



# Luolakankaan tuulivoimahanke, melumallinnus ympäristönvaikutusarviointia varten

Asiakas: Pohjan Voima Oy

Projektinumero: 101017675-001-MELUMALLINNUS





Pvm.

30/3/2023

Projektiviite

101017675-001-MELUMALLINNUS

Asiakas

**Pohjan Voima Oy**

**Luolakankaan tuulivoimahanke, melumallinnus ympäristönvai-  
kutusarviointia varten**

**TEKNINEN RAPORTTI**



## Sisällys

1	Johdanto .....	7
1.1	Ympäristömelu.....	7
1.2	Tuulivoimamelu.....	8
1.3	Vertailuohjeavot.....	10
1.4	Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa.....	11
2	Lähtötiedot ja arviointimenetelmät .....	12
2.1	Digitaalikartta-aineisto .....	12
2.2	Mallinnettu tuulivoimalamalli .....	12
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit.....	13
2.4	Melumallinnuksen laskentaparametrit .....	14
2.5	Pientaajuisten melun laskenta .....	17
3	Melumallinnustulokset .....	19
3.1	Melun nykytila .....	19
3.2	Ulkomelumallinnus .....	19
3.2.1	Hankevaihtoehto VE1 .....	19
3.2.2	Yhteismelumallinnuksen laskentatulokset.....	21
3.3	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa.....	22
3.4	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen .....	24
4	Vaikutusten seuranta .....	24
5	Lähteet .....	25

## Liitteet

Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit melumallinnuksen ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa

Liite 2. Pientaajuisten melun numeeriset tulokset ulkona

Liite 3. Pientaajuisten melun numeeriset tulokset sisällä

Liite 4. Melumallinnuskuva, hankevaihtoehto VE1



Liite 5. Melumallinnuskuva, yhteisvaikutuslaskelma

Liite 6. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

Kuvat ja taulukot

Kuva 1-1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.....	9
Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjearvot, LAeq .....	10
Taulukko 1-2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015). .....	11
Taulukko 1-3. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq, 1 h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07. ....	12
Kuva 2-1. Luolakankaan hankevaihtoehdon VE1 tuulivoimaloiden sijainnit ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R12 sijainnit .....	13
Kuva 2-2. Luolakankaan hankevaihtoehdon VE1 ja Harsunlehdon tuulivoimaloiden sijainnit yhteismelumallinnuksessa ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R12 sijainnit .....	14
Kuva 2-2. Maaston topografian korkeusvaihtelu Luolakankaan hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m. ....	16
Taulukko 2-1. Melun leviämislaskennan parametrit .....	16
Kuva 2-3. Pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatit DL84% ja DL90% (Keränen et al., 2017, 2019) .....	18
Kuva 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 meluvyöhykkeet .....	20
Taulukko 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 melumallinnuksen reseptoripistetulokset .....	20
Kuva 3-2. Yhteismelumallinnuksen meluvyöhykkeet .....	21



Taulukko 3-2. Yhteismelumallinnuksen reseptoripistetulokset .....	21
Kuva 3-2. Pientaajuisen melulaskennan tulokset, hankevaihtoehto VE1 .....	23
Kuva 3-3. Pientaajuisen melulaskennan tulokset, yhteismelumallinnus .....	23
Kuva 3-4. Esimerkki tuulivoimalan siiven jättöreunan sahalaidoituksesta (Delft University of Technology, 2017) .....	24
Kuva 4-1.(a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta $fT$ ja ääneksen erottuvuudesta $AT$ . (b) Amplitudimoduloidun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta $f_m$ ja modulaatiosyvyydestä $D_m$ . (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta $R_{on}$ ja tasoerosta $DL$ (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykinnän sanktiomenettelyä.....	25



## Tiivistelmä

Pohjan Voima Oy suunnittelee Luolakankaan tuulipuiston rakentamista Kajaanin kunnan alueille. Hankealue sijaitsee noin 40 km Kajaanin keskustasta lounaaseen ja noin 4,5 km Otanmäen taajamasta lounaaseen.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön ja tämä tekninen melumallinnusraportti on valmisteltu Luolakankaan tuulivoimapuiston ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten.

Mallinnus suoritettiin voimalamallille Nordex N163 5,7MW, jonka äänipäästön A-painotetuksi arvoksi  $L_{WA}$  on esitetty valmistajan dokumentaatioissa 109,2 dB. Voimalamalli on ilman siiven jättöreunan serraatioita. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä Luolakankaan alueella on hankevaihtoehdossa VE1 7 voimalaa. Äänipäästön varmuusarvona käytetään  $K = +2$  dB.

YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvo ei ylitä hankevaihtoehdossa VE1. Lähimmissä reseptoripisteissä alitetaan myös 36 dB:n keskiäänitaso  $L_{Aeq}$ , vaikka laskennassa on käytetty +2 dB:n varmuusarvoa.

Yhteismelumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvo ei ylitä ja lähimmissä reseptoripisteissä alitetaan myös 36 dB:n keskiäänitaso  $L_{Aeq}$ , vaikka laskennassa on käytetty +2 dB:n varmuusarvoa.

