

SYYSKUU 2019

RAJAMÄENKYLÄN TUULIVOIMAPUISTON MELUSELVITYS
YMPÄRISTÖNVAIKUTUSARVIOINTIA VARTEN

OX2 Wind Finland Oy



SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO	2
1 YHTEENVETO	3
2 JOHDANTO	4
2.1 YMPÄRISTÖMELU	4
2.2 TUULIVOIMAMELU	4
3 MELUMALLINNUKSEN LÄHTÖTIEDOT	6
3.1 DIGITAALIKARTTA-AINEISTO	6
3.2 MALLINNETUT TUULIVOIMALAMALLIT	6
3.3 TUULIVOIMALOIDEN JA RESEPTORIPISTEIDEN SIJAINNIT	6
3.4 ALUEEN LYHYT TUULIANALYYSI	7
3.5 MELUMALLINNUKSEN LASKENTAPARAMETRIT	8
3.6 PIENTAAJUISEN MELUN LASKENTA	10
3.7 TUULIVOIMAMELUN VAIKUTUKSET TUOTANTOELÄIMIIN	10
3.8 VERTAILUOHJEARVOT	11
3.9 MELUTASON TOIMENPIDERAJAT SISÄTILOISSA	11
4 MELUMALLINNUKSEN LASKENTATULOKSET	12
4.1 MELUN LEVIÄMINEN	12
4.2 MALLINNUSTULOKSET, ULKOMELU KESKIÄÄNITASOLLA LAEQ	12
4.2.1 Yhteismelumallinnus	14
4.3 PIENTAAJUINEN MELU LEQ,1H RAKENNUSTEN SISÄTILOISSA	16
4.3.1 Pientaajuisten melun yhteismallinnus	17
4.4 VOIMAJOHDON KORONAMELUN LEVIÄMINEN	17
5 MELUVAIKUTUKSET	18
5.1 MELUN VAIKUTUKSET ALUEEN ÄÄNIMAISEMAAN	18
5.2 HAITALLISTEN VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN	18
5.3 VAIKUTUSTEN SEURANTA	19
6 LÄHTEET	19

LIITTEET

- LIITE 1 Voimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit, reseptoripistekartta sekä hankealueen ja ympäristön korkeuskartta
- LIITE 2 Melumallinnuskartta, VE1, 57 voimalaa sekä yhteisvaikutuslaskelma
- LIITE 3 Pientaajuisten melulaskennan tulokset, reseptoripisteet LP1-LP17
- LIITE 4 Pientaajuisten melulaskennan tulokset, reseptoripisteet LP1-LP17, yhteisvaikutus
- LIITE 5 Lähtötieto- ja tulostaulukko

LYHENTEET

- LAeq A-taajuuspainotettu ekvivalenttinen äänitaso [dB]
- LWA A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotaso [dB]
- LWA,d A-taajuuspainotettu äänipäästön tunnusarvo [dB]
- LW Taajuuspainottamaton äänilähteen äänitehotaso [dB]
- LW,d Taajuuspainottamaton äänipäästön tunnusarvo [dB]

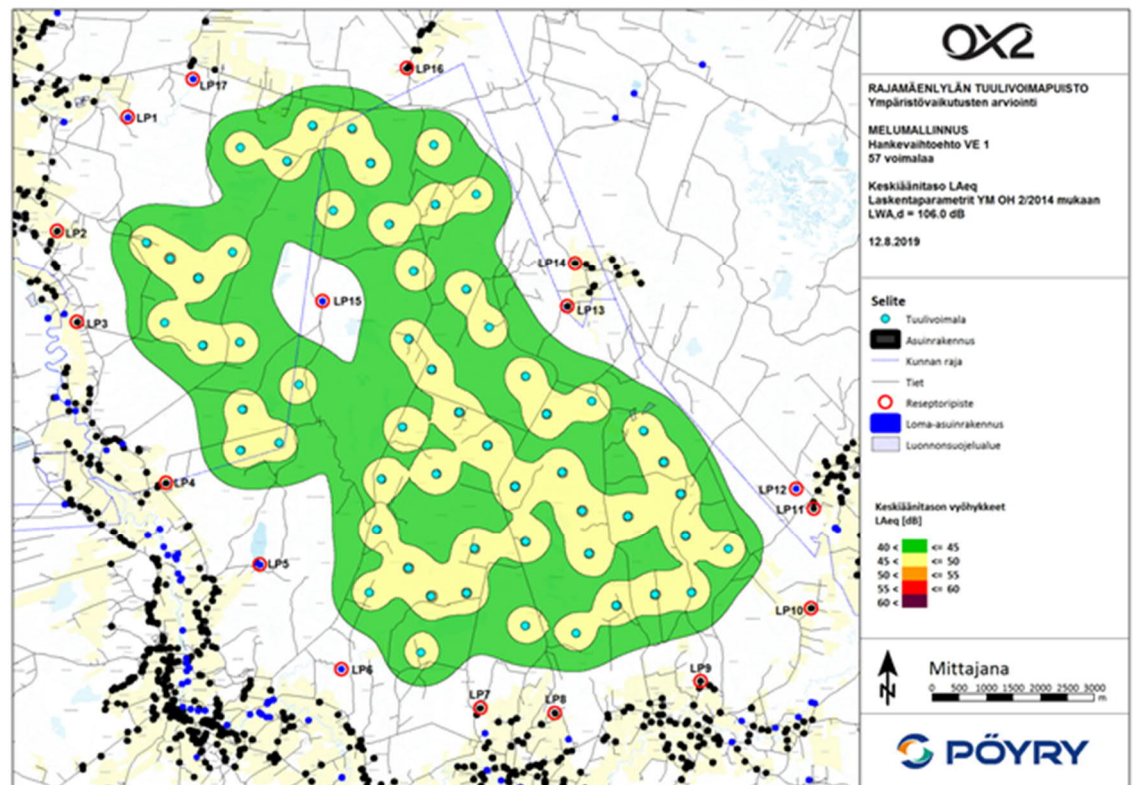
1

YHTEENVETO

OX2 Wind Finland Oy suunnittelee Isojoen ja Karijoen kuntien alueella sijaitsevalle Rajamäenkyllän alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi enintään yhteensä 57 yksikköteholtaan 6-10 MW:n tuulivoimalaitosta. Tässä raportissa käsitellään melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Vertailuarvoina käytetään uuden tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja. Mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014. Selvitys on tehty hankkeen ympäristövaikutusarviointia varten.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 57 voimalan hankevaihtoehtoilla lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä.

Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Suurin ilmääänieristävyyden vaatimus olisi noin 8 dB taajusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty uusia suomalaisten pientalojen mukaisia ilmääänieristävyyden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittaushankkeen tuloksista. Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan.



Yhteisvaikutuslaskelman mukaan, kun laskelmassa huomioidaan Lakiakankaan I-III, Lappfjärdin ja Dagsmarkin tuulivoimapuistot, keskiäänitaso LAeq reseptoripisteissä nousee enintään 0,8 dB (LP4). Viereisten tuulipuistojen aiheuttama yhteisvaikutus katsotaan siten vain vähän melutilannetta lisääväksi ja suurin vaikutus on ainoastaan Lakiakankaan hankkeilla.

Meluvaikutusten merkittävyys arvioitiin tässä työssä vähäisesti kielteiseksi, siten että hankkeen aiheuttama kielteinen muutos on havaittavissa, mutta ei juuri aiheuta muu-

tosta ihmisten päivittäisiin toimiin, ympäröivään luontoon tai tuotantoeläinten hyvinvointiin.

2 JOHDANTO

OX2 Wind Finland Oy suunnittelee Isojoen ja Karijoen kuntien alueella sijaitsevalle Rajamäen kylän alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi enintään yhteensä 57 yksikköteholtaan 6-10 MW:n tuulivoimalaitosta.

Tässä raportissa käsitellään melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Vertailuarvoina käytetään uuden tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja. Mallinusohejeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014 (*Ympäristöministeriö, 2014*). Selvitys on tehty hankkeen ympäristövaikutusarviointia varten.

2.1 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 taajuuudet 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 äänen erotuskyvyllä 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 μPa ilmalle sekä 1 μPa muille aineille. Tällöin 1 Pa paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä. (ISO 226:2003)

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.

Melun ekvivalenttitaso, minkä symboli L_{eq} ja A-taajuuspainotettuna L_{Aeq} , tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso. Koska ääni käsitellään logaritmisena suureena, 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.

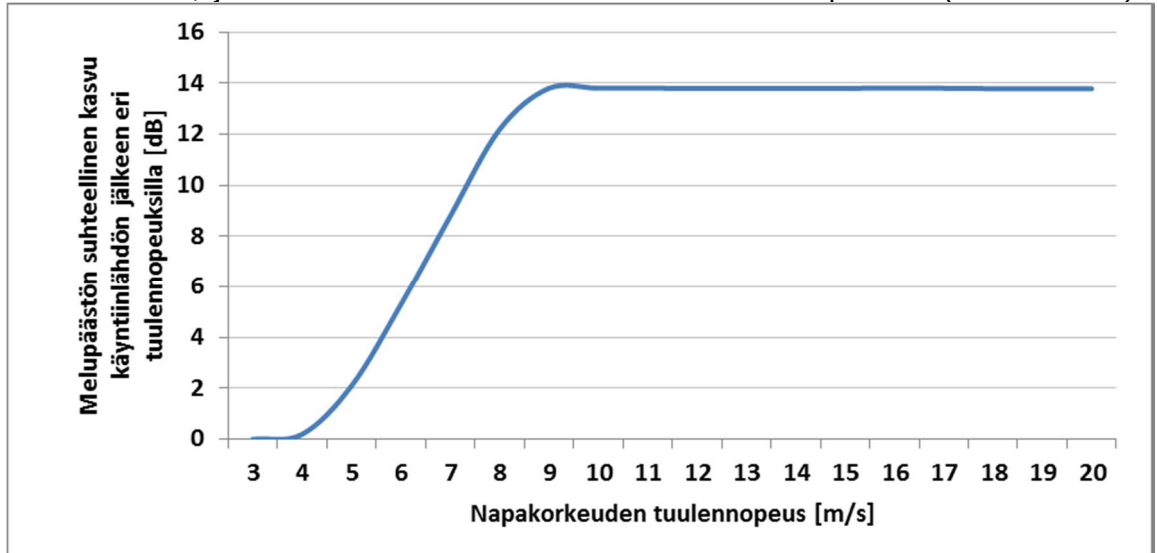
2.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi (Gupta, M. Madsen, K., 2019). Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen

melun suuntaavuutta ylhäältä käsin, on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4-6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä (Oerlemans, S. Schepers, J.G., 2009).

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennonpeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähönpeutella, lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (ks. kuva 2-1).



Kuva 2-1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudelta mitatun tuulennopeuden jälkeen.

Äänipäästön L_{WA} huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan (ks. kuva 2-1).

Taustamelu esim. liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esim. puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle (Halstead, D. Tam, N., 2019).

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmapirran turbulenssin vaihtelut eri vuorokauden aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla (Bolin, K, 2012.). Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s -13 m/s modernin voimalan napakorkeudella (G.P. van den Berg, 2006).

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. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaudoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2-3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän (Arce León, C., 2017).

3 MELUMALLINNUKSEN LÄHTÖTIEDOT

Laskennan lähtötiedot on koottu tilaajan lähettämästä aineistosta, Maanmittauslaitoksen digitaalikartta-aineistosta, sekä kirjallisuudesta.

