



## METSÄHALLITUS

Tolpanvaaran tuulivoimapuiston meluselvitys

**Sisäinen tarkistussivu**

<b>Asiakas</b>	Metsähallitus
<b>Otsikko</b>	Tolpanvaaran tuulipuiston ympäristömeluselvitys
<b>Työnumero</b>	16X267499-E723-TOLPAN
<b>Tiedoston nimi</b>	Tolpanvaara_Tuulivoimameluselvitys_2017.docx
<b>Tiedoston sijainti</b>	
<b>Järjestelmä</b>	Microsoft Word 14.0
<b>Ulkoinen jakelu</b>	Metsähallitus / Olli-Matti Tervaniemi
<b>Sisäinen jakelu</b>	Ramboll Finland Oy / Juha-Matti Märijärvi Ella Kilpeläinen / Ympäristöpalvelut
<b>Vastaava yksikkö</b>	Pöyry Finland Oy - Ympäristökonsultointi
<b>Toimipaikka</b>	Vantaa
<b>Alkuperäinen</b>	
Dokumentin pvm	24.2.2017
Laatija/asema/allekirj.	Carlo Di Napoli / Johtava asiantuntija
Tarkistuspvm	24.2.2017
Tarkistanut/asema/allekirj.	Ella Kilpeläinen / Johtava asiantuntija

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

## Yhteenveto

Metsähallitus suunnittelee Pudasjärvellä sijaitsevalle Tolpanvaara alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi yhteensä 22 noin 3 MW:n yksikkötehoista tuulivoimalaitosta. Tässä raportissa tuulivoimamelun leviämisyöhykkeet mallinnettiin tietokoneavusteisesti digitaalikarttaan noudattaen ympäristöministeriön tuulivoimamelun mallinnusohjeita YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 22 x 3.45 MW:n normaalsiiven mukaisella hankevaihtoehdolla laskettu 40 dB:n keskiäänitaso LAeq ei ylity lähimpien loma-asuinrakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Tulokset alittavat Valtioneuvoston tuulivoimamelun yöajan ohjearvot ulkona.

Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin ilmaäänieristävyysvaatimus olisi vain noin 3 dB taajuudella 125Hz, joka voidaan saavuttaa hyvin kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on hyödynnetty uusia kevyen loma-asuinrakennuksen rakenteen mukaisia ilmaäänieristävyysmittausarvoja vuodelta 2015.

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttua alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan. Ajallisesti suurin muutos voidaan havaita tilastollisen myötätuulen puolella eli hankealueen pohjois- ja koillisosissa sekä laskennallisten meluvyöhykkeiden sisällä.

**Sisältö****Yhteenveto**

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>5</b>
1.1	Ympäristömelu	5
1.2	Tuulivoimamelu	5
<b>2</b>	<b>LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>	<b>7</b>
2.1	Digitaal kartta-aineisto	7
2.2	Mallinnetut turbiinityypit	7
2.3	Melumallinnus ja laskentaparametrit	8
2.3.1	Pientaajuisen melun laskenta	9
2.4	Vertailuohje arvot	9
2.5	Melutason toimenpiderajat sisätiloissa	10
<b>3</b>	<b>LASKENTATULOKSET</b>	<b>11</b>
3.1	Melun leviäminen	11
3.2	Mallinnustulokset, 22 voimalaa	11
3.3	Pientaajuinen melu	12
<b>4</b>	<b>MELUVAIKUTUKSET</b>	<b>13</b>
4.1	Melun vaikutukset alueen äänimaisemaan	13
4.2	Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	13
4.3	Vaikutusten seuranta	13
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>13</b>
	<b>VIITTEET</b>	<b>14</b>

**Liitteet**

Liite 1	Melumallinnuskartta – 22 voimalaa, ISO 9613-2 sekä pientaajuisen melulaskennan reseptoripisteet
Liite 2	Pientaajuisen melulaskennan tulokset
Liite 3	YM OH 2/2014 ohjeen mukainen taulukko

**Lyhenteet**

$L_{Aeq}$	A-taajuuspainotettu ekvivalenttinen äänitaso [dB]
$L_{WA}$	A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotaso [dB]
$L_{WZ}$	Taajuuspainottamaton äänilähteen äänitehotaso [dB]

## 1 JOHDANTO

Metsähallitus suunnittelee Pudasjärvellä sijaitsevalle Tolpanvaaran alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi yhteensä 22 noin 3 MW yksikkötehoista tuulivoimalaitosta.

Tässä raportissa käsitellään melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön kaavoitusta varten. Vertailuarvoina käytetään uuden meluasetuksen ohjeita [1]. Mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014 [3].

### 1.1 Ympäristömelu

Ääni on aaltoliikettä, joka tarvitsee väliaineen välittyäkseen eteenpäin. Ilmassa äänellä on nopeus, joka on riippuvainen ilman lämpötilasta. Eri väliaineissa ääniaalto kulkee eri nopeuksilla väliaineen ominaisuuksista riippuen. Normaali ympäristömelu sisältää useista kohteista peräisin olevaa yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jatkuvassa muutoksessa.

Melu on subjektiivinen käsite, jolla viitataan äänen negatiivisiin vaikutuksiin. Sitä käytetään puhuttaessa ei toivotusta äänestä, josta seuraa ihmisille haittaa ja jonka havaitsemisessa kuulijan omilla tuntemuksilla ja äänenerotuskyvyllä on suuri merkitys. Melua voidaan mitata sen fysikaalisten ominaisuuksien perusteella.

