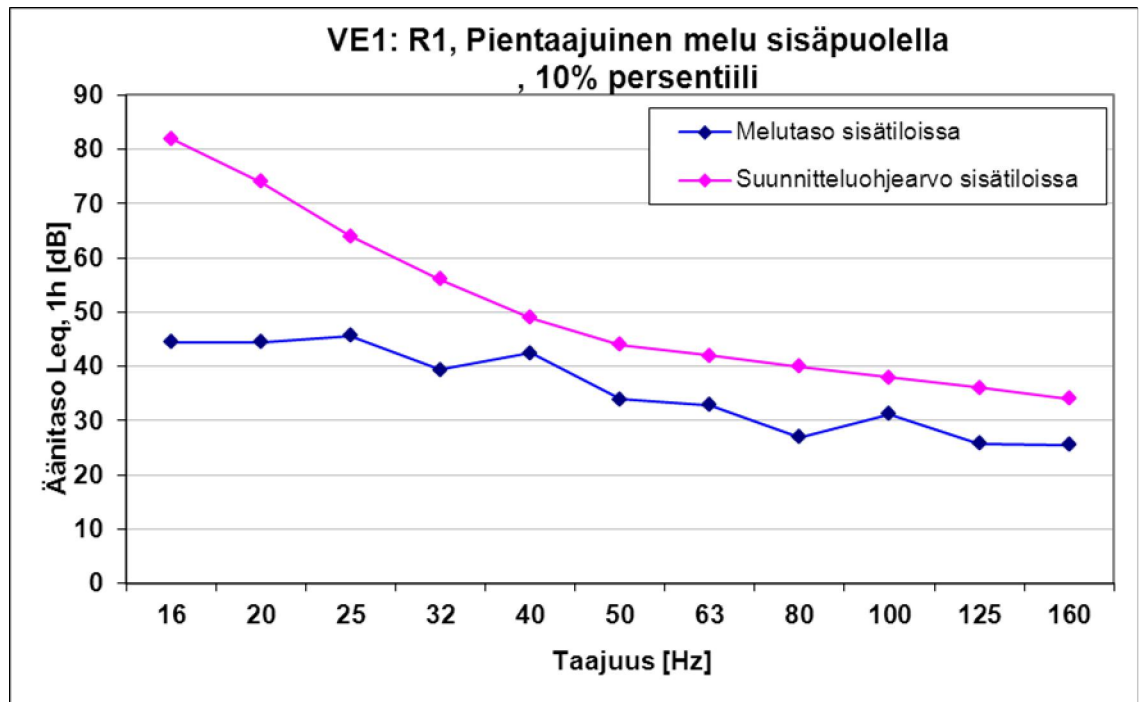
Lisäksi laskenta ottaa huomioon ilmaäänieristykseen arvon, jolle 10 % persentiili antamat arvot on esitetty taulukossa *Taulukko 12-1*.

**Taulukko 12-1. Rakennusten ilmaäänieristävyys, Tanska, 10% persentiili. (*Pedersen 2012*).**

f [Hz]	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
$\Delta L\sigma$	1	4	2	3	0	6	12	13	12	11	9