3.1 Digitaalikartta-aineisto

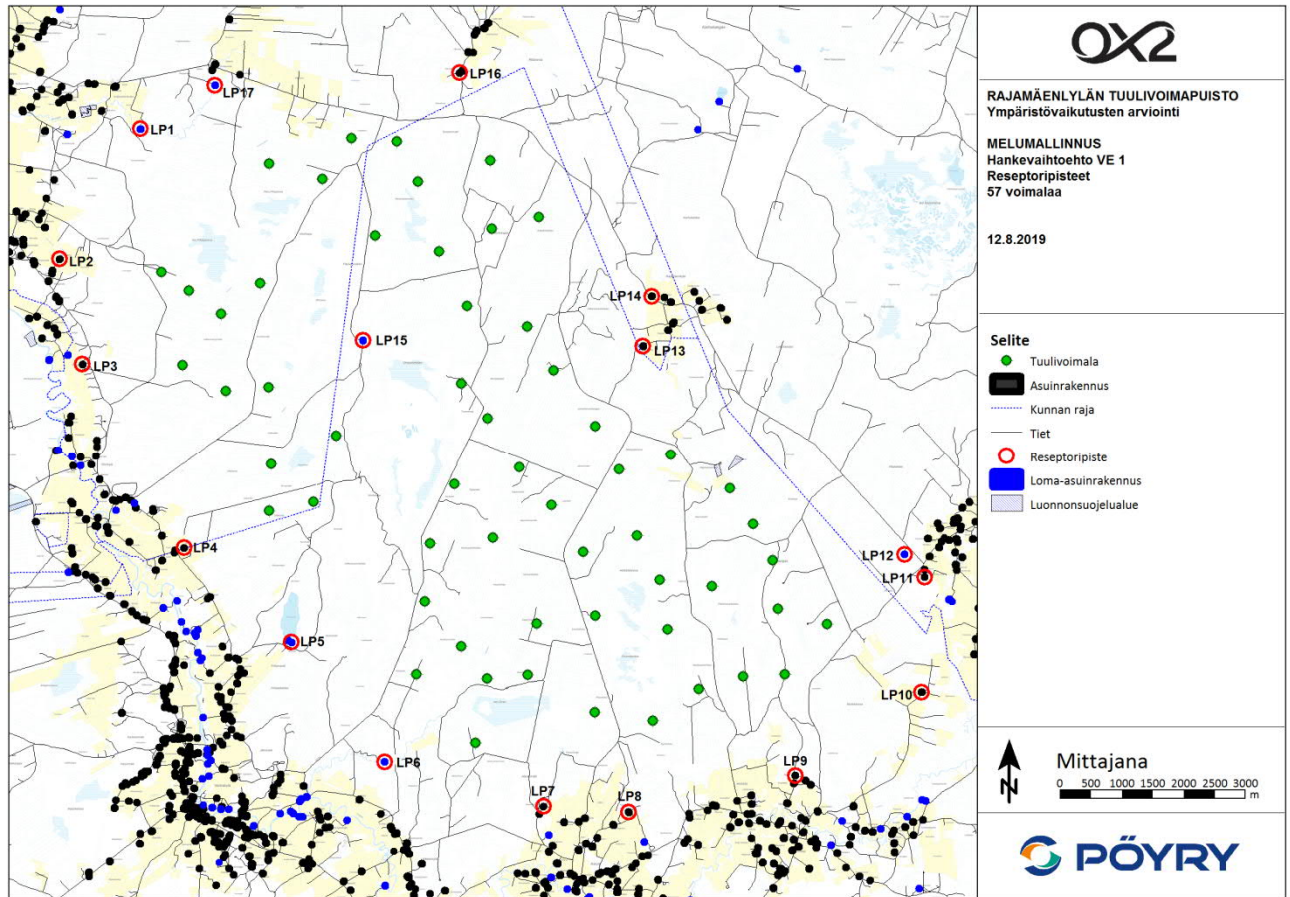
Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0,5 m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten paikkatiedot sekä niiden käyttötarkoitus siten kuin se on esitetty Maanmittauslaitoksen aineistossa. Lisäksi kartassa esitetään ja teiden paikkatiedot sekä vesirajat, joissa käytetään akustisesti kovan maanpinnan absorptioarvoja.

3.2 Mallinnetut tuulivoimalamallit

Mallinnus suoritettiin yhdelle voimalamallille, jonka äänipäästön tunnusarvoksi (englanniksi 'declared value') on valittu 106 dB, napakorkeudeksi 200 m ja kokonaiskorkeudeksi 300 m. Äänipäästön taajuusjakauma vastaa voimalan Vestas V162 5,6MW:n voimalan taajuusjakamaa, jonka tieto on syötetty laskentamallin äänipäästön lähtötiedoiksi 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3 Hz – 10 000 Hz. Äänipäästön alkuperäinen taso on valmistajan dokumentaation perusteella $L_{WA} = 104$ dB, johon on tehty +2 dB:n epävarmuuslisäys YM:n muistion YM9/5511/2016 ohjeiden perusteella (*Ympäristöministeriö, 2016*). Laskennassa hyödynnetty voimalamalli sisältää lavan jättöreunan sahalaoiduksen. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä on 57 voimalaa.

3.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

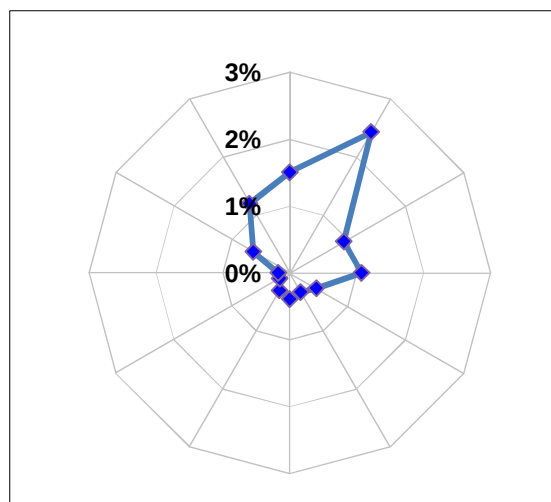
Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden LP1-LP17 eli asuin- tai lomarakennusten sijainnit, joiden kohdalla laskettiin erikseen reseptoripistetulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa sekä alla oleva kuva 3-1 myös suurennettuna.



Kuva 3-1. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden LP1-LP17 sijainnit

3.4 Alueen lyhyt tuulianalyysi

Alueen tuulisuutta on tarkasteltu käyttäen apuna Suomen Tuuliatlaksen laskennallisia tuulisuustietoja 200m:n korkeudella alueen keskikorkeudesta mallinnetun melupäästön mukaisille tuulisuuksille eli yli 12 m/s käännteisenä tuuliruusuna.



Kuva 3-2. Weibull jakauman kautta lasketut vuotuiset myötätuulen tilanteen (% ajasta) yli 12 m/s tuulisuuksille (lähde Suomen Tuuliatlas, www.tuuliatlas.fi)

Kuvassa 3-2 on laskettu tuulisuusarvoja myötätuulen puolelle vuotuisesti. Tulosten perusteella vallitseva tuulensuunta kaikilla yli 12 m/s tuulisuuksilla on selkeästi lounaasta ja etelästä. Siten myötätuulen puolen tilanteet ovat tuulivoimalan melun suuntaavuuden huomioimisen jälkeen pääsääntöisesti välillä 330°-30° eli alueen pohjois-koillispuolelle. Vastakkaiselle puolelle eli alueen etelä ja länsipuolelle, voidaan olettaa, että vastatuuleen syntyvä äänen leviämisen varjoalue vähentää melukuormitusta yli 1 km:n etäisyyksillä (*Barlas et al., 2017*). Kaikkiaan jäädään alle 3 %:n esiintyvyyksiin vuotuisesti kunkin 30 asteen osasuunnan osalta. Vaikka tilastollisella tuulisuudella on selkeä päätuulensuunta, on melumallinnuksessa oletuksena myötätuulensuunta joka suuntaan.

3.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit

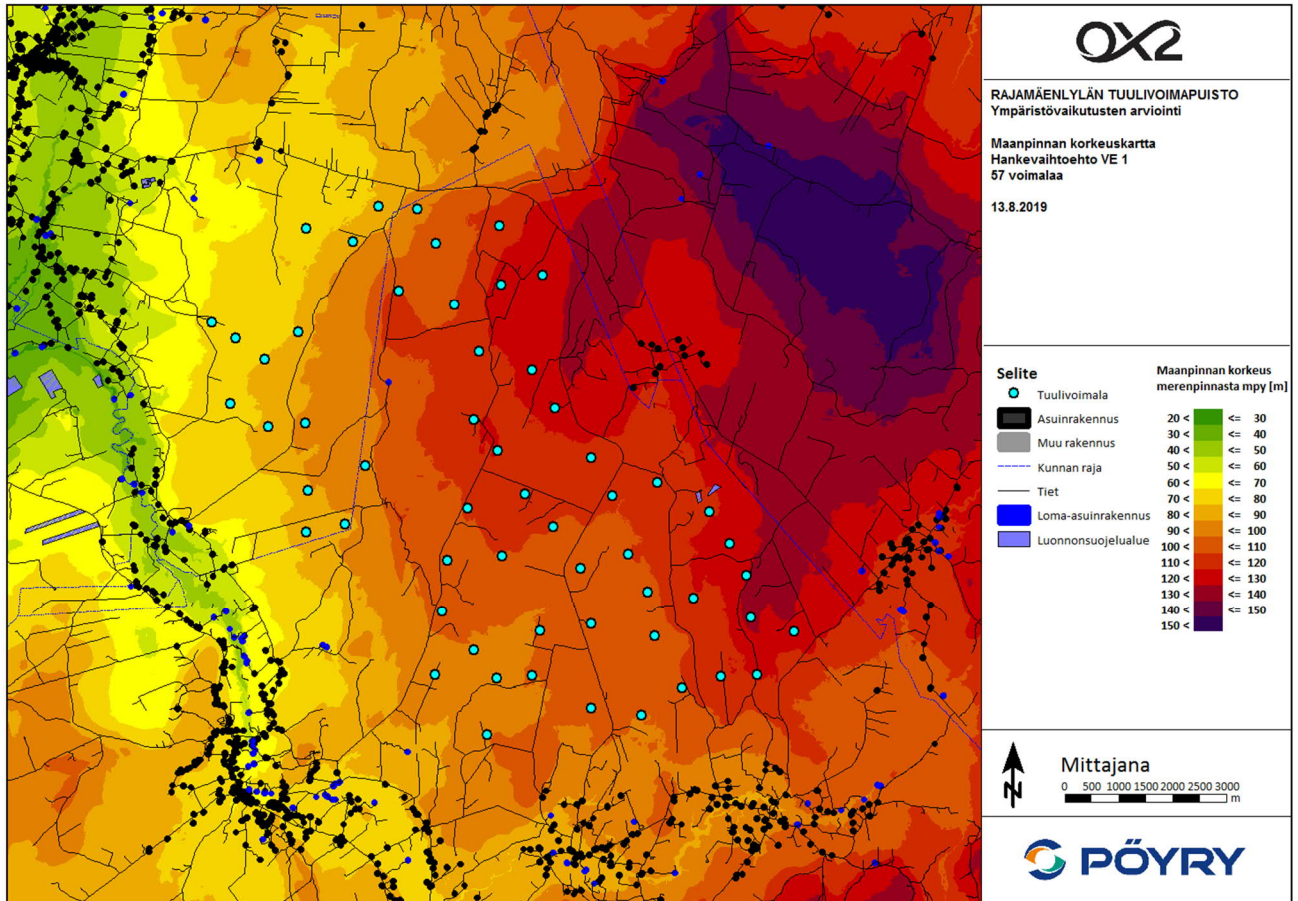
Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulas-kentaohjelmistoa SoundPlan v8.0, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä ray-tracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina käytettiin ISO 9613-2, jonka parametrisointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö, äänen geometrinen leviämismuutos, maaston korkeuserot sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioiduilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 3-1 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

Kaikkiaan tuulivoimamelun laskennan parametrit ovat konservatiivisempia kuin teollisuus- tai tieliikennemelussa yleisesti käytetyt melun leviämislaskennan parametrit: (*Ympäristöministeriö, 2007*).