Ympäristömelu koostuu ihmisen toiminnan aiheuttamasta melusta, joka vaihtelee ajan ja paikan mukaan. Äänen (melun) voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle (eli hyvin pienelle paineenmuutokselle ilmassa) käytetään referenssipainetta 20  $\mu\text{Pa}$  ilmalle sekä 1  $\mu\text{Pa}$  muille aineille. Tällöin 1 Pa paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä. [2]

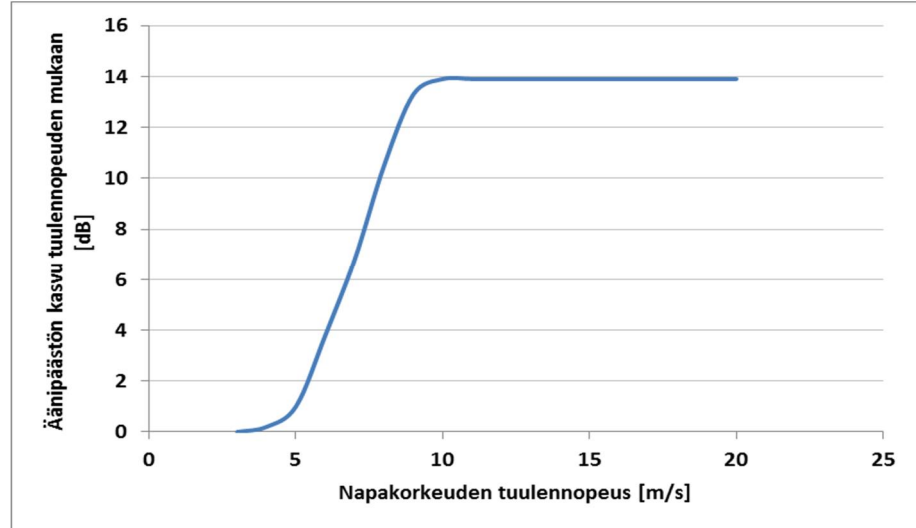
Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, häiritsevyyttä sekä kiusallisuus. Nämä tekijät on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen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

Melun ekvivalenttitaso (symboli  $L_{eq}$ ) tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasoa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso. Koska ääni käsitellään logaritmisena suurena, on hetkellisesti korkeammilla äänitasoilla suhteellisen suuri vaikutus ekvivalenttiseen melutasoon. Tasaisessa teollisuusmelussa hetkellisivaihtelut ovat usein varsin lähellä myös ekvivalenttista arvoa, mikäli toiminnasta ei aiheudu impulssimaisia melutapahtumia.

### 1.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten käyntiäänäni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta (muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät). Aerodynaaminen melu on hallitsevin (noin 60–70 prosenttia kokonaisäänienergiasta) lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000Hz:n väliin. Pientaajuisen melun osuutta aerodynaamisessa melussa lisäävät tulovirtauksen turbulenssi-ilmiöt, siipivirtauksen irtoamistilanteet (sakkaus) sekä ilmakehän äänen leviämisiä (ilmamassan impedanssi etäisyyden kasvaessa). Aerodynaaminen melu voi myös aiheuttaa viheltävää ääntä esimerkiksi siipivaurioiden yhteydessä turbulentsin ilmavirran resonanssi-ilmiön vuoksi.

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 [4]. Lisäksi voimalan lähtöäänitaso on suoraan tuulennopeudesta riippuvainen siten, että alhaisilla tuulilla ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin nimellisteholla.



**Kuva 1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s tuulisuuden jälkeen. Voimalan käyntiinlähdön tuulennopeuden (napakorkeudella) 3 m/s äänipäästö vastaa tässä selvityksessä  $L_{WA} = 94.5$  dB ja 11 m/s tuulennopeuden 108.5 dB.**

Maksimiäänitehotaso ( $L_w$ ) saavutetaan nimellistehon tuulinopeuksilla (yleisesti nopeus napakorkeudella  $> 10$  m/s) ennen siipikulmasäädön käynnistymistä, mikä yleensä tasoittaa äänitehotason nousun tuulen nopeuden edelleen kasvaessa (ks. kuva 1). Siiven kärkinopeus on moderneissa voimaloissa maksimissaan noin 75 m/s.

Taustamelu (liikennemelu, teollisuusmelu) sekä tuulen aiheuttama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti vaihtelevia. Peittoäänen vaikutus on sitä parempi, mitä lähempänä peittoäänen taajuusjakauma on vastaavaa tuuliturbiinin äänijakaumaa [5]. Vastaavasti tuulivoimamelun mahdollinen sykintä, jossa melutaso vaihtelee ajallisesti voimalan roottorin pyörimisen mukaan ja joka voi joissain säätilanteissa esiintyä tuulivoimamelussa, voi heikentää taustamelun peittovaikutusta ja siten kuulua myös taustakohinan läpi. Näin erityisesti tilanteissa, joissa alailmakehän stabiilisuus kasvaa, joka osaltaan vähentää kasvillisuuden ja aallokon kohinaa.[6]

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

## 2 LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

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

### 2.1 Digitaalikartta-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0.5m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten ja teiden paikkatiedot sekä vesiraja.

### 2.2 Mallinnetut turbiinityypit

Mallinnuksessa käytettiin yhtä turbiinityyppiä, jonka oletetaan vastaavan 3.45 MW voimalan äänitehotasoa, jolla on lähtökohtaisesti varsin korkea äänipäästö normaalsiivellä ilman siipien sahalaidoitusta. Tuulivoimaloiden kehitys on tällä hetkellä erittäin nopeaa ja uusimpien mallien äänipäästöön voidaan vaikuttaa erilaisin teknisin menetelmin, kuten siipimallia vaihtamalla (ks. kpl 4.2).

Laskennassa käytetyn tuulivoimalan äänen taajuusjakauma terssikaistalla (1/3 oktaavikaistalla, taajuudet 25 Hz – 8000 Hz) on saatu valmistajan aineistosta. Aineisto on käyty läpi eikä se sisällä riskiä melun kapeakaistaisuudelle. Valmistaja takaa melupäästön kokonaisarvon melutakuuna  $L_{WA}$  ("warranted level"). Takuu ei koske taajuuskaistoja oktaavi- tai terssikaistatasolla.