YM:n ohjeen mukaisen pientaajuisen (20-200Hz) melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat Luolakankaan hankevaihtoehdossa VE1 ja yhteisvaikutuslaskennassa huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoista DL84% sekä DL90% ja äänipäästön varmuusarvosta. Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta, että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus toimenpiderajan alittamiseksi olisi vain noin 7 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa jo varsin kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella.

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin teknisillä ratkaisuilla. Rakentamisen jälkeisiä



meluvaikutuksia voidaan tarvittaessa seurata mittauksin, joista ohjeistetaan mm. ympäristöministeriön oppaissa YM OH 3-4/2014 sekä Anojanssi -tutkimushankkeen tuloksena syntyneissä korjauskäyrissä.



## 1 Johdanto

Pohjan Voima Oy suunnittelee Luolakankaan tuulipuiston rakentamista Kajaanin kunnan alueille. Hankealue sijaitsee noin 40 km Kajaanin keskustasta lounaaseen ja noin 4,5 km Otanmäen taajamasta lounaaseen.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Tämä tekninen melumallinnusraportti on valmisteltu Luolakankaan tuulivoimapuiston ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten. Hankkeen ympäristövaikutusarvioinnissa melua käsitellään omana kappaleenaan, jossa käydään läpi hankkeen meluvaikutukset ihmisiin ja ympäröivään luontoon. Hankkeen melumallinnuksessa tarkastellaan yhden toteutusvaihtoehdon (VE1) melun leviämistä alueen ympäristöön.

### 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 fyysikaalisten ominaisuuksien perusteella.

Ympäristömelu koostuu ihmisen toiminnan aiheuttamasta melusta, joka vaihtelee ajan ja paikan mukaan. Äänen voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle käytetään referenssipainetta 20 µPa ilmalle sekä 1 µPa muille aineille. Tällöin 1 Pa:n paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä. (ISO 226:2003). Vertailun vuoksi ilmanpaineen normaaliarvo merenpinnalla on 101 325 Pa.

Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, häiritsevyyt sekä kiusallisuus. Nämä tekijät



on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen.

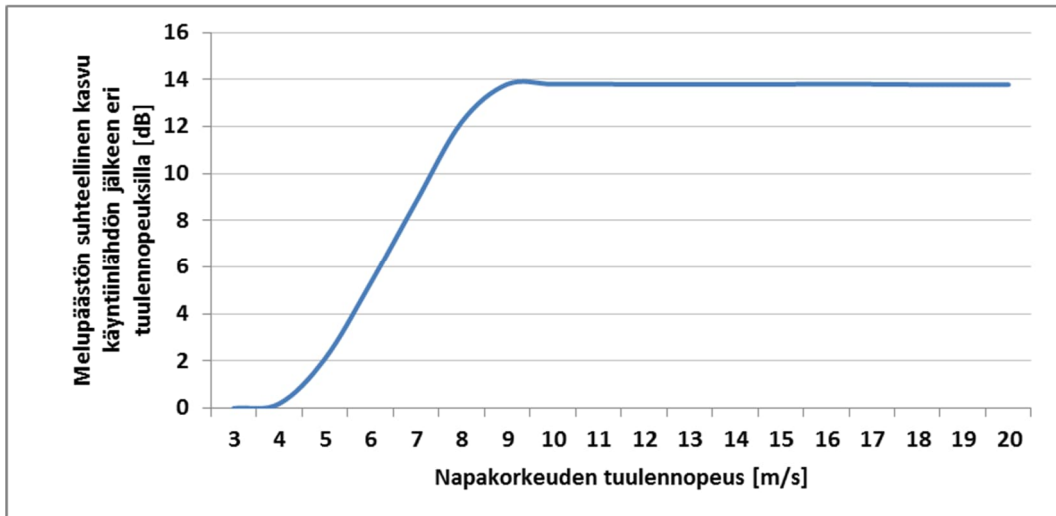
Melun ekvivalenttitaso, minkä symboli on  $L_{eq}$  ja A-taajuuspainotettuna  $L_{Aeq}$ , tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasoa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso.

## 1.2 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 tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiä nopeutta, lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (ks. Kuva 1-1).



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

Äänipäästön LWA huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoiääntä äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan (ks. Kuva 1-1).

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 laajakaistais-ta ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemukseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle (Halstead, D. Tam, N., 2019).

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran 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 modernin voimalan napakorkeudella 150 m (G.P. van den Berg, 2006).



Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulen suunnan 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 sahalaidoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–4 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän jättöreunan serraatioiden (sahalaidoituksen) tuotekehityksen johdosta (Arce León, C., 2017).

### 1.3 Vertailuohjearvot

Valtioneuvosto asetus 1107/2015 tuulivoimamelun ohjearvoista tuli voimaan 1.9.2015. Oheisessa taulukossa on esitetty uuden asetuksen mukaiset keskiäänitason ohjearvot LAeq tuulivoimamelulle päivällä ja yöllä.

*Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjearvot, LAeq*

Tuulivoimamelun ohjearvot	LAeq päiväajalle (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 asetuksen 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) tulee pysyä annetun päiväajan ohjearvon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun



yöajan ohjearvon mukaisena. (Ympäristöministeriö, 2016). Melumallinnuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita, vaan melun leviämislaskennan tulosvertailu tehdään vain yöajan alempaan 40 dB:n ohjearvoon nähden.