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittamien myös pienempää äänen leviämismuutosta.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa $L_{WA}/L_{WA,d}$ joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättynä äänipäästöarvon epävarmuudella. Tieliikennemelussa se on keskivuorokausiliikenne KVL ilman epävarmuuksia. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää äänipäästöissä mm. laitteiden aikakorjauksia, joita ei tuulivoimamelulaskennassa voi hyödyntää.

Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja altistuvan kohteen maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta katsotaan sellaiseksi, että sillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin (+2 dB lisäys äänipäästöön L_{WA}). Tässä tapauksessa lisäystä ei tehdä, sillä 60 m korkeuserovaatimus ei täyty yhdenkään tuulivoimalan ja reseptoripisteen välillä 3km:iin asti (ks. alla oleva kuva).



Kuva 3-3. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä.
Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 3-1. Melumallinnuksen laskentaparametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Peruslaskennat: Teollisuusmelun laskentamalli ISO 9613-2 Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 90% persenttiili (Keränen et al., 2017)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto (© MML, 2019), topografian pystyresoluutiona on 0.5m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkkolaskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Tuulennopeus	12,5 m/s 200m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10m:n referenssikorkeudella (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 3.2
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 6,3 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)

Lähtötieto	Parametrit
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3-3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapisti viisi kertaa viiden metrin (5x5m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4m) korkeudella seuraten digitaalikartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2). Yhteisvaikutuslaskelman laskentaverkon tiheys 10 x 10m:n välein seuraten maanpintaa 4m:n korkeudella. Laskentaverkon koko on 35 x 24km, jonka vuoksi laskentaverkon tiheyttä on vähennetty VE1 laskennasta.
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	VE1: 40 dB, 45 dB, 50 dB, 55 dB ja 60 dB Yhteisvaikutuslaskenta: 35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

3.6 Pientaajuisten melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu lasketaan erillisenä taulukkolaskentana ohjeen mukaisilla laskentaparametreilla. Pientaajuisten melun leviämismuuttuminen laskettiin käyttäen voimalan painottamattomia äänipäästön tunnusarvon 1/3 oktaavikaistatietoja L_w taajuusvälillä 20-200Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.9)

Pientaajuisten melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017). Pientalojen ilmaäänieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin 90 % persenttiarvona DL90. Suomessa voimassa olevien asetusten perusteella laskentaa ei voi ulottaa infraäänitaajuuksille asti vertailuarvon puuttuessa. YM:n ohjeen mukainen taajuusalue on 20-200Hz.

Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä pientaajuisten melun tulokset alittavat VNa 1107 sekä STM:n asumisterveysasetuksen toimenpiderajat. Tätä tukevat myös tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmaäänieristysten keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

3.7 Tuulivoimamelun vaikutukset tuotantoeläimiin

Maa- ja metsätalousministeriön selvityksessä "Eläinten hyvinvointisäädökset tuotantorakentamisessa" eri eläinlajeille on asetettu maksimimelutasot. Nautojen, sikojen, kanojen (munituskanalat, broilerikanalat), lampaiden, vuohien ja hevosten osalta yleisen melutason tulee olla alle 65dB(A). Melutaso saa ylittää tämän desibelimäärän vain hetkellisesti tai niin, ettei ylitys ole jatkuva.

Taulukko 3-2. Asetetut maksimimelutasot. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2009)

Naudat	Siat	Broilerikanala	Munituskanala	Lampaat	Vuohet	Hevoset
ei jatkuva häiritsevää tai häiritsevää melua; vain hetkellisesti yli 65 dB(A)	ei jatkuva häiritsevää tai häiritsevää melua; vain hetkellisesti yli 65 dB(A)	ei jatkuvas- ti yli 65 dB(A), ei äkillistä melua	Eläimet eivät saa olla jatku- vasti altti- na melulle, joka ylittää 65 dB(A)*	ei jatkuvas- ti yli 65 dB(A)	ei jatkuvas- ti >65 dB(A)	ei jatkuvas- ti yli 65 dB(A)

* tuetun rakentamisen säädös. Normaalisissa rakentamisessa ei rajoitusta.

Korkea melutaso voi aiheuttaa eläimille stressiä. Esimerkiksi hevosten ja lampaiden kohdalla 60–75 dB(A) melu saattaa nopeuttaa hengitystä ja sydämen sykettä, lisätä valppautta ja vähentää laiduntamista (Ames & Arehart 1972; Christensen ym. 2005). Hevosten osalta tutkimuksessa huomattiin, että ääni- tai visuaalisen häiriön alaisena ne viettävät vähemmän aikaa syömiseen kuin häiriöttömässä tilanteessa (Christensen ym. 2005). Tuulivoimalan turbiinin aiheuttama ääni ei kuitenkaan liity välittömään riskiin, minkä vuoksi on oletettavaa, että eläimet tottuvat ääneen. Turbiinin ääni voi sekoittaa tai peittyä myös muihin luonnossa kuuluviin ääniin, eikä näin ollen häiritse eläimiä koko aikaa (Naturvårdsverket 2010). Tuulivoiman aiheuttama melu voi teoreettisesti myös häiritä eläinten kommunikointia, mutta tutkimuksissa ei ole havaittu tällaisia vaikutuksia eläimiin (Helldin ym. 2012).

Tuulivoimahankkeiden vaikutuksista hevosiin ja tuotantoeläimiin on käyty tarkemmin läpi erilliselityksessä (Pöyry Finland Oy, 2019).

3.8 Vertailuohjeavot

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

Taulukko 3-3. Tuulivoimamelun ohjeavot, LAeq

Tuulivoimamelun ohjeavot	LAeq päivä-ajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	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 ohjeavot 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) tulee pysyä annetun päiväajan ohjeavon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun yöajan ohjeavon mukaisena. (Ympäristöministeriö, 2016).

Melumallinnuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita, vaan melun leviämislaskennan tulosvertailu tehdään vain yöajan alempaan 40 dB:n ohjeavoon nähden.

3.9 Melutason toimenpiderajat sisätiloissa

Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen asetus 545/2015 asettaa sisätilojen äänitasoille toimenpiderajat erityisesti yöajan äänitasoille nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa sekä pientaajuisten melulle taajuusvälillä 20–200 Hz.

Taulukko 3-4. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).

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.

Taulukko 3-5. 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

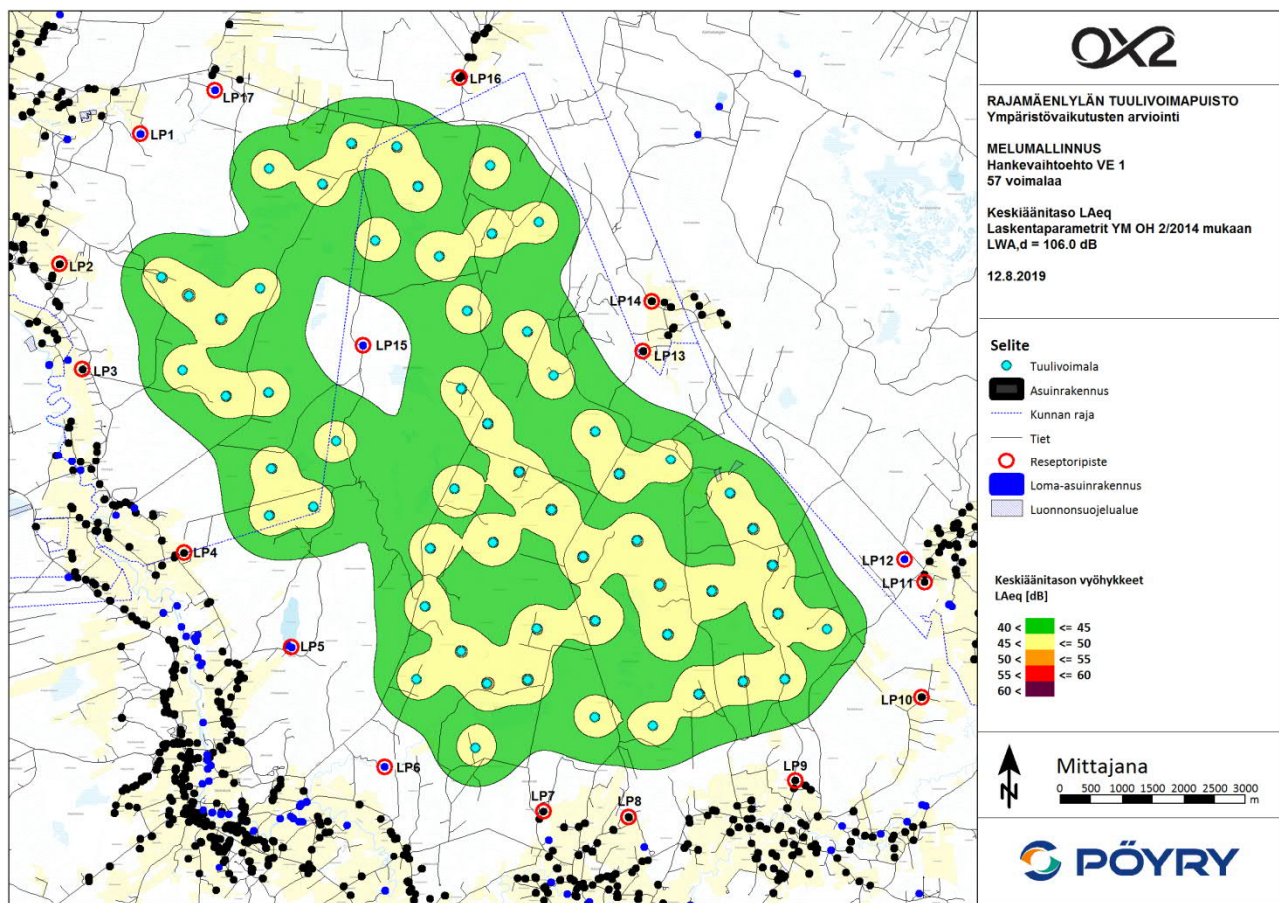
4 MELUMALLINNUKSEN LASKENTATULOKSET

4.1 Melun leviäminen

Digitaaliselle topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty alla olevassa melukartassa sekä suurempana kuvana liitteessä 2. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 4.3 sekä yksityiskohtaisemmin liitteessä 4.

4.2 Mallinnustulokset, ulkomelu keskiäänitasolla LAeq

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq melu- vyöhykkeineen hankevaihtoehdolle 57 voimalaa. Melu- vyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 4-1. Melumallinnuskartta hankevaihtoehdossa 57 voimalaa

Melun leviämislaskennan perusteella (ulkomelu) 40 dB:n melukäyrä ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoripistelaskennan perusteella (ks. taulukko 4-1), suurin keskiäänitason LAeq tulos laskennan mukaan reseptoripisteessä LP15 (loma-asuinrakennus hankealueen keskivaiheilla) on 38,5 dB, joka on 1,5 dB alle yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona.

Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkona.

Taulukko 4-1. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona reseptoripisteissä LP1-LP17.

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiaänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiaänitaso LAeq
LP 1	loma-asuinrakennus	31,7 dB	LP 10	asuinrakennus	32,1 dB
LP 2	asuinrakennus	32,6 dB	LP 11	asuinrakennus	32,5 dB
LP 3	asuinrakennus	33,6 dB	LP 12	loma-asuinrakennus	33,6 dB
LP 4	asuinrakennus	34,1 dB	LP 13	asuinrakennus	37,0 dB
LP 5	loma-asuinrakennus	34,2 dB	LP 14	asuinrakennus	34,8 dB
LP 6	loma-asuinrakennus	35,2 dB	LP 15	loma-asuinrakennus	38,5 dB
LP 7	asuinrakennus	35,3 dB	LP 16	asuinrakennus	35,6 dB

Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
LP 8	asuinrakennus	35,0 dB	LP 17	loma-asuinrakennus	33,3 dB
LP 9	asuinrakennus	34,5 dB			

Keskiäänitason LAeq laskentatulokset (dB) ovat suurimmillaan 37 dB ulkona lähimmisissä asuinrakennusten reseptoripisteissä eli melutaso jää selvästi alle 65 dB(A), joka on melutason maksimiarvo tuotantoeläimillä sisätiloissa esim. navetassa.