Tuulipuisto sisältää 22 voimalaa tornikorkeudella 160 m.

Seuraavat voimalatyyppit voidaan luokitella tässä mallinnettua tapausta äänipäästöltään pienemmiksi:

- Vestas V112 3.0 MW napakorkeudella 150 m:  $L_{WA} = 106.5 \text{ dB(A)}$
- Nordex N117 3.0 MW napakorkeudella 150 m:  $L_{WA} = 106.0 \text{ dB(A)}$
- Nordex N131 3.0 MW napakorkeudella 150 m:  $L_{WA} = 104.5 \text{ dB(A)}$
- Nordex N131 3.6 MW napakorkeudella 150 m:  $L_{WA} = 106.4 \text{ dB(A)}$

Lisäksi jokaisen yllä mainitun voimalamallin osalta on tehty äänipäästöjen 1/3 oktaavikaistavertailu ja todettu niiden alittavan mallinnetun tapauksen äänipäästön kullakin taajuuskaistalla erityisesti pientaajuisten melun taajuusalueella 20–200Hz. Napakorkeuden pienillä muutoksilla ( $\pm 30 \text{ m}$ ) ei ole merkittävää vaikutusta äänipäästöön tai leviämisyöhykkeisiin.

Alla on esitetty mallinnuksessa käytetyn voimalamallin oktaavikaistan painottamattomia taajuusarvoja.

**Taulukko 1. Mallinnettujen tuulivoimalaitosten äänipäästötaso kokonaislukuina,  $L_{WA}$**

Voimalatyyppi	Taajuusjakauma, oktaavikaistat [Hz]									$L_{WA}$
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
V126, 3.45 MW, $L_w$ [dB]	115	111	109	106	105	104	100	95	81	<b>108.5</b>
V126, 3.45 MW, $L_w + 2 \text{ dB}$ [dB]	117	113	111	108	107	106	102	97	83	<b>110.5</b>

### 2.3 Melumallinnus ja laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon on havainnollistettu käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v7.4 64bit, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi immissio- eli vastaanottopisteessä ray-tracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina on käytetty ISO 9613-2, jonka parametrusointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa [3].

Mallissa otetaan huomioon äänen geometrinen leviämismuutos, maaston korkeuserot, rakennukset sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 2. Laskennan epävarmuus on nyt sisällytetty tuulivoimalan äänen melupäästöarvoon, sillä laskennassa on hyödynnetty valmistajan takuarvoa  $L_{WA}$  ("warranted level") sekä vakioituja laskentaparametreja, jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

Kaikkiaan tuulivoimamelun laskennan parametrit ovat konservatiivisempia kuin teollisuus- tai tieliikennemelussa yleisesti käytetyt melun leviämislaskennan parametrit mm. seuraavien syiden vuoksi: [3], [13]

1. Yleinen maa-absorptiovakio on 0.4, tieliikennemelussa se on 1. Maavaimennus on siten pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa yleisesti
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään vain maksimi/taattua äänipäästötasoa  $L_{WA}$ , kun tieliikennemelussa se on keskivuorokausiliikenne KVL. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää laitteiden aikakorjauksia.
3. 4m:n laskentakorkeus, kun tieliikennemelussa se on Suomessa 2m.

Alueen topografia on hyvin kumpuilevaa. Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja immissiopisteiden maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta katsotaan sellaiseksi, että sillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin (+2 dB lisäys äänipäästöön  $L_{WA}$ ). Tässä tapauksessa 10 voimalaa täytti ohjeistuksen kriteerit, joiden äänipäästöön tehtiin +2 dB:n lisäys.

**Taulukko 2. Laskentamallien parametrit**

Lähtötieto	Parametrit
<b>Laskentalogiikka</b>	ISO 9613-2 Ylärajatarkastelu, YM OH 2/2014 kpl 4.1 [3]
<b>Mallinnusalgoritmit</b>	Peruslaskennat: Teollisuusmelun laskentamalli ISO 9613-2 [3] Pientaajuinen melulaskenta: DSO 1284 [7] sekä Swecon 2015 tutkimushankkeen loma-asuinrakennusten ilmääänieristys [8]
<b>Topografiakartta</b>	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto (© MML, 2017), topografian pystyresoluution on 0.5m.
<b>Sääolosuhteet</b>	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia
<b>Äänilähde</b>	Pistelähde
<b>Äänitakuu <math>L_{WA}</math></b>	108.5 dB
<b>Mallinnuksen äänipäästö</b>	1/3 oktaaveittain 25 Hz – 8000 Hz
<b>Topografiakorjaus</b>	10 voimalaa, $L_{WA}$ +2 dB eli 110.5 dB



<b>Laskentaverkko</b>	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4m) korkeudella seuraten maanpintaa
<b>Maanpinnan akustinen kovuus</b>	ISO 9613-2, G= 0.4 (maa-alueet), G = 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet)
<b>Objektien heijastuvuus</b>	Reseptorilaskennat: arvolla 0 (ei heijastusta)
<b>Laskentavyöhykkeet, LAeq</b>	35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

### 2.3.1 Pientaajuisten melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu lasketaan käyttäen voimalan painottamattomia äänipäästön (takuun mukaisella painottamattomalla kokonaisäänipäästöllä  $L_{WZ}$  sekä 10 voimalan osalta +2dB:n lisäyksellä) 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 20-200Hz. Laskenta suoritetaan ohjeen DSO 1284 sekä YM:n ohjeen mukaisesti [3],[7].