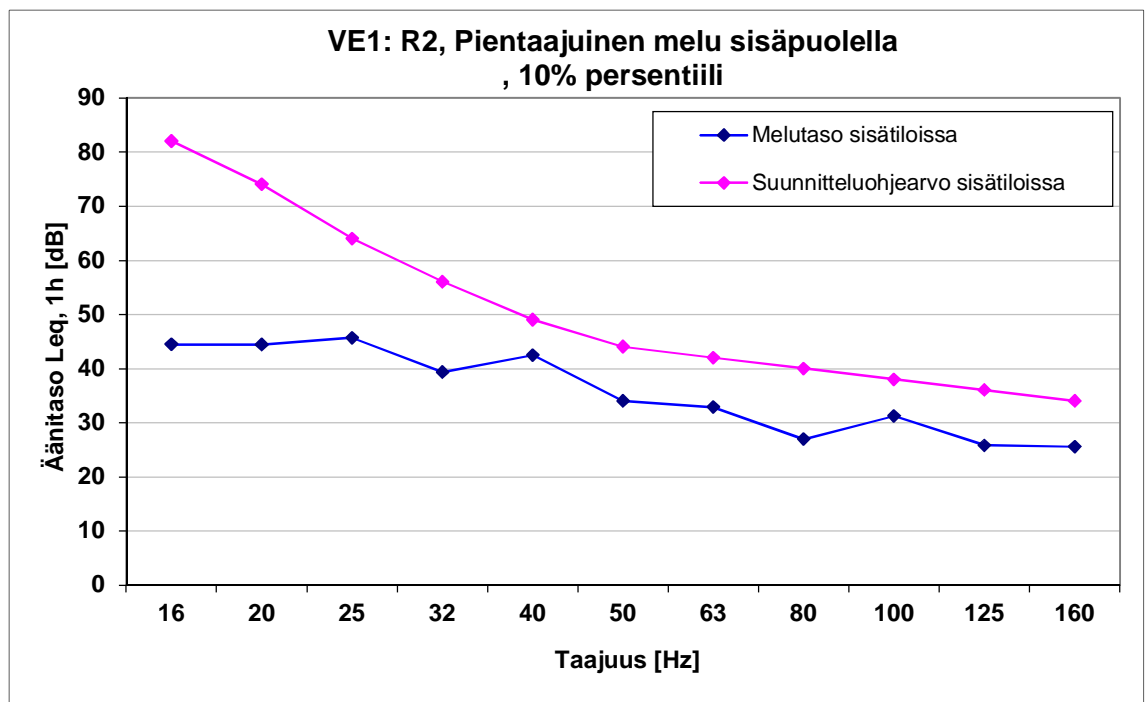
Altistuvan kohteen reseptoripiste on Siivikon pohjoislaidalla sijaitsevan asuinrakennuksen edessä, jossa seuraavat kuvat *Kuva 12-1* ja *Kuva 12-2* esittävät pientaajuisen melun tilannetta sisätiloissa verrattuna tuulivoiman suunnitteluoppaan ohjearvoihin, kun ilmaäänieristykselle on käytetty kirjallisuusviitteen varsin matalaa 10 % persentiiliä.

Tuloksen perusteella pientaajuinen melu voi erottua rakennuksen ulkopuolella alkaen taajuuksista yli 50 Hz. Osuus rakennuksen sisäpuolella jää laskennan mukaan ohjearvon alle noin 4 dB. Vastaava tilanne on myös jotakuinkin sama hankevaihtoehdossa VE2 tähän reseptoripisteeseen R1 eikä laskentaa katsottu enää tarpeelliseksi suorittaa reseptoripisteeseen R2.



Kuva 12-1. Pientaajuisen melun laskennallinen osuus sisätiloissa reseptoripisteessä R1.

Reseptoripisteeseen R2 kohdistuva pientaajuinen melun laskennallinen tulos hankevaihtoehdossa VE1 on linjassa reseptoripisteen R1 kanssa.



Kuva 12-2. Pientaajuisen melun laskennallinen osuus sisätiloissa reseptoripisteessä R2.

### **13 VAIHTOEHTOJEN VE0, VE1 JA VE2 VERTAILU**

Hankkeen meluvaikutusten osalta voidaan laskennan perusteella päätellä, että hankkeen suurimman lukumäärän vaihtoehdolla VE1 on myös laajimmat meluvaikutukset, sillä melun kokonaisleviämisaalue on sidoksissa voimaloiden lukumäärään. Laskennan perusteella voidaan todeta, että asuin- ja lomakohteiden ohjearvot eivät ylitä, kun laskennassa on käytetty voimalatoimittajan maksimia taattua äänitehotason arvoa. Kesäaikaan myöskään loma-asuin- ja lomakohteissa ei ohjearvo ylitä laskennan mukaisella kesäajan tuulisuutta vastaavalla äänitehotasolla. Hankealue jakautuu hyvin laajalle alueelle, jossa voimaloiden sijaintimuutoksilla voidaan ehkäistä myös meluvaikutuksia muiden vaikutusten ohella. Hankevaihto VE2 jää luonnollisesti melun leviämisaalueeltaan pienimmäksi, mutta ei ehkäise tehokkaasti esim. alueen eteläosaan kohdistuvaa melua. VE2 poistaa meluvaikutukset alueen pohjoislaidoilla kokonaan.

### **14 RAKENTAMISEN AIKAISET MELUVAIKUTUKSET**

Tässä selvityksessä ei ole mallinnuksin tarkasteltu rakennusajan melua sen vaihtelevuuden vuoksi. Rakennusaikainen melu koostuu metsätöiden, tietöiden ja maankaivuun melusta rakennushankkeen alkuaikana. Melu on luonteeltaan vaihtelevaa ja voi sisältää satunnaisia iskumaisia ääniä. Hetkellisesti rakennusaikainen melu voidaan kuulla asuin- ja lomakohteissa riippuen työvaiheista, mutta rajoittuen todennäköisesti päiväajan työskentelyyn.