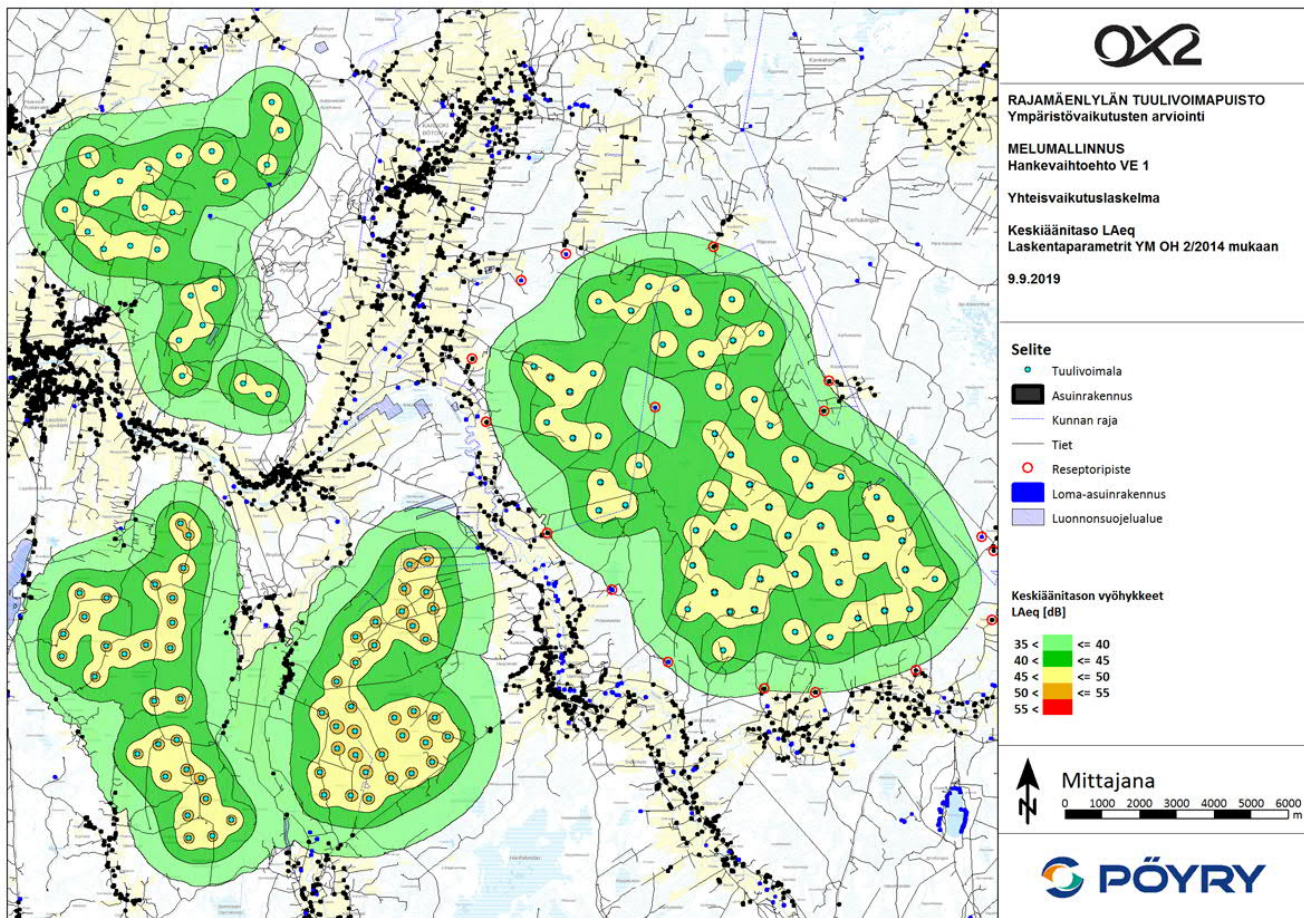
4.2.1 Yhteismelumallinnus

Rajamäenkyän tuulipuiston länsipuolelle on suunniteltu useita tuulivoimapuistoja, joista tähän yhteisvaikutuslaskelmaan otettiin mukaan Lakiakangas I-III ja Lappfjärd (CPC Finland Oy) sekä Dagsmark (OX2 Wind Finland Oy). Tämän selvityksen teon aikana Lakiakangas I on valmistunut ja Lakiakangas II:n rakentaminen on aloitettu. Muita yhteisvaikutuslaskelmassa mukana olevia puistoja ei ole vielä rakennettu. Viereisillä hankkeilla pois lukien Dagsmarkin hanke, on lainvoimaiset osayleiskaavat.

Alla on listattu vielä tarkemmin yhteisvaikutuslaskelmassa käytettyjen voimaloiden tiedot. Yhteisvaikutusten laskentaverkon koko on 35 x 24km ja laskentaverkon tiheytenä 10m x 10m. Voimaloita on yhteensä 144 kpl. Muilta osin laskentaparametrit ovat samat kuin hankevaihtoehtoon VE1 laskennassa. Lisäksi kartan keskiäänitason LAeq meluvyöhykkeet on ulotettu aina 35 dB:iin asti.

Taulukko 4-2. Yhteisvaikutuslaskelman tuulivoimalat Rajamäenkyän VE1 lisäksi

Tuulivoimapuisto	Lukumäärä	Napakorkeus	Malli ja äänipäästö, LWA
Lakiakangas I	2	137m	Vestas V126, 106,0 dB
Lakiakangas II	12	135m	Vestas V150, 104,9 dB
Lakiakangas III	20	135m	Vestas V150, 104,9 dB
Lappfjärd	29	135m	Vestas V150, 104,9 dB
Dagsmark	24	225,5m	Nordex N149, 106,0 dB



Kuva 4-2. Melumallinnuskartta yhteisvaikutuslaskelmassa

Melumallinnuslaskennan mukaan keskiäänitason LAeq 35 dB:n meluvyöhykkeet eivät kohtaa Rajamäenkyllän vastaavia meluvyöhykkeitä.

Taulukko 4-3. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona reseptoripisteissä LP1-LP17, yhteisvaikutuslaskelma.

Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
LP 1	loma-asuinrakennus	31,9 dB	LP 10	asuinrakennus	32,1 dB
LP 2	asuinrakennus	32,9 dB	LP 11	asuinrakennus	32,5 dB
LP 3	asuinrakennus	34,2 dB	LP 12	loma-asuinrakennus	33,6 dB
LP 4	asuinrakennus	34,9 dB	LP 13	asuinrakennus	37,0 dB
LP 5	loma-asuinrakennus	34,6 dB	LP 14	asuinrakennus	34,8 dB
LP 6	loma-asuinrakennus	35,4 dB	LP 15	loma-asuinrakennus	38,6 dB
LP 7	asuinrakennus	35,4 dB	LP 16	asuinrakennus	35,7 dB
LP 8	asuinrakennus	35,0 dB	LP 17	loma-asuinrakennus	33,5 dB
LP 9	asuinrakennus	34,6 dB			

Reseptorilaskennan perusteella äänitason kasvu on enintään 0,8 dB laskentapisteessä LP4. Melun kasvu painottuu Lakiakangas II tuulivoimapuiston vaikutuksen vuoksi Rajamäenkyllän hankealueen länsiosiin lyhyimmän etäisyyden vuoksi. Muut laskennassa

olevat tuulivoimapuistot eivät aiheuta meluvaikutuksia keskiäänitasolla LAeq pidempien etäisyyksien vuoksi.

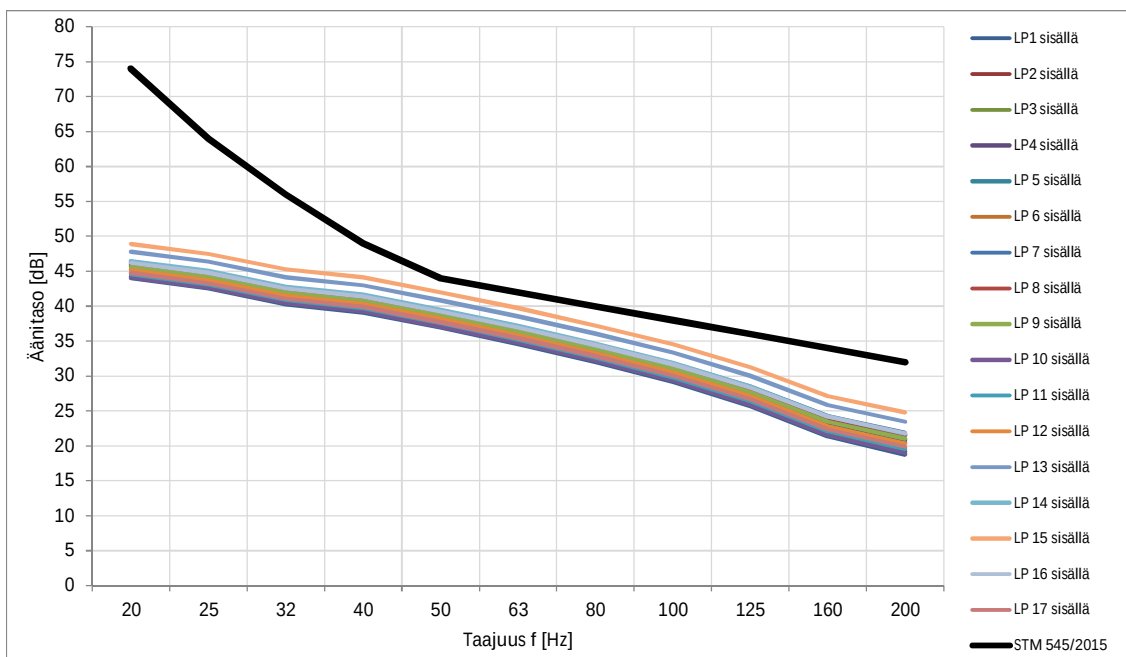
Pientaajuisten melun vastaavat yhteisvaikutuslaskennan tulokset on esitetty kappaleessa 4.3.1.