Laskennassa on hyödynnetty uusimpia kevyen rakenteen loma-asuinrakennusten ilmajääläeristävyyden arvoja Tanskasta, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia [8]. Loma-asuinrakennusta vastaavaa rakennuksen vaipan ilmajääläeristystä on käytetty kaikissa laskennan kohteena olevissa kohteissa riippumatta siitä, onko kohde asuinkäytössä oleva rakennus vai loma-asuinrakennus. Suomessa voimassa olevien asetusten perusteella laskentaa ei voi ulottaa infraäänitaajuuksille asti vertailuarvon puuttuessa. Laskennassa ei kuitenkaan arvioida melun ekvivalenttista kokonaistasoa LAeq,1h sisätiloissa, sillä äänieristysmittausten uusimmat tulokset ovat vain pientaajuisten melun taajuusalueella 16-200Hz.

Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen sekä pientaajuisten melun tulokset alittavat selvästi VNa 1107 [1] sekä STM:n asumisterveysasetuksen [11] toimenpiderajat. Tätä tukevat myös tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmajääläeristysprofiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

### 2.4 Vertailuohjeet

Valtioneuvosto on 27.8.2015 hyväksynyt uudet ohjeet tuulivoimaloiden melulle ulkona [1]. Asetus tuli voimaan 1.9.2015. Oheisessa taulukossa on esitetty uuden asetuksen mukaiset keskiäänitaso-ohjeet LAeq tuulivoimamelulle päivällä ja yöllä.

**Taulukko 3. Tuulivoimamelun uudet ohjeet, LAeq**

Tuulivoimamelun ohjeet	LAeq päivä-ajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)
<b>Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet</b>	45 dB	40 dB
<b>Oppilaitokset, Virkistysalueet</b>	45 dB	-
<b>Kansallispuistot</b>	40 dB	40 dB

Jos tuulivoimalan melu on impulssimaista tai kapeakaistaista melulle altistuvalla alueella, valvonnan yhteydessä saatuun mittaustulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista 3 §:ssä säädettyihin arvoihin.

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason ohjearvot määritetään A-taajuuspainotettuna keskiäänitasona LAeq erikseen yhden vuorokauden päiväajan ja yöajan osalta. Kyse ei ole hetkellisistä enimmäisäänitasoista. Kunkin vuorokauden päiväajan 15 tunnin (klo 7–22) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) on tarkoitus pysyä annetun päiväajan ohjearvon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) on tarkoitus pysyä annetun yöajan ohjearvon mukaisena. [12]

Melumallinnuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita vaan melun leviäminen lasketaan taatun äänipäästön arvoilla ja tulosvertailu tehdään vain yöajan 40 dB:n ohjearvoon nähden. [3]

## 2.5 Melutason toimenpiderajat sisätiloissa

Sosiaali- ja terveysministeriön uusi asumisterveysasetus 545/2015 asettaa sisätilojen äänitasoille toimenpiderajat erityisesti yöajan äänitasoille nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa sekä pientaajuisen melulle taajuusvälillä 20–200Hz.[11]

**Taulukko 4. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015). [11]**

Melun A-painotettu ekvivalenttitaso (LAeq) enintään		
Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
<i>Asuinhuoneistot, palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoitopaikat ja vastaavat tilat</i>		
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB
<i>Kokoontumis- ja opetushuoneistot</i>		
huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-
muut kokoontumistilat	40 dB	-
<i>Työhuoneistot (asiakkaiden kannalta)</i>		
asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB	-

Yöaikainen (klo 22–7) musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unhäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona LAeq,1h (klo 22–7) mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. [11]