#### 1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetus 545/2015 asettaa sisätilojen äänitasoille toimenpiderajat erityisesti yöajan äänitasoille nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa sekä pientaajuisen melulle taajuuks välillä 20–200Hz.

*Taulukko 1-2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).*

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 (25 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>		
<i>asiakkaiden vastaanototilat ja toimistohuoneet</i>	45 dB	-

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



*Taulukko 1-3. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason  $L_{eq}$ , 1 h 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
$L_{eq}$ , 1 h	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

## 2 Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

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

### 2.1 Digitaalikartta-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0,3 m ja vaakasuuntainen etäisyys 2m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten paikkatiedot sekä niiden käyttötarkoitus siten kuin se on esitetty Maanmittauslaitoksen aineistossa raportin teon aikana. Lisäksi kartassa esitetään teiden ja kuntarajan paikkatiedot. Maa-alueille akustinen kovuuskerroin on YM:n ohjeen mukaisesti 0,4 ja vesialueille 0.

### 2.2 Mallinnettu tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin voimalamallille Nordex N163 5,7MW, jonka äänipäästön A-painotetuksi arvoksi  $L_{WA}$  on esitetty valmistajan dokumentaatioissa 109,2 dB. Voimalamalli on ilman siiven jättöreunan serraatioita. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä Luolakankaan alueella hankevaihtoehdossa VE1 on 7 voimalaa. Äänipäästön varmuusarvona käytetään  $K = +2$  dB Ympäristöministeriön muistion YM9/5511/2016 mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2016). Siten mallinnettu A-taajuuspainotettu äänipäästö kokonaisuudessaan varmuusarvo huomioiden on 111,2 dB.

Mallinnetun voimalan napakorkeudeksi on valittu 200 m, joka on kaavan salliman kokonaiskorkeuden 300 m alapuolella, kun siipien kärkiväliksi oletetaan 163 m.

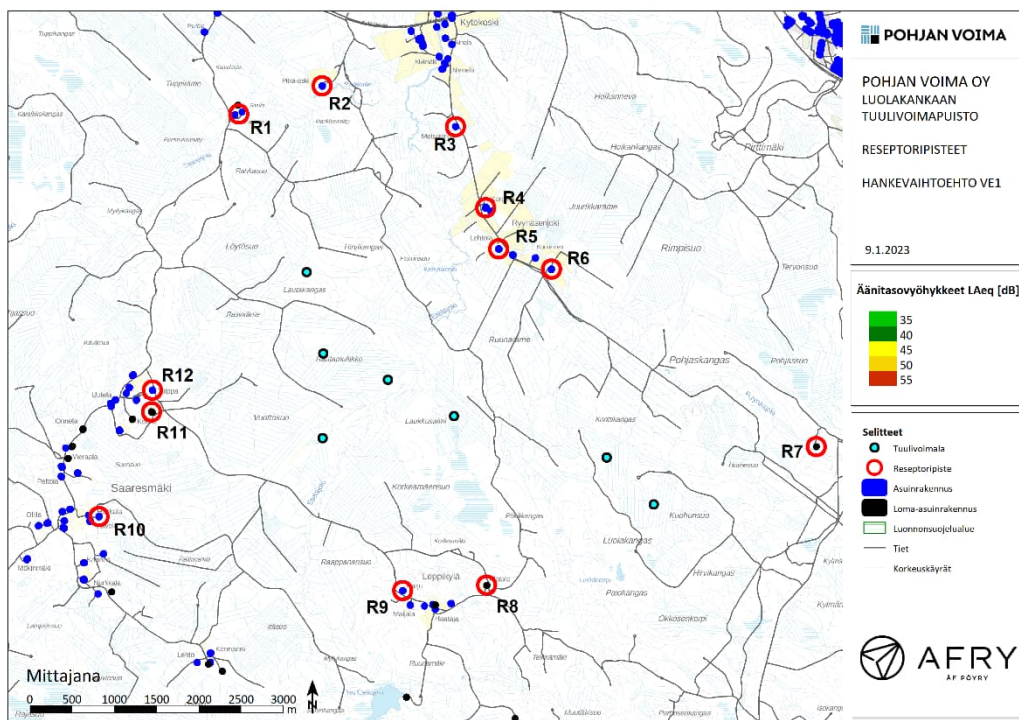


Yhteisvaikutusarvioinnin melumallissa käytetään Harsunlehdon viidelle voimalalle mallia Siemens-Gamesa SG-170 6,0MW, jolle äänipäästöarvo  $L_{WA}$  on 106 dB ja äänipäästön varmuusarvo +2 dB.