4.3 Pientaajuinen melu Leq,1h rakennusten sisätiloissa

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 20-200 Hz. Laskenta suoritettiin YM ohjeen laskentaohjeen mukaisesti käyttäen uuden suomalaistutkimuksen antamia pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron estimaattiarvoja DL90, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017). Vertailu Tanskalaisen DSO 1284 asetuksen mukaisiin ilmääänieristävyyden arvoihin on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 4-4. Laskennassa käytetty pientalojen DL90:n mukainen ilmääänieristävyys [dB]. Vertailun vuoksi on jälkimmäisissä sarakkeissa annettu DSO 1284:n ääniasetuksen mukaiset arvot (Danish ministry of environment. Denmark, 2012) [dB]

Kaista/Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
DL ₉₀ [dB]	6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14
DSO1284	6,6	8,4	10,8	11,4	13	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	21,5

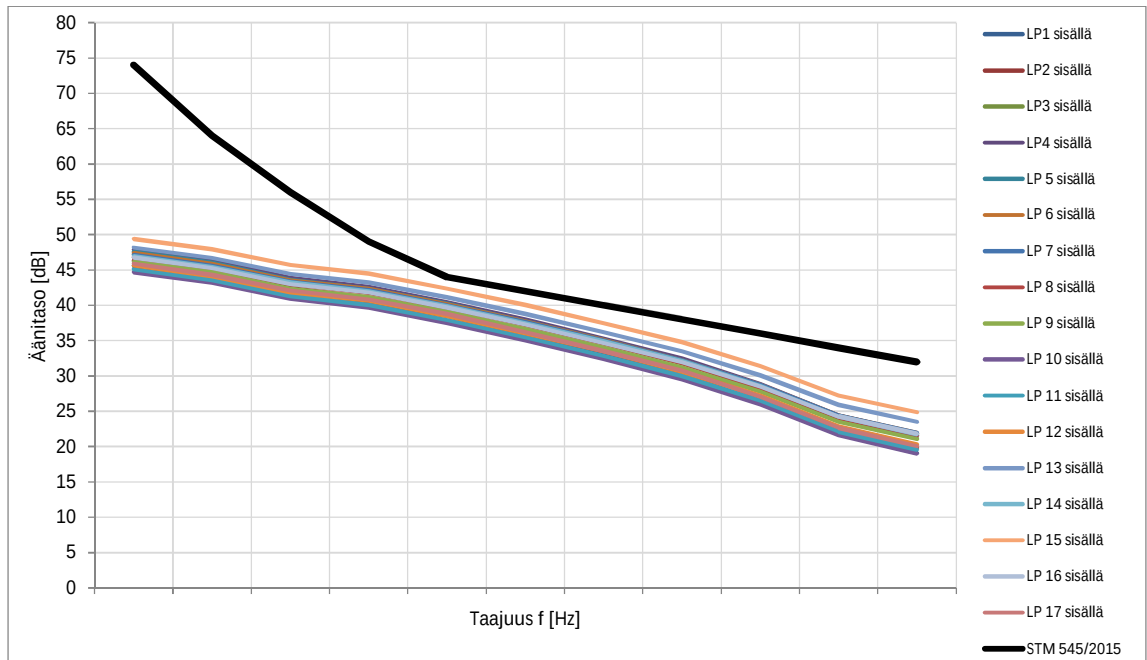


Kuva 4-3. Pientaajuisten melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä LP1-LP17.

Tuloskäyrät asettuvat osin lähes päällekkäin laskentatulosten samankaltaisuuksien vuoksi. Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvosta DL₉₀. Suurin rakennuksen ilmääänieristävyyden vaatimus pisteessä LP15 (loma-asuinrakennus) olisi noin 8 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella.

4.3.1 Pientaajuuden melun yhteismallinnus

Pientaajuuden melun yhteisvaikutuslaskenta toteutettiin samalla laskentamenettelyllä kuin Rajamäenkylän VE1 hankevaihtoehdon pientaajuuden melun laskenta sisältäen Rajamäenkylän lisäksi taulukossa 4-2 mainitut viereiset tuulivoimapuistot. Pientaajuuden melun yhteisvaikutuslaskennan yksityiskohtaiset tulokset kullakin taajuudella 20-200Hz on esitetty liitteessä 4.



Kuva 4-4. Pientaajuuden melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä LP1-LP17, yhteisvaikutuslaskenta.

Yllä olevan kuvaajan tulostyökalut asetetaan osin lähes päällekkäin laskentatulosten samankaltaisuuksien vuoksi. Pientaajuuden melun yhteisvaikutuslaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvosta DL_{90} . Suurin rakennuksen ilmastointieristävyyden vaatimus pisteessä LP15 (loma-asuinrakennus) olisi noin 8 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Viereisten tuulipuistojen aiheuttama yhteisvaikutus katsotaan siten vain vähän pientaajuista melua lisääväksi.

4.4 Voimajohdon koronamelun leviäminen

Voimajohdoissa melua aiheuttaa johtimen pinnalla syntyvät paikalliset sähköpurkaukset eli nk. koronailmiö, joka aiheuttaa korkeataajuuksista sirisevää ääntä. Tätä ilmiötä esiintyy erityisesti huonolla säällä sateen ja lumisateen aikana. Äänen voimakkuus on tällöin suurimmillaan arviolta noin 40 dB(A) 100 metrin etäisyydellä voimajohdoista tai hieman voimakkaampana aivan voimajohtojen alapuolella.

Alla olevassa taulukossa on esitetty koronailmiön laskennallisia arvioita melutasoista eri hankevaihtoehdoissa, missä on huomioitu vain hankevaihtoehtojen uudet johtosuudet, lähimpien altistuvien kohteiden luona, kun 400 kV:n ilmajohdon korkeutena laskennassa on käytetty 30m. Taulukon tulokset ovat suuntaa-antavia johtuen ilmiön äänilähteen poikkeavasta luonteesta, johon sisältyy jonkin verran epävarmuuksia.

Taulukko 4-5. Voimajohtojen koronamelun laskennallisia arviotuloksia lähimmissä altistuvissa kohteissa.

Hankevaihtoehto	Etäisyys lähimpään reseptori-pisteeseen	Keskiäänitaso LAeq
VE1	n.418m	≈ 30 dB
VE2	n.197m	≈ 35 dB
VE3	n.175m	≈ 36 dB
VE4	n.218m	≈ 34 dB

Laskennalliset tulokset viittaavat siihen että osassa kohteista koronamelu olisi kuultavissa vaimeasti ulkona huonon sään aikana, mutta kovan tuulen vallitessa, koronamelun voidaan katsoa peittyvän osittain tai kokonaan taustamelun alle.

5 MELUVAIKUTUKSET

5.1 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.

Äänen etenemisvaimennukseen vaikuttavat ilmakehän paikallisten ominaisuuksien osalta eniten ilman absorptio, äänen kaareutuminen ja tuuliturbulenssien aiheuttama sironta. Äänen kaareutumiseen vaikuttaa vallitsevat pystysuuntaiset lämpötila- ja tuuligradientit. Melumallinnus kuvaa tilanteen, jossa kaikki tuulivoimalat emittoivat tuulivoimalan äänipäästön maksimiääntä yhtäaikaaisesti. Lisäksi mallinnusalgoritmi laskee aina keskiäänitason arvot siten, että tuuli kulkee tuulivoimaloista vastaanottopisteisiin myötätuuliolosuhteena ja ilman lämpötilaprofiili on epäedullinen äänen vaimenemisen kannalta.

Melun erottuminen riippuu hyvin pitkälti säätilasta sekä muun taustamelun tasosta. Melun erottumista lisääviä säättekijöitä ovat mm. stabiili ilta- ja yöajan alailmakehä ja vastaavasti vähentäviä tekijöitä mm. puusto- ja liikennemelukohina (Bolin, 2012). Melu havaitaan paremmin myötätuuliolosuhteissa ja heikommin (tai ei lainkaan) vastatuuliolosuhteissa etäisyydestä riippuen. Mitä kauempana laitoksista ollaan, sitä enemmän ilmakehän absorptio vaimentaa korkeita taajuuksia jättäen jäljelle vain matalimpia tuulivoimamelun taajuuksia, joiden voimakkuus on kuitenkin heikko, sillä myös pientaajuisen melu vaimenee nk. äänen geometriavaimentumisen vuoksi. Nykyaikaisilla tuulivoimaloilla on pitkät lavat, jolloin ne pyörivät hitaammin kuin vanhemmat lyhyempiisiipiset voimalat.

Laskennan ylärajamallinnusta korostavista seikoista huolimatta mallinnetulla hankevaihtoehdolla melun ohjearvot eivät ylity.

5.2 Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaidoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 3-5 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017). Tämän selvityksen kaikissa voimaloissa on lähtökohtaisesti siiven jättöreunan sahalaidoitus.

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säätöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, -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.

5.3 Vaikutusten seuranta

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

6 LÄHTEET

Ames D.R. & Arehart L.A. 1972. Physiological response of lambs to auditory stimuli. *Journal of Animal Science* 34:994–998.

Arce León, C. Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.

Bolin, K. The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol 98 (2012) pages 741-748.

Christensen J.W., Keeling L. & Lindstrøm Nielsen B. 2005. Responses of horses to novel visual, olfactory and auditory stimuli. *Applied Animal Behaviour Science* 93:53–65

E.Barlas, W.J. Zhu, W.Z.Shen, O. Kaya, P. Moriarty. Consistent modelling of wind turbine noise propagation from source to receiver. *Acoustical Society of America. Journal*, 142, 3297 (2017).

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.

Gupta, M. Madsen, K. Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.

Halstead, D. Tam, N. A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.

Helldin, J., Jung, J., Neumann, W., Olsson, M., Skarin, A & Widemo, F. 2012. The impacts of wind power on terrestrial mammals. A synthesis. Report 6510. Swedish Environmental Protection Agency.

ISO 226:2003. Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours. International Organization for Standardization, Geneva, 2003.

Keränen, Hakala, Hongisto. Pientalojen äänieristävyys ympäristömelua vastaan taajuuksilla 5 – 5000 Hz – infraäänitutkimus. Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä, Turku 2017. Akustiikkapäivät 2017, materiaali

Maa- ja metsätalousministeriö 2009. Eläinten hyvinvointisäädökset tuotantorakentamisessa. Maa- ja metsätalousministeriön selvitys.

Melutta -hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 20/2007. Ympäristöministeriö, Helsinki, 2007.

Naturvårdsverket. 2010. Ljud från vindkraftverk; reviderad utgåva av rapport 6241 [Sound from wind power turbines; revised issue of report 6241]. Report no. 5933, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden. (In Swedish)

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

Pöyry Finland Oy, Tuulivoimahankkeen vaikutukset hevosiin ja tuotantoeläimiin, Kesäkuu 2019.

Statutory order of noise from wind turbines. Danish ministry of environment. Denmark, 2012.

STM asetus 545/2015, Sosiaali- ja terveysministeriön asetusasunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsinki, 2015.

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. YM muistio 14.9.2016 YM9/5511/2016. Ympäristöministeriön, Helsinki.

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 2/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 3/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 4/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöministeriö, Helsinki 2016

Liite 1. Voimaloiden ja reseptoripisteiden LP1-LP17 koordinaatit

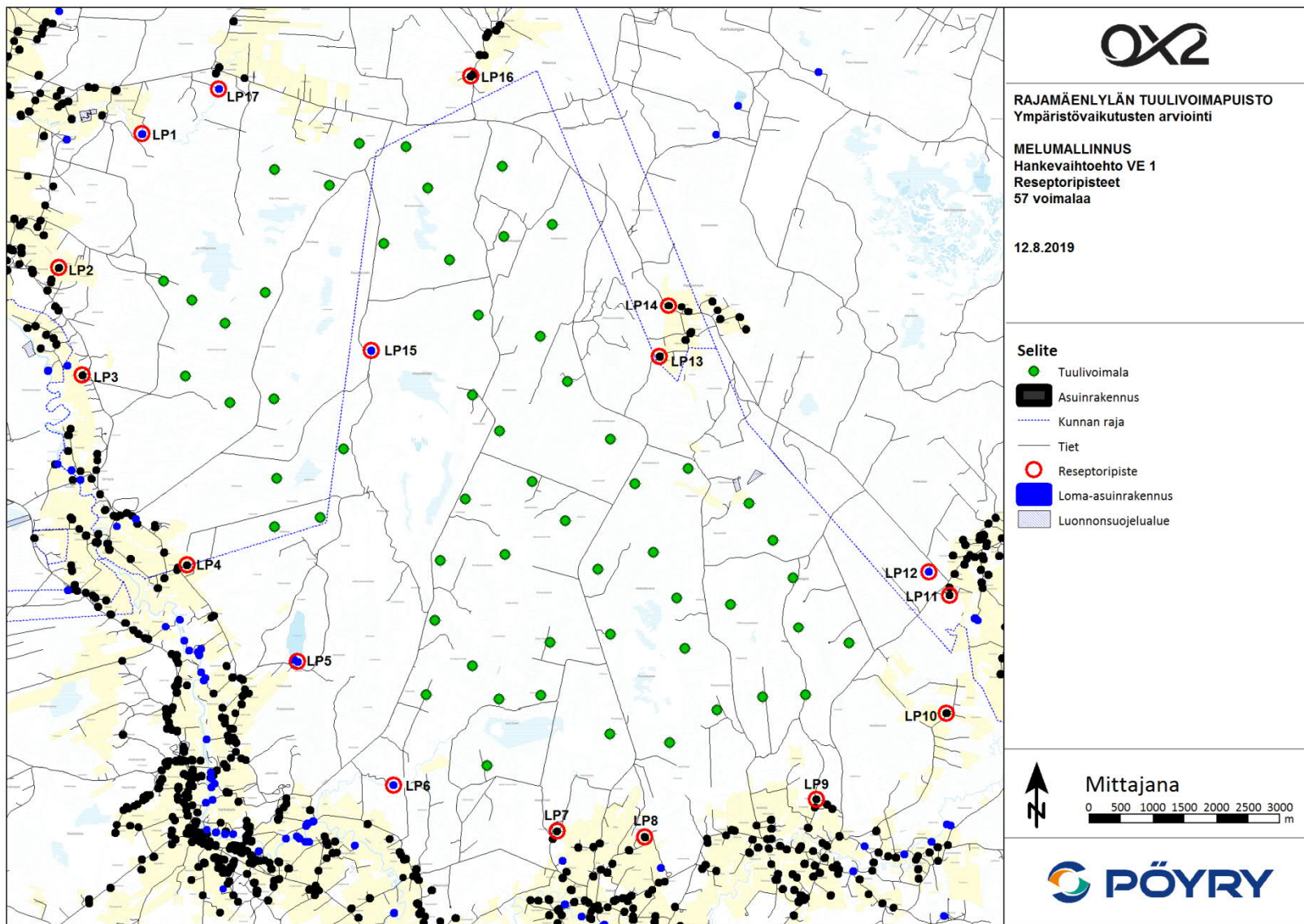
Tuulivoimaloiden koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa. Z-koordinaatti kuvaa maanpinnan korkeutta. Hankevaihtoehto 57 voimalaa.