**Taulukko 5. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07**

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

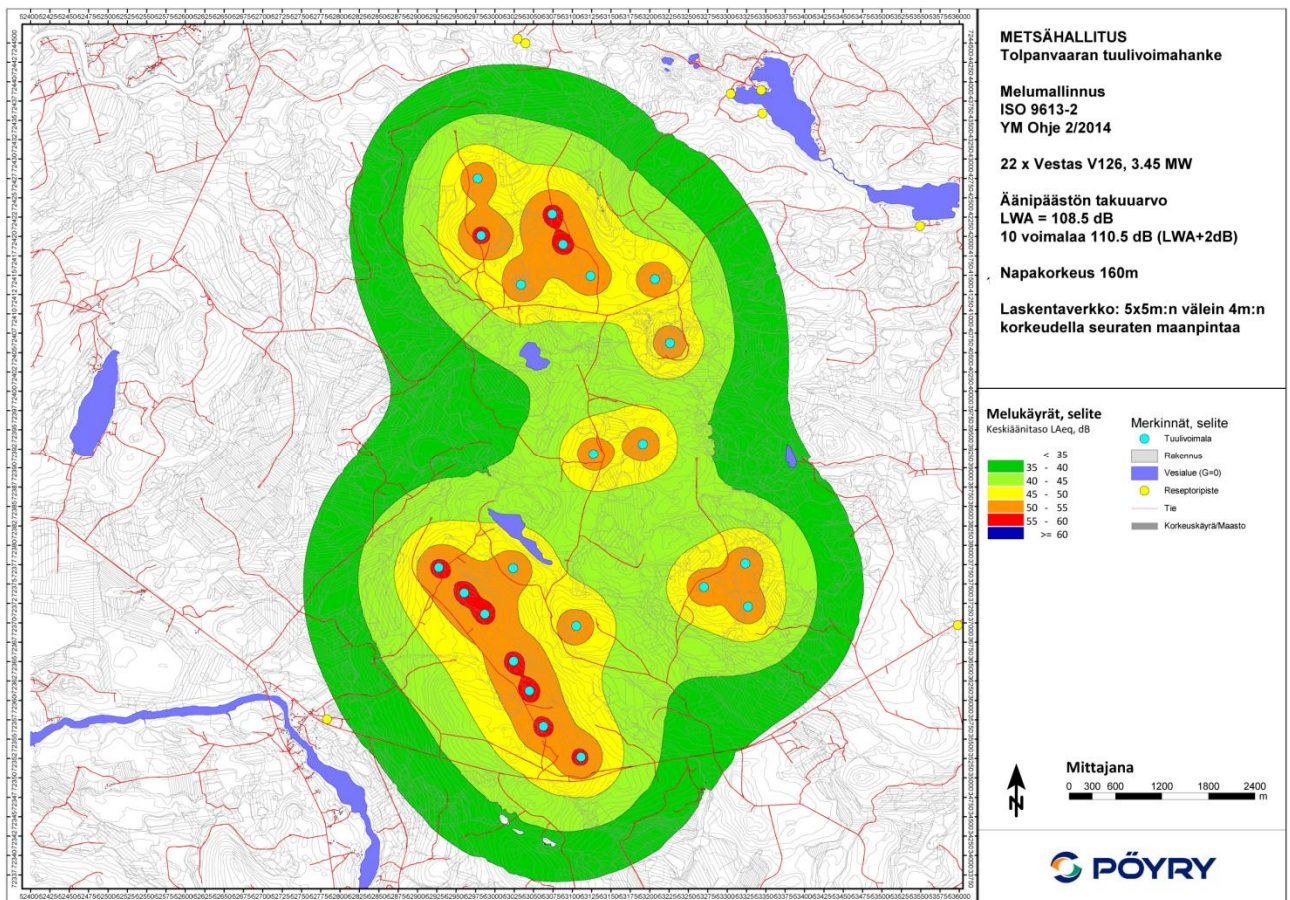
### 3 LASKENTATULOKSET

#### 3.1 Melun leviäminen

Topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty alla olevassa melukartassa. Erillinen pientaajuisen melun laskenta tuloksineen lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3.

#### 3.2 Mallinnustulokset, 22 voimalaa

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla sekä liitteessä 1 on esitetty melumallinnuksen kuva.



**Kuva 2. Melumallinnuksen kuva**

Melun leviäminen laskettiin myös lähimpiin altistuviin kohteisiin, joista kooste alla. Liitteessä 1 on esitetty kohteet mallinnuskarttapohjalla.

**Taulukko 6. Melumallinnuksen tulokset neljän lähimmän altistuvan kohteen edessä ulkona**

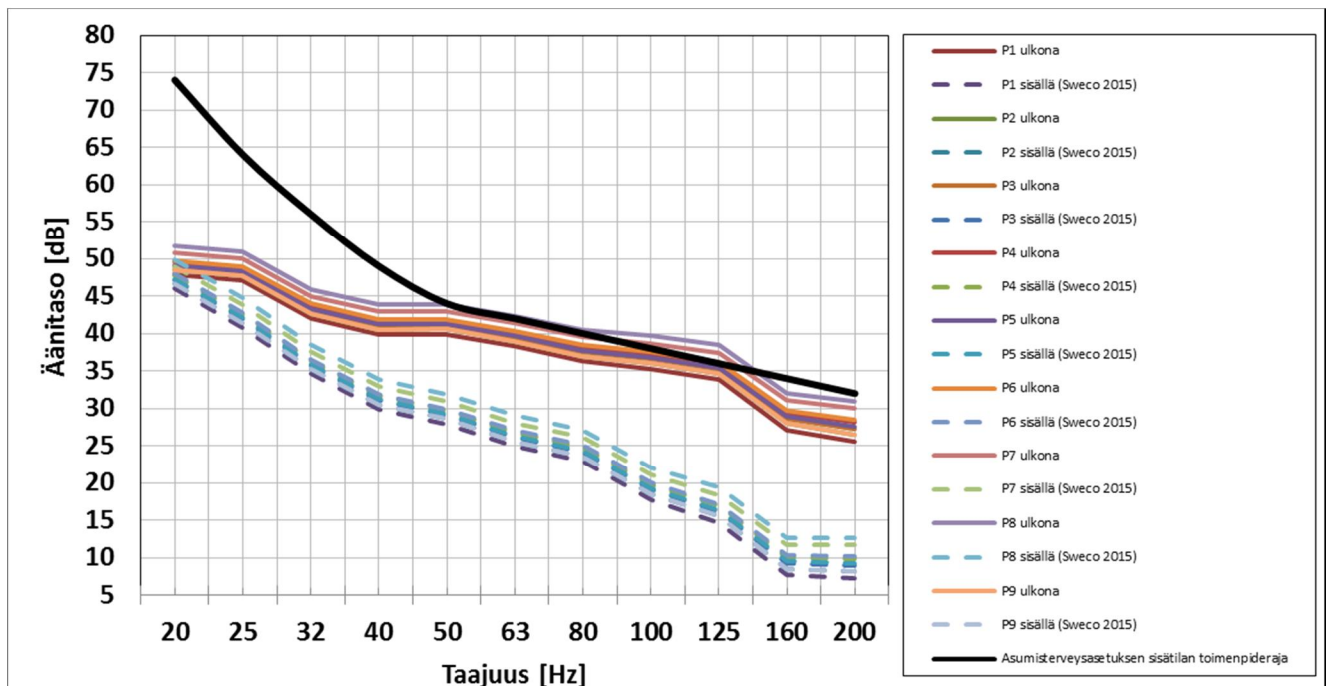
Laskentapiste	LAeq tulos
Loma-asuinrakennus (Iso Haukijärvi) P1	26 dB
Loma-asuinrakennus (Iso Haukijärvi) P2	28 dB

Loma-asuinrakennus (Pieni Haukijärvi) P3	28 dB
Loma-asuinrakennus (Pieni Haukijärvi) P4	28 dB
Loma-asuinrakennus (Pieni Haukijärvi) P5	30 dB
Loma-asuinrakennus (Pieni Haukijärvi) P6	28 dB
Loma-asuinrakennus (Syvänojansuo) P7	33 dB
Asuinrakennus (Näljängäntie 93, Siivikko, Pudasjärvi) P8	34 dB
Asuinrakennus (Näljängäntie 978, Siivikko, Pudasjärvi) P9	28 dB

Etäisyys lähimpiin altistuviin kohteisiin on voimaloilta niin suuri, että yksikään tulos ei ylitä yöajan ohjearvoa 40 dB. Mallinnus osoittaa, että tuulivoimamelun leviäminen voimaloilta alittaa Tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvot yöaikaan.