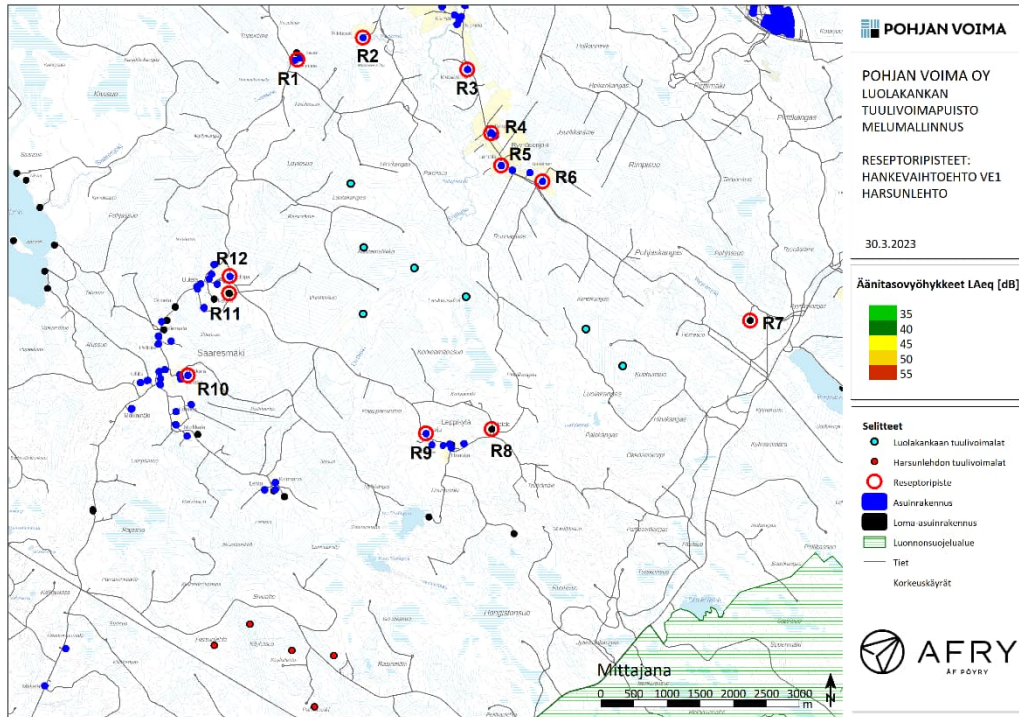
Mallinnusten äänipäästön taajuusjakauman lähtötietoina on käytetty jakaumaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 10 Hz–10 000 Hz.

### 2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden hankevaihtoehdojen, lähimpien reseptoripisteiden R1-R12 sekä asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



Kuva 2-1. Luolakankaan hankevaihtoehdon VE1 tuulivoimaloiden sijainnit ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R12 sijainnit.



Kuva 2-2. Luolakankaan hankevaihtoehdon VE1 ja Harsunlehdon tuulivoimailoiden sijainnit yhteismelumallinnuksessa ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R12 sijainnit.

## 2.4 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v8.2. Mallinnusalgoritmina käytettiin standardia ISO 9613-2, jonka parametrsointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö 1/3 oktaavikaistan resoluutiolla, äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimenusvaikutukset. Mallinnus laskee tilanteen aina myötätuuliolosuhteeseen joka ilmansuuntaan.

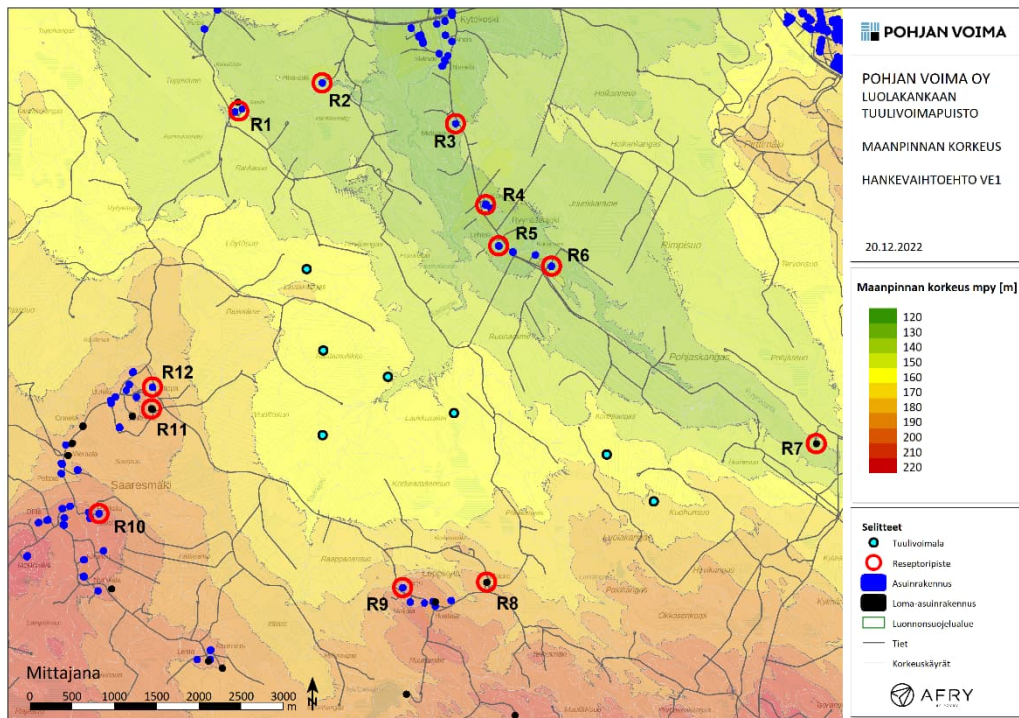
Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioiduilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 4 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.