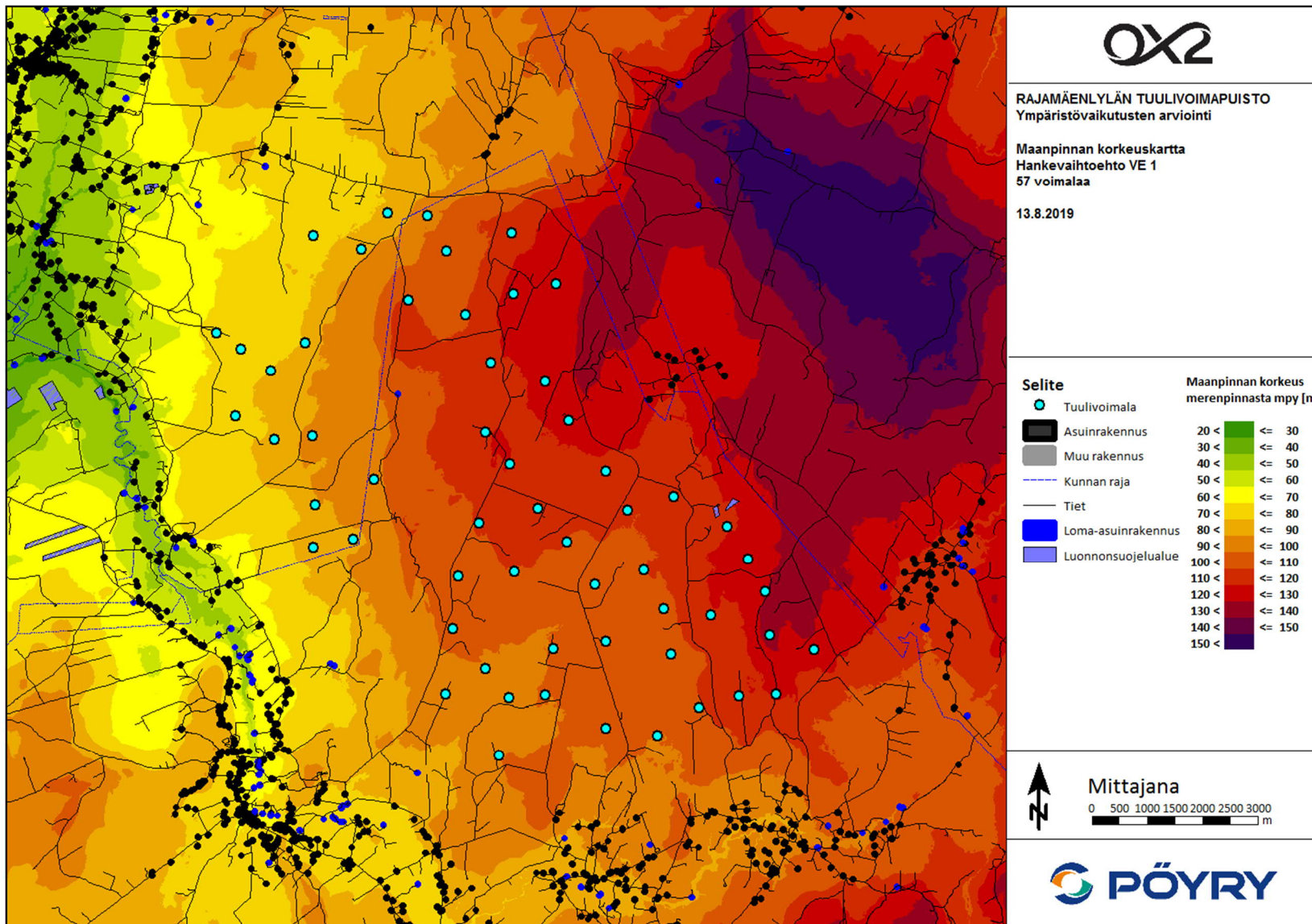
Tuulivoimala nro	x	y	z	Napakorkeus
1	231779	6916690	81,39	200m
2	230445	6916283	75,78	200m
3	232506	6916637	96,99	200m
4	232162	6915124	109,43	200m
5	238266	6910464	122,35	200m
6	233646	6913993	115,32	200m
7	232849	6915997	104,26	200m
8	235038	6912950	123,37	200m
9	233436	6911110	110,45	200m
10	235711	6912050	117,3	200m
11	237889	6911044	118,21	200m
12	233547	6912737	117,16	200m
13	235007	6910771	109,43	200m
14	234485	6911380	113,85	200m
15	236101	6911349	111,61	200m
16	236388	6910269	108,36	200m
17	236933	6911589	112,39	200m
18	233784	6906926	97,81	200m
19	234770	6908846	101,95	200m
20	236645	6907278	99,94	200m
21	233980	6912172	119,7	200m
22	229746	6912620	86,5	200m
23	232826	6908028	96,25	200m
24	237601	6909455	117,48	200m
25	232962	6909210	102,51	200m
26	238577	6909871	130,5	200m
27	233547	6908484	97,36	200m
28	234625	6908023	100,71	200m
29	238102	6907995	114,51	200m
30	239462	6908837	124,14	200m
31	238778	6908033	121,27	200m
32	238664	6909091	133,22	200m
33	236756	6909558	107,01	200m

Tuulivoimala nro	x	y	z	Napakorkeus
34	236885	6908752	104,98	200m
35	228706	6914536	73,94	200m
36	229147	6914240	76,23	200m
37	230300	6914354	81,42	200m
38	229044	6913039	76,82	200m
39	230447	6910678	82,01	200m
40	231159	6910818	87,21	200m
41	231305	6916032	82,82	200m
42	234021	6916331	114,44	200m
43	234041	6915233	126,75	200m
44	233190	6914871	109,79	200m
45	230484	6911436	86,78	200m
46	230436	6912677	92,79	200m
47	235710	6907420	101,8	200m
48	233971	6907961	97,22	200m
49	234065	6910241	108,25	200m
50	234617	6913656	123,19	200m
51	233047	6910148	106,5	200m
52	234807	6915422	127,68	200m
53	231530	6911891	95,78	200m
54	229672	6913858	80,26	200m
55	235516	6910008	104,55	200m
56	235713	6908975	106,39	200m
57	237384	6907790	107,22	200m

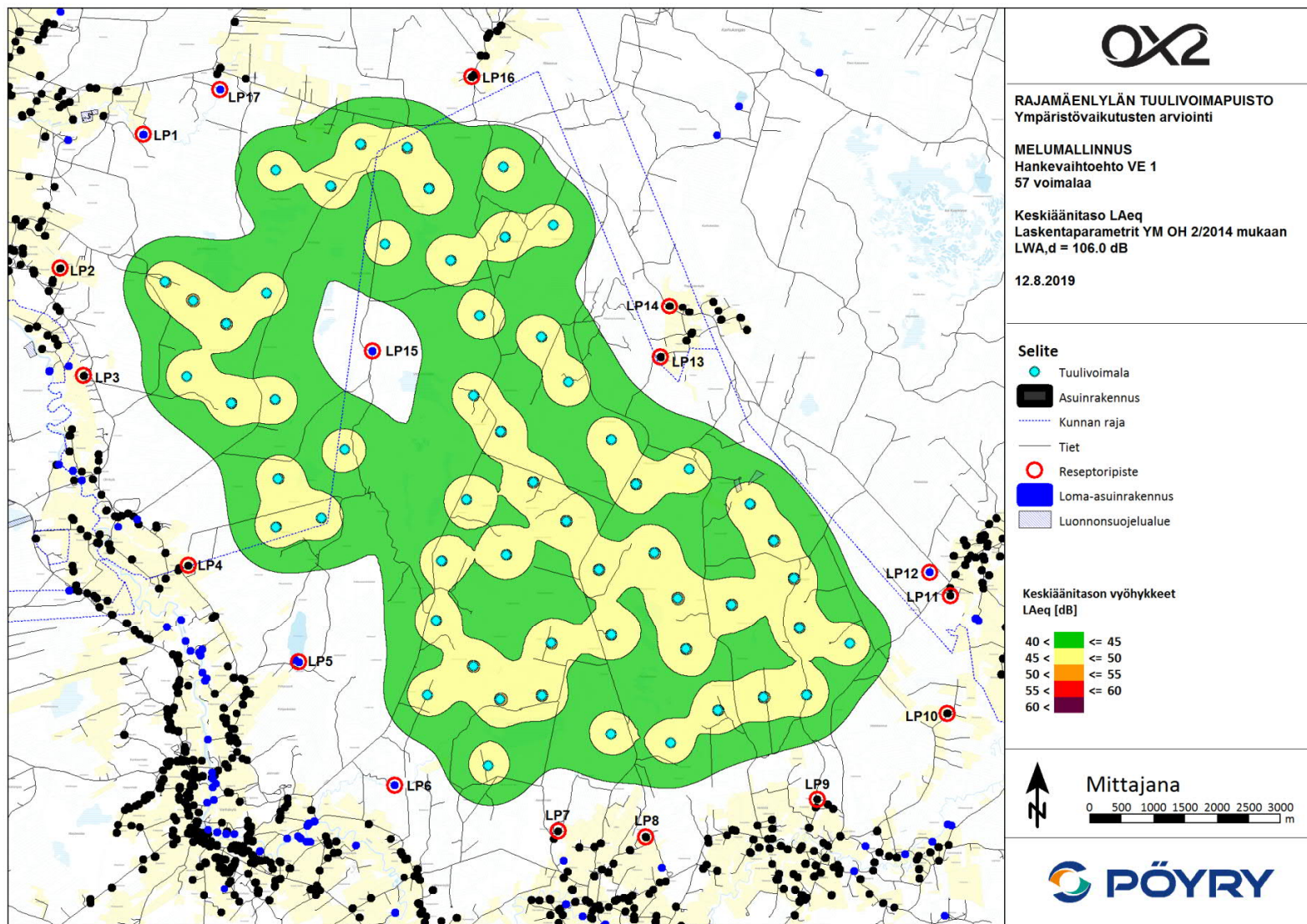
Reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN. Z-koordinaatti kuvaa maanpinnan korkeutta.