### 3.3 Pientaajuinen melu

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja. Laskenta suoritettiin ohjeen DSO 1284 laskentarutiinin mukaisesti, käyttäen uusia loma-asuinrakennusten ilmajänieristävyuden arvoja Tanskasta, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia [8] ja noudattaen YM:n ohjeita [3], [7]. Tuloksuvaaja lasketun hankesuunnitelman osalta lähimmässä reseptoripisteessä on esitetty alla sekä suurennettuna liitteessä 2.



**Kuva 3. Pientaajuisen melun laskentatulokset yhdeksässä lähimmässä reseptoripisteessä. Tulokäyrät asettuvat osin lähes päällekkäin laskentatulosten samankaltaisuuksien vuoksi.**

Tämän laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin ilmajänieristävyuden vaatimus olisi pisteessä P8 vain noin 3 dB taajuudella 125Hz, joka voidaan saavuttaa jo hyvin kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella.



## **4 MELUVAIKUTUKSET**

### **4.1 Melun vaikutukset alueen äänimaisemaan**

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset ovat ajallisesti ja paikallisesti vaihtelevia. Ajallisesti suurin muutos voidaan havaita melulle altistuvien kohteiden luona tilastollisen myötätuulen puolella eli hankealueen pohjois- ja itäosissa sekä lähempänä voimaloita meluvyöhykkeiden sisällä.

Melun erottuminen riippuu hyvin pitkälti säätilasta. Melun erottumista lisääviä säätekijöitä ovat stabiili ilta- ja yöajan alailmakehä, kostea säätila ja voimakas alailmakehän inversio. Melu havaitaan 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, joiden voimakkuus on kuitenkin heikko, sillä myös pientaajuinen melu vaimenee nk. geometriavaimentumisen vuoksi. Lisäksi tuulivoimamelun sykintä voi erottua taustakohinan läpi ulkona kuunneltaessa. Uudet voimalat ovat kuitenkin hitaasti pyöriviä siipien kärkivälin merkittävän pituuden vuoksi, mistä syystä sykinnän erottuminen voi kohdistua enemmän vain kovemmille tuulenopeuksille. Tällöin etenkin aerodynaaminen melu voi kuulostaa matalataajuiselta lentomelulta ("kuminaa"), jolla on jatkuvasti vaihteleva, mutta yleisesti varsin matala äänitaso.

### **4.2 Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen**

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaidoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä 2-3 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä. Tässä työssä on kuitenkin käytetty normaalia siipimallia, jonka äänipäästö on sahalaidoitettua suurempi.

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulenopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Esimerkiksi tässä selvityksessä käytetyn tuulivoimalavalmistajan meluoptimointiajo vähentää äänitasa noin 1-8 dB yhden voimalan osalta. Säätoparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulenopeus, -suunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi myös voimalan äänipäästöä. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Melumallinnuksen perusteella tarvetta meluoptimointiajomoodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

### **4.3 Vaikutusten seuranta**

Rakentamisen jälkeen meluvaikutuksia voidaan seurata mittauksin, joista ohjeistetaan myös ympäristöministeriön oppaassa YM OH 3-4/2014.[9],[10] Mittauksin voidaan varsin luotettavasti todeta melun tasot ja luonne sekä tehdä vertailuja mallinnettuihin tasoihin ja suunnittelun ohjearvoihin.

## **5 YHTEENVETO**

Metsähallitus suunnittelee Pudasjärvellä sijaitsevalle Tolpanvaara alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi yhteensä 22 noin 3 MW:n yksikkötehoista

tuulivoimalaitosta. Tässä raportissa tuulivoimamelun leviämisyöhykkeet mallinnettiin tietokoneavusteisesti digitaalikarttaan noudattaen ympäristöministeriön tuulivoimamelun mallinnusohjeita YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 22 x 3.45 MW:n normaaliuuden mukaisella hankevaihtoehdolla laskettu 40 dB:n keskiäänitaso LAeq ei ylity lähimpien loma-asuinrakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Tulokset alittavat Valtioneuvoston tuulivoimamelun yöajan ohjearvot ulkona.

Pientaajuisten melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin ilmaäänieristävyysvaatimus olisi vain noin 3 dB taajuudella 125Hz, joka voidaan saavuttaa hyvin kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisten melun laskennassa on hyödynnetty uusia kevyen loma-asuinrakennuksen rakenteen mukaisia ilmaäänieristävyysmittausarvoja vuodelta 2015.