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

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio  $G=0,4$  tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämisvaimentumista vähäisemmän maavaimennuksen johdosta.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa  $LWA/LWA,d$  joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättynä äänipäästöarvon varmuusarvolla  $K$ . Tieliikennemelussa se on vuotuinen keskivuorokausiliikenne  $KVL$  ilman epävarmuuksia. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää äänipäästöissä mm. laitteiden toiminta-aikojen aikakorjauksia, joita ei tuulivoimamelulaskennassa voi hyödyntää, vaikka tuulivoimala ei käy nimellisteholla kuin osan aikaa.

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



Kuva 2-3. Maaston topografian korkeusvaihtelu Luolakankaan hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.

Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa. Parametrit ovat ohjeen YM OH 2/2014 mukaisia.

Taulukko 2-1. Melun leviämislaskennan parametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Keskiäänitaso LAeq ulkona: ISO 9613-2. YM OH 2/2014 kpl 4.1 Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84%:n sekä 90%:n persentiilit (Keränen et al., 2017)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto ja maastotietokanta (© MML, 2022), topografian pystyresoluutiona on 0,3 m.



Lähtötieto	Parametrit
	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	n.12,5 m/s 200 m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10 m:n referenssikorkeudella maanpinnan karheudella 0,05 m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.2
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 10 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Häiritsevyysskorjaukset	ks. luku 4.
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4 m) korkeudella seuraten digitaaliskartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5 sekä 4.1.9)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

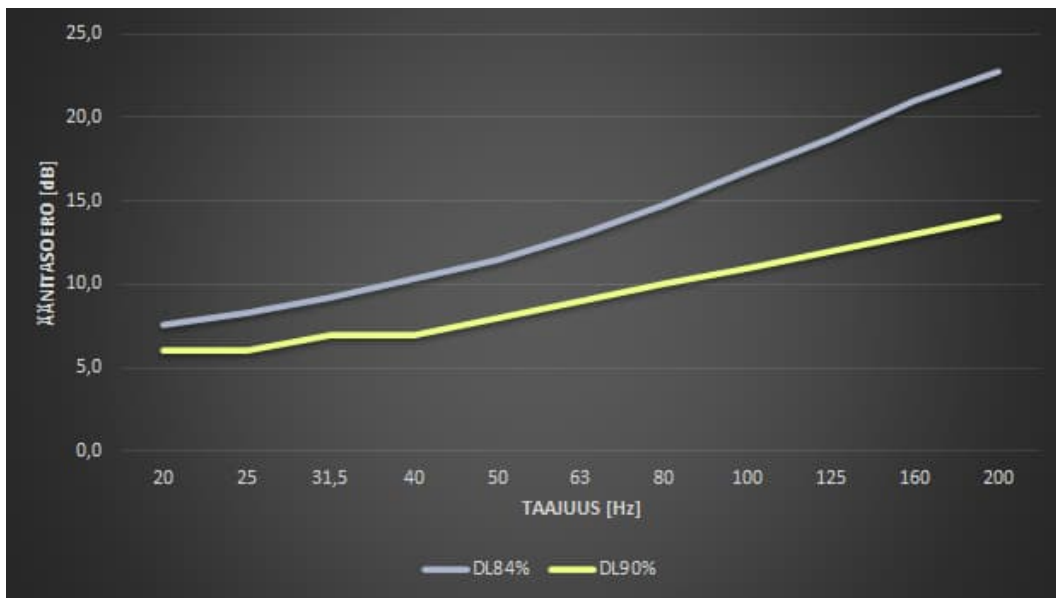
## 2.5 Pientaajuisten melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu lasketaan erillisenä taulukkolaskentana YM:n ohjeen mukaisilla laskentaparametreilla. Pientaajuisten melun leviämismuutuminen laskettiin käyttäen voimalan



painottamattomia äänipäästön tunnusarvon 1/3 oktaavi-kaistatietoja LW 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 persenttiarvona DL84% ja DL90%. (Keränen et al., 2017, 2019).



Kuva 2-4. Pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatit DL84% ja DL90% (Keränen et al., 2017, 2019).

Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa LAeq 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 ilmaäänieristykseen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.



### 3 Melumallinnustulokset

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen Luolakankaan voimaloista on esitetty kappaleessa 3.2 sekä suurempina kuvina liitteissä 4-5. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteissä 2-3.