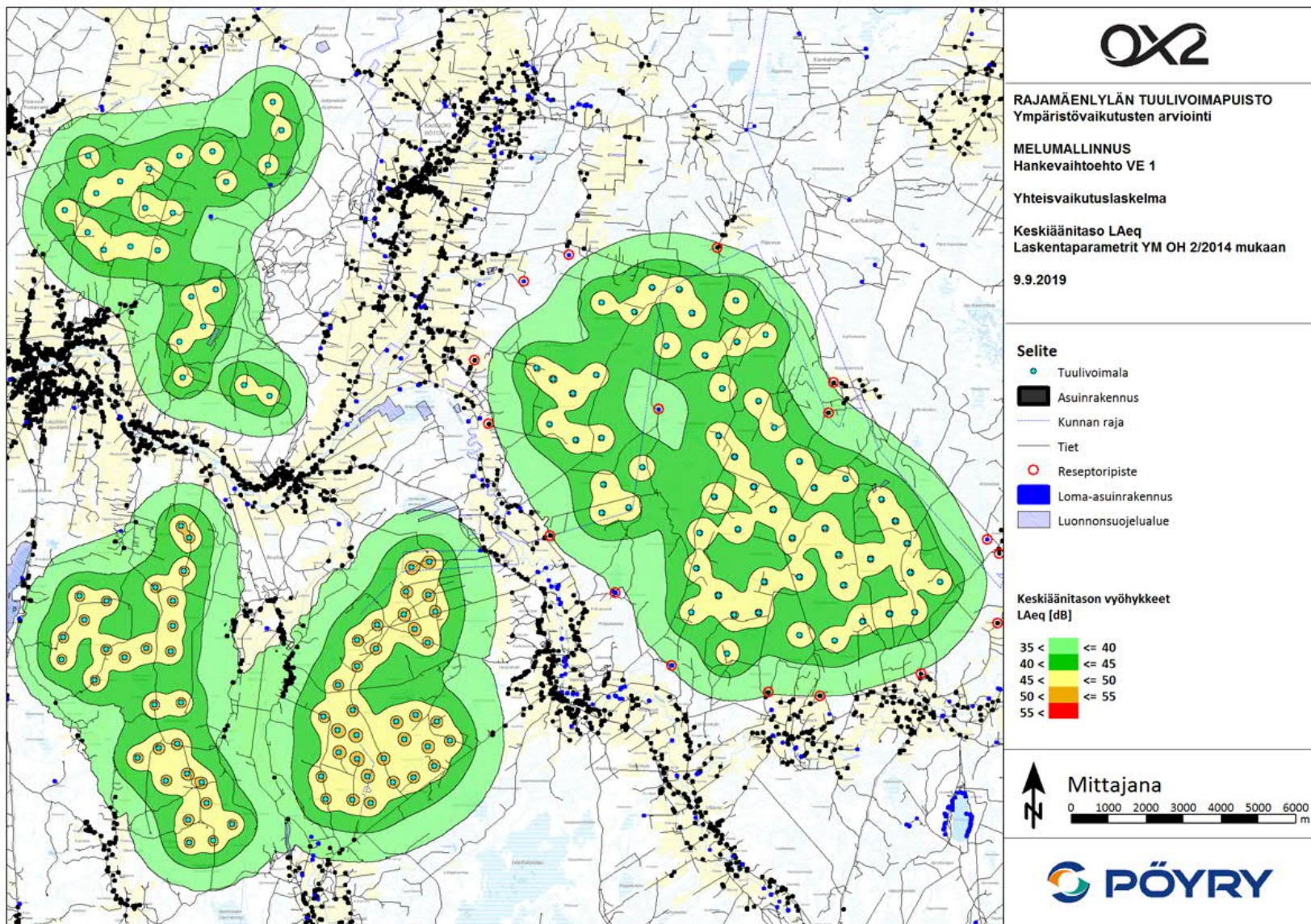
Reseptoripisteen nro	Käyttötarkoitus	x	y	z	Laskentakorkeus maanpinnalta
LP1	loma-asuinrakennus	228366,00	6916842,00	63,53	4m
LP2	asuinrakennus	227059,10	6914744,40	49,40	4m
LP3	asuinrakennus	227431,26	6913049,04	47,94	4m
LP4	asuinrakennus	229071,33	6910075,43	60,67	4m
LP5	loma-asuinrakennus	230807,25	6908548,42	77,19	4m
LP6	loma-asuinrakennus	232311,71	6906618,65	84,83	4m
LP7	asuinrakennus	234876,00	6905898,00	97,88	4m
LP8	asuinrakennus	236251,89	6905806,10	92,80	4m
LP9	asuinrakennus	238942,70	6906397,70	100,01	4m
LP10	asuinrakennus	240983,10	6907745,40	107,70	4m
LP11	asuinrakennus	241032,20	6909601,80	117,60	4m
LP12	loma-asuinrakennus	240708,00	6909968,00	126,70	4m
LP13	asuinrakennus	236486,00	6913342,00	121,70	4m
LP14	asuinrakennus	236623,40	6914146,70	123,90	4m
LP15	loma-asuinrakennus	231961,00	6913436,00	103,70	4m
LP16	asuinrakennus	233521,40	6917746,20	95,30	4m
LP17	loma-asuinrakennus	229571,20	6917547,50	73,00	4m





Liite 2. Melumallinnuskartta, 57 voimalaa sekä yhteisvaikutuslaskelma (144 voimalaa)





Liite 3. Pientaajuisen melun laskentatulokset reseptoripisteissä LP1-LP17

Pientaajuisen melun yksityiskohtaiset laskentatulokset ulkona, Leq [dB]

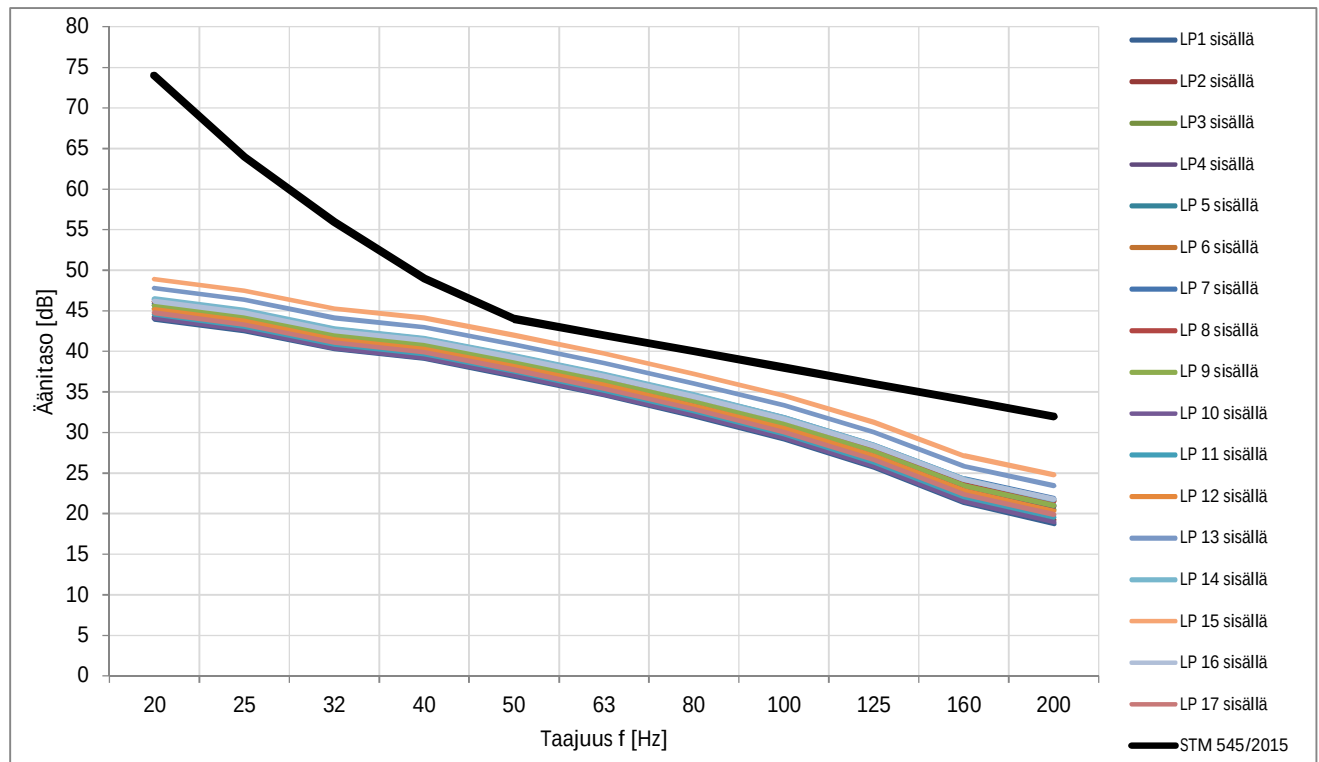
Reseptori nro	Taajuus [Hz]										
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
LP1	50,0	48,5	47,3	46,1	44,9	43,6	42,0	40,2	37,7	34,3	32,8
LP2	50,3	48,8	47,6	46,4	45,2	43,9	42,3	40,5	38,1	34,8	33,2
LP3	51,2	49,8	48,6	47,4	46,3	44,9	43,4	41,6	39,2	36,0	34,5
LP4	51,7	50,2	49,0	47,8	46,7	45,4	43,8	42,0	39,6	36,4	34,9
LP5	51,9	50,5	49,3	48,1	46,9	45,6	44,1	42,3	39,9	36,6	35,0
LP6	52,2	50,7	49,5	48,3	47,2	45,9	44,4	42,6	40,2	37,0	35,6
LP7	52,4	50,9	49,7	48,5	47,4	46,1	44,6	42,8	40,5	37,3	35,8
LP8	52,1	50,7	49,4	48,3	47,1	45,8	44,3	42,5	40,2	37,0	35,5
LP9	51,6	50,2	49,0	47,8	46,7	45,4	43,8	42,0	39,7	36,5	35,0
LP10	50,1	48,7	47,4	46,2	45,1	43,7	42,2	40,3	37,9	34,5	33,0
LP11	50,6	49,1	47,9	46,7	45,5	44,2	42,6	40,8	38,4	35,1	33,5
LP12	51,2	49,7	48,5	47,3	46,2	44,8	43,3	41,5	39,1	35,8	34,3
LP13	53,8	52,4	51,1	50,0	48,9	47,6	46,1	44,3	42,0	38,9	37,5
LP14	52,5	51,0	49,8	48,6	47,5	46,2	44,7	42,9	40,5	37,2	35,7
LP15	54,9	53,5	52,3	51,1	50,0	48,7	47,2	45,5	43,3	40,2	38,8
LP16	52,2	50,8	49,5	48,4	47,2	45,9	44,4	42,7	40,3	37,2	35,8
LP17	50,8	49,3	48,1	46,9	45,7	44,4	42,9	41,1	38,6	35,4	33,9

Pientaajuisen melun yksityiskohtaiset laskentatulokset sisällä, Leq [dB]

Reseptori nro	Taajuus [Hz]										
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
LP1	44,0	42,5	40,3	39,1	36,9	34,6	32,0	29,2	25,7	21,3	18,8
LP2	44,3	42,8	40,6	39,4	37,2	34,9	32,3	29,5	26,1	21,8	19,2
LP3	45,2	43,8	41,6	40,4	38,3	35,9	33,4	30,6	27,2	23,0	20,5
LP4	45,7	44,2	42,0	40,8	38,7	36,4	33,8	31,0	27,6	23,4	20,9
LP5	45,9	44,5	42,3	41,1	38,9	36,6	34,1	31,3	27,9	23,6	21,0
LP6	46,2	44,7	42,5	41,3	39,2	36,9	34,4	31,6	28,2	24,0	21,6
LP7	46,4	44,9	42,7	41,5	39,4	37,1	34,6	31,8	28,5	24,3	21,8
LP8	46,1	44,7	42,4	41,3	39,1	36,8	34,3	31,5	28,2	24,0	21,5
LP9	45,6	44,2	42,0	40,8	38,7	36,4	33,8	31,0	27,7	23,5	21,0