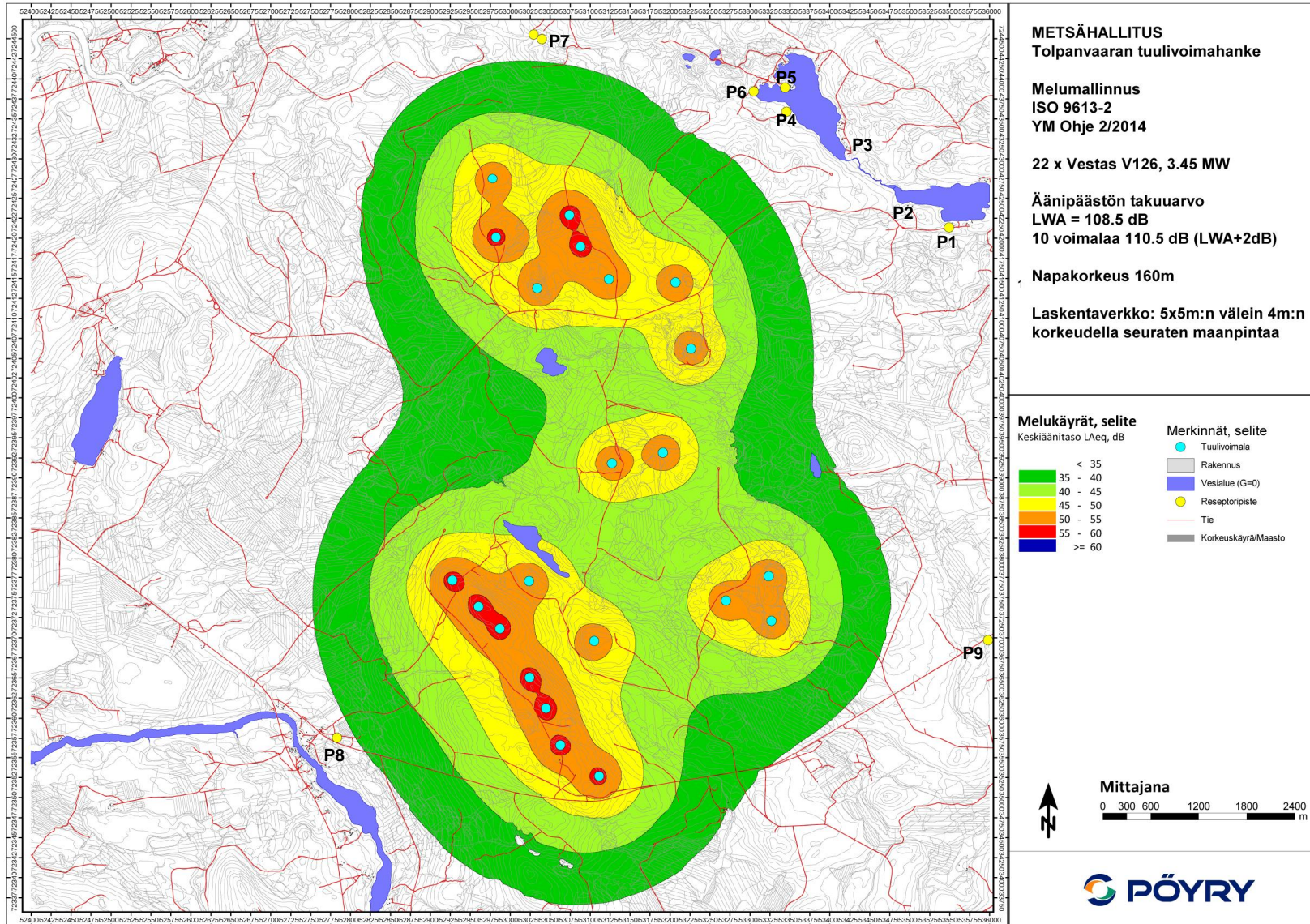
Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan. Ajallisesti suurin muutos voidaan havaita tilastollisen myötätuulen puolella eli hankealueen pohjois- ja koillisosissa sekä laskennallisten meluyöhykkeiden sisällä.

## **VIITTEET**

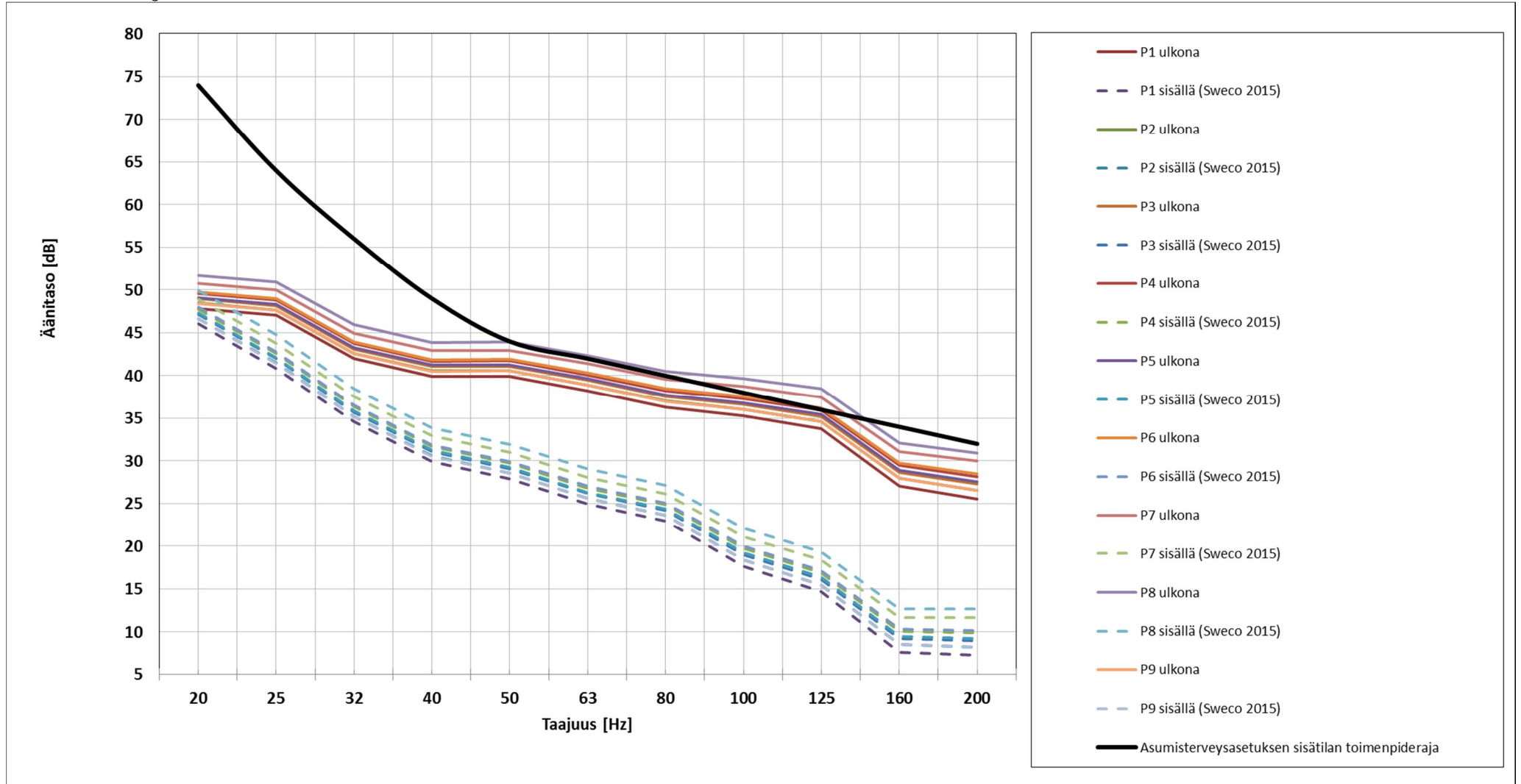
- [1] Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista
- [2] ISO 226:2003. Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours. International Organization for Standardization, Geneva, 2003.
- [3] Ympäristöhallinnon ohjeita OH 2/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- [4] Oerlemans, S. Schepers, J.G. "Prediction of wind turbine noise directivity and swish", *Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise*, Aalborg, Denmark, (2009)
- [5] Nelson, D.A. Perceived loudness of wind turbine noise in the presence of ambient sound.
- [6] G.P. van den Berg. The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.
- [7] Statutory order of noise from wind turbines. Danish ministry of environment. Denmark, 2012.
- [8] Sondergaard, Bo. New measurements of low frequency sound insulation. Sweco 2015, Denmark.
- [9] Ympäristöhallinnon ohjeita OH 3/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- [10] Ympäristöhallinnon ohjeita OH 4/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- [11] STM asetus 545/2015, Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsinki, 2015.
- [12] Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöministeriö, Helsinki 2016
- [13] Melutta -hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 20/2007. Ympäristöministeriö, Helsinki, 2007.