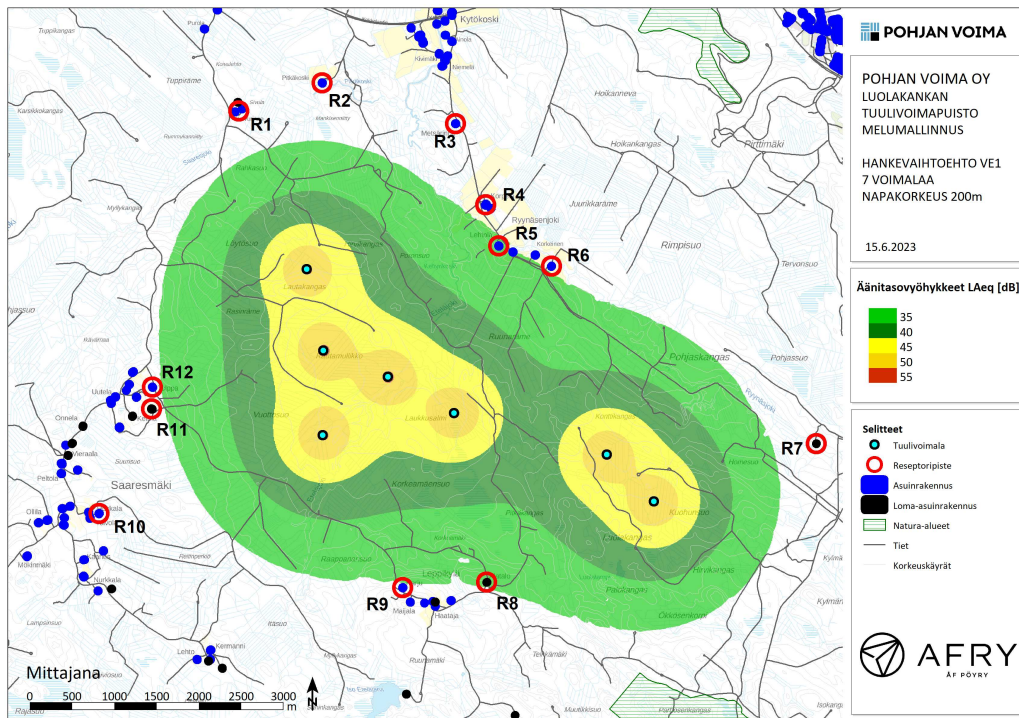
#### 3.1 Melun nykytila

Hankealue on pääosin metsätalouskäytössä, joten alueella ei ole nykyisellään merkittäviä melulähteitä. Pienimuotoista melua voivat aiheuttaa alueella satunnaisesti tehtävät metsätaloustyöt. Myös aluetta ympäröivien teiden liikenteestä voi aiheutua paikallista ja vähäistä meluhaittaa. Edellä mainittujen toimintojen aiheuttama melu on luonteeltaan erilaista sekä keskenään että tuulivoimameluun verrattuna (YVA-ohjelma, 2022).

#### 3.2 Ulkomelumallinnus

##### 3.2.1 Hankevaihtoehto VE1

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Luolakankaan hankevaihtoehdolle VE1 eli 7 voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että tummanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 meluvyöhykkeet.

Taulukko 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 melumallinnuksen reseptoripistetulokset

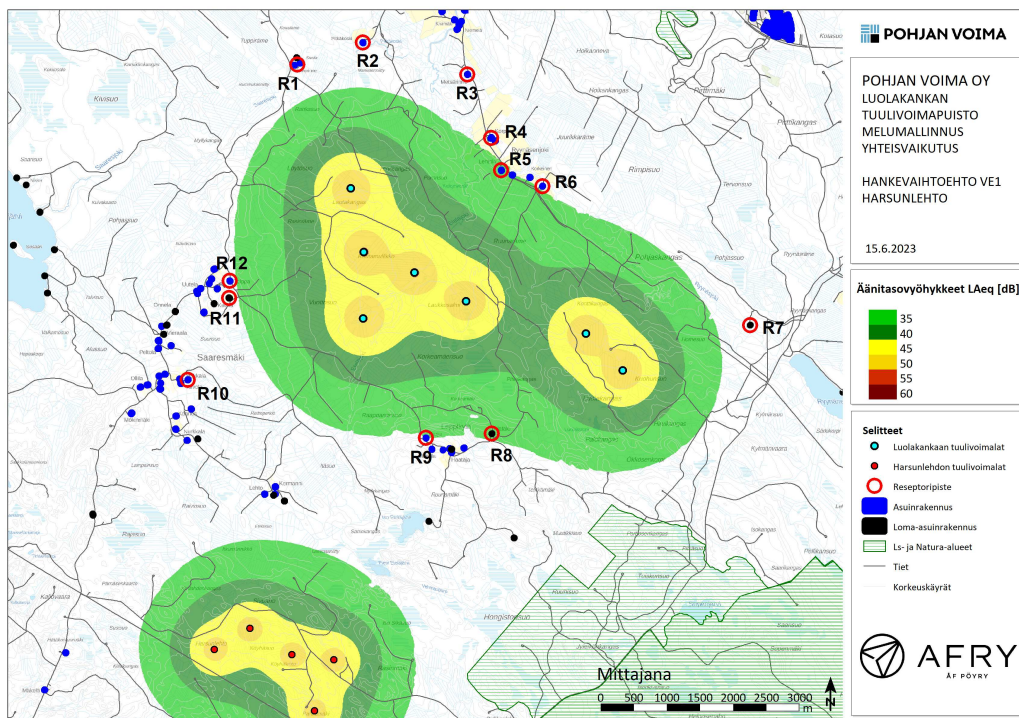
Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
<b>R1</b>	asuinrakennus	31,2	<b>R7</b>	loma-asuinrakennus	31,8
<b>R2</b>	asuinrakennus	30,9	<b>R8</b>	loma-asuinrakennus	35,3
<b>R3</b>	asuinrakennus	31,3	<b>R9</b>	asuinrakennus	34,7
<b>R4</b>	asuinrakennus	34,1	<b>R10</b>	asuinrakennus	29,4
<b>R5</b>	asuinrakennus	35,5	<b>R11</b>	loma-asuinrakennus	34,2