Reseptori nro	Taajuus [Hz]										
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
LP10	44,1	42,7	40,4	39,2	37,1	34,7	32,2	29,3	25,9	21,5	19,0
LP11	44,6	43,1	40,9	39,7	37,5	35,2	32,6	29,8	26,4	22,1	19,5
LP12	45,2	43,7	41,5	40,3	38,2	35,8	33,3	30,5	27,1	22,8	20,3
LP13	47,8	46,4	44,1	43,0	40,9	38,6	36,1	33,3	30,0	25,9	23,5
LP14	46,5	45,0	42,8	41,6	39,5	37,2	34,7	31,9	28,5	24,2	21,7
LP15	48,9	47,5	45,3	44,1	42,0	39,7	37,2	34,5	31,3	27,2	24,8
LP16	46,2	44,8	42,5	41,4	39,2	36,9	34,4	31,7	28,3	24,2	21,8
LP17	44,8	43,3	41,1	39,9	37,7	35,4	32,9	30,1	26,6	22,4	19,9

Leq tulokset sisällä, kuvaaja [dB]



Liite 4. Pientaajuisen melun laskentatulokset reseptoripisteissä LP1-LP17 yhteisvaikutuslaskelmassa

Pientaajuisen melun yksityiskohtaiset laskentatulokset ulkona, yhteisvaikutuslaskelma, Leq [dB]

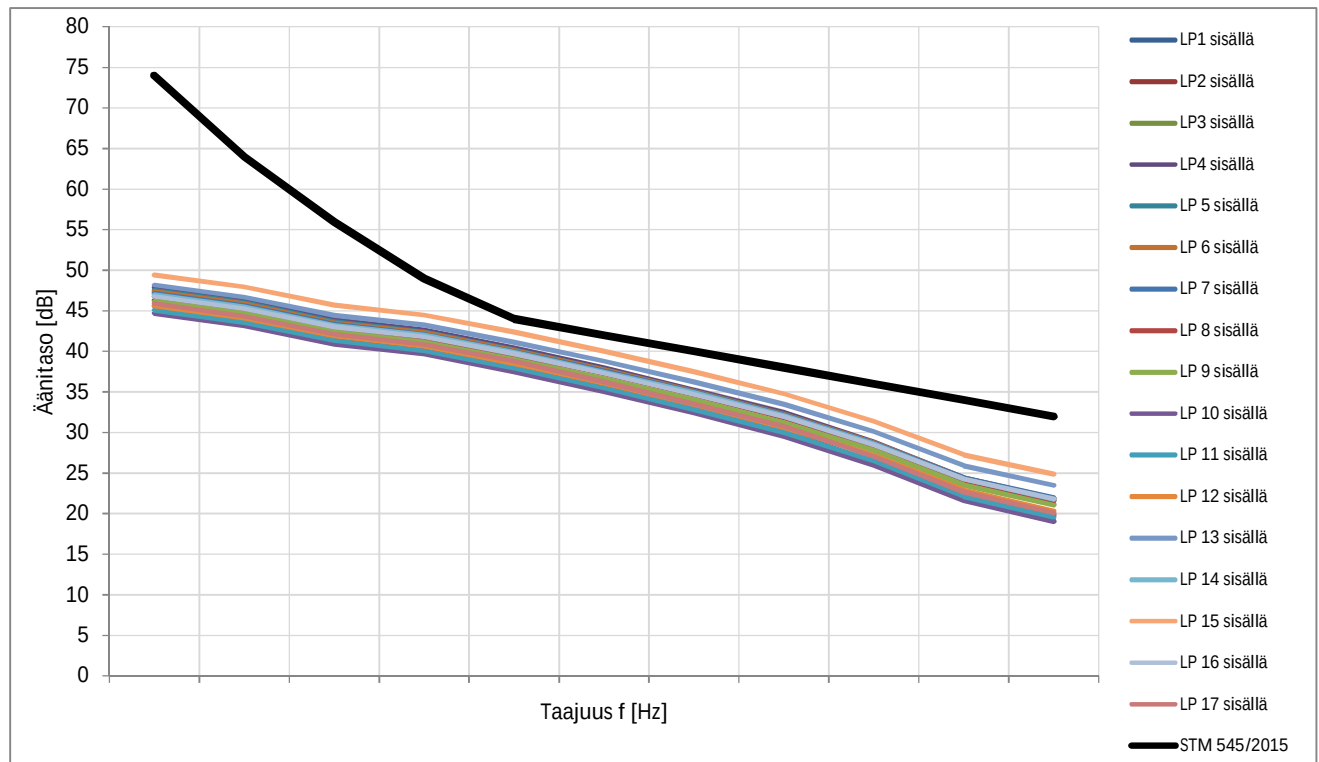
Reseptori nro	Taajuus [Hz]										
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
LP1	51,6	50,0	48,8	47,4	46,5	44,8	43,0	41,3	38,3	34,8	33,1
LP2	52,3	50,7	49,4	48,1	47,1	45,4	43,7	42,0	39,0	35,5	33,8
LP3	53,2	51,7	50,3	49,0	48,0	46,4	44,7	42,9	40,2	36,8	35,2
LP4	53,9	52,3	50,9	49,6	48,5	47,0	45,2	43,4	40,8	37,4	35,8
LP5	53,6	52,0	50,7	49,4	48,2	46,8	45,1	43,2	40,7	37,2	35,6
LP6	53,4	51,9	50,5	49,3	48,1	46,7	45,1	43,2	40,8	37,4	35,9
LP7	53,1	51,6	50,3	49,1	48,0	46,6	45,0	43,2	40,7	37,5	36,0
LP8	52,8	51,3	50,0	48,8	47,6	46,2	44,6	42,8	40,4	37,1	35,6
LP9	52,2	50,7	49,4	48,2	47,0	45,6	44,0	42,2	39,8	36,5	35,0
LP10	50,7	49,2	47,9	46,7	45,5	44,1	42,4	40,5	38,0	34,6	33,0
LP11	51,1	49,6	48,3	47,1	45,9	44,5	42,9	41,0	38,5	35,1	33,6
LP12	51,6	50,1	48,9	47,6	46,5	45,1	43,5	41,6	39,2	35,9	34,4
LP13	54,2	52,7	51,4	50,3	49,1	47,8	46,2	44,5	42,1	38,9	37,5
LP14	53,0	51,5	50,2	49,0	47,9	46,5	44,9	43,1	40,6	37,3	35,7
LP15	55,4	53,9	52,7	51,5	50,4	49,0	47,5	45,8	43,4	40,3	38,9
LP16	52,8	51,3	50,0	48,8	47,7	46,3	44,7	42,9	40,5	37,3	35,8
LP17	51,9	50,3	49,1	47,8	46,8	45,2	43,5	41,8	39,0	35,6	34,1

Pientaajuisen melun yksityiskohtaiset laskentatulokset sisällä, yhteisvaikutuslaskelma, Leq [dB]

Reseptori nro	Taajuus [Hz]										
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
LP1	45,6	44,0	41,8	40,4	38,5	35,8	33,0	30,3	26,3	21,8	19,1
LP2	46,3	44,7	42,4	41,1	39,1	36,4	33,7	31,0	27,0	22,5	19,8
LP3	47,2	45,7	43,3	42,0	40,0	37,4	34,7	31,9	28,2	23,8	21,2
LP4	47,9	46,3	43,9	42,6	40,5	38,0	35,2	32,4	28,8	24,4	21,8
LP5	47,6	46,0	43,7	42,4	40,2	37,8	35,1	32,2	28,7	24,2	21,6
LP6	47,4	45,9	43,5	42,3	40,1	37,7	35,1	32,2	28,8	24,4	21,9
LP7	47,1	45,6	43,3	42,1	40,0	37,6	35,0	32,2	28,7	24,5	22,0
LP8	46,8	45,3	43,0	41,8	39,6	37,2	34,6	31,8	28,4	24,1	21,6
LP9	46,2	44,7	42,4	41,2	39,0	36,6	34,0	31,2	27,8	23,5	21,0

Reseptori nro	Taajuus [Hz]										
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
LP10	44,7	43,2	40,9	39,7	37,5	35,1	32,4	29,5	26,0	21,6	19,0
LP11	45,1	43,6	41,3	40,1	37,9	35,5	32,9	30,0	26,5	22,1	19,6
LP12	45,6	44,1	41,9	40,6	38,5	36,1	33,5	30,6	27,2	22,9	20,4
LP13	48,2	46,7	44,4	43,3	41,1	38,8	36,2	33,5	30,1	25,9	23,5
LP14	47,0	45,5	43,2	42,0	39,9	37,5	34,9	32,1	28,6	24,3	21,7
LP15	49,4	47,9	45,7	44,5	42,4	40,0	37,5	34,8	31,4	27,3	24,9
LP16	46,8	45,3	43,0	41,8	39,7	37,3	34,7	31,9	28,5	24,3	21,8
LP17	45,9	44,3	42,1	40,8	38,8	36,2	33,5	30,8	27,0	22,6	20,1

Leq tulokset sisällä, yhteisvaikutuslaskelma , kuvaaja [dB]



Liite 5. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT									
Mallinnusraportin numero/tunniste:					Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 9.9.2019				
Laatija: DI Carlo Di Napoli, Pöyry Finland Oy					Hyväksyjä: Ella Kilpeläinen, Pöyry Finland Oy				
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT									
Mallinnusohjelma ja versio: SoundPlan v.8.0					Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2				
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)									
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas V162 taajuudet					Nimellisteho: 5,6 MW				
Roottorin halkaisija: 200m					Napakorkeus: 200m				
Lukumäärä: 57 kpl					Tornityyppi: Ei tiedossa, mahdollisesti haruksilla				
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB									
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT									
Melupäästötiedot (tunnusarvo LWA,d):									
Luottamuksellisia: Kyllä, vain viranomaiskäyttöön. Viranomaiselle voidaan pyydettyäessä toimittaa myös 1/3 oktaavikaistatiedot									
Oktaaveittain [Hz]									
LWA [dB]	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
106 dB	75,0	85,4	92,8	97,3	99,1	98,0	93,9	87,2	77,5
Melun erityispiirteet									
Kapeakaistaisuus: Ei			Impulssimaisuus: Ei			Korkeuserokorjaus: Ei			
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT									
Laskentakorkeus: 4 m			Suhteellinen kosteus: 70%			Lämpötila: 15 °C			
Tuulensuunta: Myötätuuli joka suuntaan									
Maastomallin lähde: MML, 2019			Maanpinnan pystyresoluutio: 0.5 m / laserkeilausaineisto						
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet									
Vesialueet:			Maa-alueet:			Muut alueet (mitkä?)			
0			0.4			Laajat kallioalueet: 0			
Pientaajuisten melulaskennan julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti DL ₉₀ asuin- ja loma-asuinrakennuksille:									

1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz dB

20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz
6 dB	6 dB	7 dB	7 dB	8 dB	9 dB	10 dB	11 dB	12 dB	13 dB	14 dB

LASKENTATULOKSET

Laskentavaihtoehdot: **1 kpl**

Laskentakartat: **1 kpl**

Laskentavyöhykkeet [dB]: **3 kpl: 40 dB, 45 dB, 50 dB**

Pientaajuisen melun laskentataulukot: **1 kpl**

Reseptoripisteet: **17 kpl, LP1-LP17**

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: **Kaikki tulokset alle asumisterveysasetuksen**