**Liite1. Melumallinnuskartta sekä pientaajuisen melun laskentapisteet P1-P9**



Liite2. Pientaajuisen melun laskentatulokset





**Liite 3. Laskennan tietotaulukko**

<b>RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT</b>								
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>16X267499-E723-TOLPAN</b>					Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>24.2.2017</b>			
Laatija: <b>DI Carlo Di Napoli, Pöyry Finland Oy</b>					Hyväksyjä: <b>Ella Kilpeläinen, Pöyry Finland Oy</b>			
<b>MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT</b>								
Mallinnusohjelma ja versio: <b>SoundPlan v.7.4 64bit</b>					Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
<b>TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)</b>								
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Vestas</b>					Nimellisteho: <b>3.45MW</b>			
Roottorin halkaisija: <b>126m</b>					Napakorkeus: <b>160m</b>			
Lukumäärä: <b>22</b>								
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana: <b>Kyllä, n.1-8 dB äänipäästöä vähentävästi. Lisäksi voimalamallin siipiprofiilin valinnoilla voidaan saada n.2.5 dB vähennys.</b>								
<b>AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>								
Melupäästötiedot (takuarvo/äänitehotason keskiarvo): <b>108.5 dB(A), 12 m/s napakorkeudella, normaalsiipi</b>								
Luottamuksellisia (NDA): <b>Kyllä, vain viranomaiskäyttöön</b>								
Oktaaveittain [Hz], dB								
31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>115</b>	<b>111</b>	<b>109</b>	<b>106</b>	<b>105</b>	<b>104</b>	<b>100</b>	<b>95</b>	<b>81</b>
Melun erityispiirteet								
Kapeakaistaisuus: <b>Ei</b>					Impulssimaisuus: <b>Ei</b>			
Korkeuserokorjaus: <b>10 kpl, +2 dB äänipäästöön L<sub>WA</sub></b>								
<b>AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>								
Laskentakorkeus: <b>4m</b>			Suhteellinen kosteus: <b>70%</b>			Lämpötila: <b>15 °C</b>		
Maastomallin lähde: <b>MML</b>					Pystyresoluutio: <b>0.5m / laserkeilausaineisto</b>			
Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet								
Vesialueet:			Maa-alueet:			Muut alueet (mitkä?)		
<b>0</b>			<b>0.4</b>			<b>Laajat kallioalueet, 0</b>		
Pientaajuisen melulaskennan ilmastuuseristys asuin- ja loma-asuinrakennuksille [8]:								
1/3 Oktaaveittain [Hz], dB								

20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>1.8</b>	<b>6.2</b>	<b>7.4</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>13.3</b>	<b>13.4</b>	<b>17.6</b>	<b>19.1</b>	<b>19.4</b>	<b>18.3</b>

### LASKENTATULOKSET

Laskentavaihtoehdot: **1 kpl**

Laskentakartat: **1 kpl**

Laskentavyöhykkeet [dB]: **5 kpl: 35, 40, 45, 50 ja 55**

Pientaajuisen melun laskentataulukot: **1 kpl**

Reseptoripisteet: **9 kpl**

Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)

Yli 40 dB(A):n vyöhykkeellä: **0 kpl**

Yli 45 dB(A):n vyöhykkeellä: **0 kpl**

Pientaajuisen melun tulokset (Sweco 2015 mukaan): **Kaikki tulokset alle asumisterveysasetuksen**

Laskennallisesti suurin ilmääänieristyksen vaatimus: n. **3 dB, taajuudella 125Hz**