<b>R6</b>	asuinrakennus	34,7	<b>R1 2</b>	asuinrakennus	34,4
-----------	---------------	------	-----------------	---------------	------

YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvoja ei ylitetä. Lähimmissä reseptoripisteissä alitetaan myös 36 dB:n keskiäänitaso, vaikka laskennassa on käytetty +2 dB:n varmuusarvoa.

### 3.2.2 Yhteismelumallinnuksen laskentatulokset

Yhteismelumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset Luolakankaan ja Harsunlehdon tuulivoimahankkeille on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti alla olevassa kuvassa. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että tummanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-2. Yhteismelumallinnuksen meluvyöhykkeet.

Taulukko 3-2. Yhteismelumallinnuksen reseptoripistetulokset.

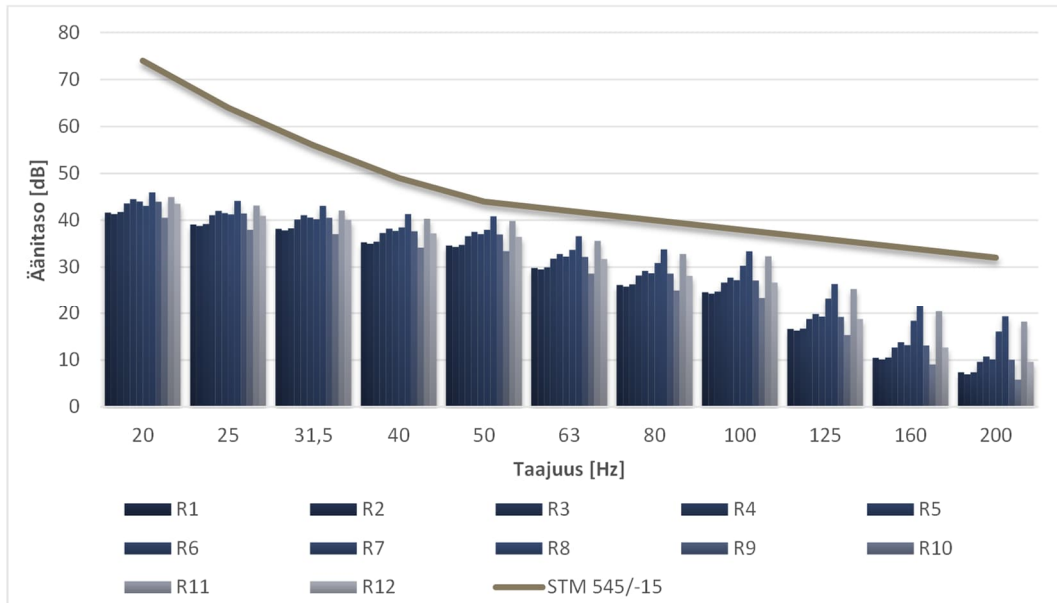


Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
<b>R1</b>	asuinrakennus	31,2	<b>R7</b>	loma-asuinrakennus	31,8
<b>R2</b>	asuinrakennus	30,9	<b>R8</b>	loma-asuinrakennus	35,4
<b>R3</b>	asuinrakennus	31,3	<b>R9</b>	asuinrakennus	35,0
<b>R4</b>	asuinrakennus	34,1	<b>R10</b>	asuinrakennus	30,0
<b>R5</b>	asuinrakennus	35,6	<b>R11</b>	loma-asuinrakennus	34,3
<b>R6</b>	asuinrakennus	34,8	<b>R12</b>	asuinrakennus	34,5