### **15 MELUN VAIKUTUKSET ALUEEN ÄÄNIMÄISEMAAN**

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset ovat ajallisesti ja paikallisesti vaihtelevia. Suurin muutos voidaan havaita altistuvien kohteiden luona tilastollisen myötätuulen puolella eli hankesuunnitelma-alueiden pohjois- ja itäosissa. Alueen altistuvat kohteet ovat keskimäärin varsin kaukana tuulivoimaloista, jolloin melun erottuminen on hyvin pitkälti säätilasta riippuvainen. Melun erottumista lisääviä säätekijöitä ovat stabiili ilta- ja yöajan alailmakehä, kostea säätila ja voimakas alailmakehän inversio. Melu voidaan havaita paremmin myötätuuliolosuhteissa ja heikommin (tai ei lainkaan) vastatuuliolosuhteissa. Mitä kauempana laitoksista ollaan, sitä enemmän ilmakehän absorptio vaimentaa korkeita taajuuksia jättäen jäljelle vain matalimpia tuulivoimamelun taajuuksia. Lisäksi tuulivoimamelun amplitudimodulaation eli ajallinen pulssimainen melu, voi erottua taustakohinan läpi ulkona kuunneltaessa. Uudet voimalat ovat kuitenkin hitaasti pyöriviä siipien kärkivälin merkittävän pituuden vuoksi, mistä syystä modulaation erottuminen voi kohdistua enemmän vain kovemmille tuulennopeuksille. Tällöin etenkin aerodynaaminen melu voi kuulostaa matalataajuiselta lentomelulta ("kuminaa"), jolla on jatkuvasti vaihteleva, mutta yleisesti varsin matala äänitaso. Tuulivoimamelun sosiaalisia vaikutuksia ja vaikutuksia porotalouteen on selvitetty selostuksen luvussa 5.17.

### **16 HAITALLISTEN VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN**

Tuulivoimalaitoksia on mahdollisuus ajaa meluoptimoitulla ajolla, jolloin esim. roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Säätoparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, tuulensuunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa vastaavasti voimalan äänitehotasoa. Muuta

merkittävää meluntorjuntaa ei voida laitoksille suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Esimerkiksi tässä selvityksessä käytetyn laitevalmistajan meluoptimointiajo (ks. *Kuva 6-1*) vähentää äänitason korkeimman taatun äänitason osalta 2 dB.

## 17 VAIKUTUSTEN SEURANTA

Rakentamisen jälkeen meluvaikutusten seuranta voidaan suorittaa melumittauksin, joista ohjeistetaan myös YM:n tulevassa oppaassa. Mittauksin voidaan varsin luotettavasti todeta melutasot, melun luonne sekä tehdä vertailuja mallinnettuihin melutasoihin ja annettuihin melun suunnittelun ohjeistuksiin.

## 18 LÄHTEET

**Leventhall & Bowdler 2011.** Wind Turbine Noise, Multi Science Publishing, UK.

**Moller, C. & Pedersen, C.S 2010.** Low frequency noise from large wind turbines. Acoustical Society of America Vol 129, No 6, June 2010.

**Moller, H. & Pedersen, C. 2012.** Assessment of low-frequency noise from wind turbines in Maastricht. City Council of Maastricht.

**Nelson, D.A 2007.** Perceived loudness of wind turbine noise in the presence of ambient sound.

**Oerlemans, S. & Schepers, J.G. 2009.** “Prediction of wind turbine noise directivity and swish”, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark.

**Pedersen, C. (2012).** Low-frequency noise from large wind turbines – additional data and assessment of new Danish regulations. Low frequency noise conference 2012, Conference Proceedings, Startford-upon-Avon, UK.

**Saarinen, A. 2011.** Tuulivoimaloiden meluvaikutukset, Tuulivoimarakentamisen neuvottelupäivä, Ympäristöministeriö 23.11.2011.

**Siponen, D. 2011.** Noise Annoyance of Wind Turbines. VTT Research Report VTT-R-00951-11, 2011.

**Tuuliatlas 2012.** Suomen Tuuliatlas. <<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>> 15.11.2012.

**Van den Berg G.P 2007.** “The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise”, Doctoral Thesis, University of Groningen, Netherlands.

**Vestas 2012.** Vestas V112 3 MW Specifications. Vestas Wind Systems A/S.

**Ympäristöministeriö 2012.** Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012. Ympäristöministeriö.