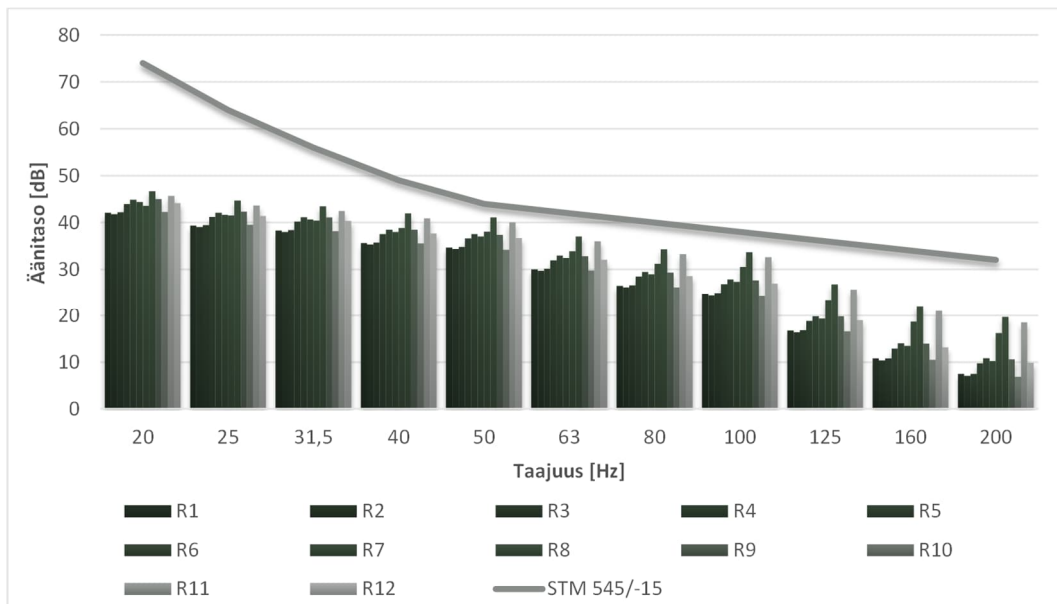
YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvoja ei ylitetä yhteismelutilanteessa väliin jäävien rakennusten osalta. Lähimmissä reseptoripisteissä alitetaan myös edelleen 36 dB:n keskiäänitaso, vaikka laskennassa on käytetty +2 dB:n varmuusarvoa.

### 3.3 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa, Luolakangas ja yhteisvaikutus

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 20-200Hz. Laskenta suoritettiin YM ohjeen laskentaohjeen mukaisesti käyttäen suomalaistutkimuksen antamia pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron estimaattiarvoja DL90%, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al. 2017, 2019).



Kuva 3-3. Pientaajuisen melulaskennan tulokset, hankevaihtoehto VE1.



Kuva 3-4. Pientaajuisen melulaskennan tulokset, yhteismelumallinnus.

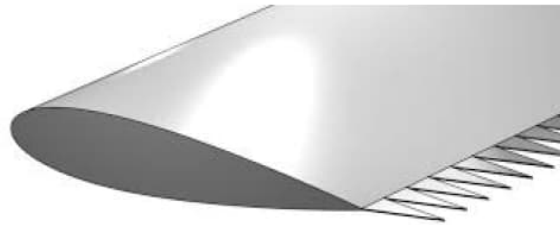
YM.n ohjeen mukaisen pientaajuisen (20-200Hz) melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoista DL84% sekä DL90% ja äänipäästön varmuusarvosta. Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta, että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus toimenpiderajan alittamiseksi olisi vain noin 7 dB



taajuusalueella 100 Hz hankevaihtoehdossa VE1, joka voidaan saavuttaa kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella.

### 3.4 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).

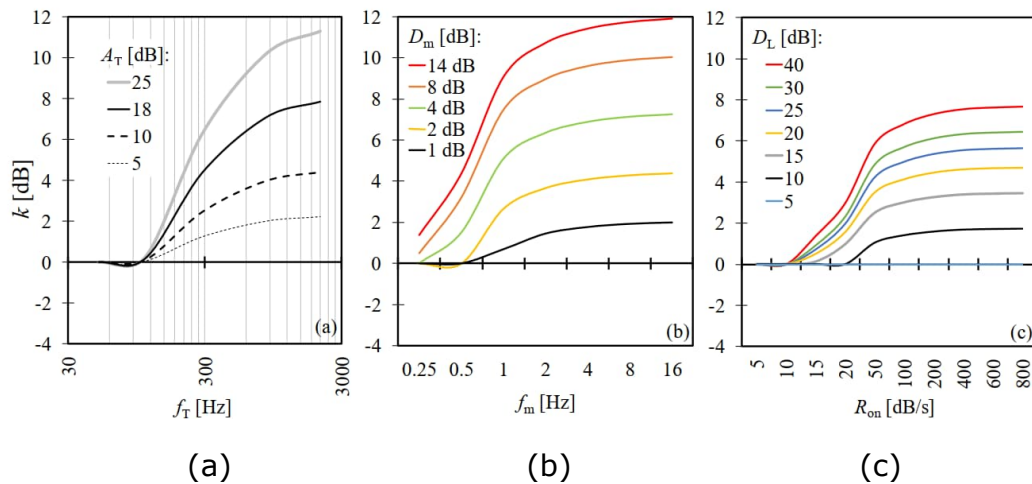


Kuva 3-5. Esimerkki tuulivoimalan siiven jättöreunan sahalaidoituksesta (Delft University of Technology, 2017).

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 meluoptimointiajo-moodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

## 4 Vaikutusten seuranta

Rakentamisen jälkeisiä meluvaikutuksia voidaan tarvittaessa seurata mittauksin, joista ohjeistetaan myös ympäristöministeriön oppaissa YM OH 3-4/2014. Ohjeen julkaisemisen jälkeen on kuitenkin saatu runsaasti uutta tietoa koskien mm. sanktiomenettelyjä esim. Anojanssi - tutkimushankkeesta (Keränen et al., 2019). Mahdollisen valvonnan yhteydessä tehtävien melumittaustulosten analyysissä suositellaan hyödynnettävien ko. tuloksia (ks. kuvat 14 (a)-(c) alla).



Kuva 4-1.(a) Kapeakaistamelun sanktion  $k$  riippuvuus äänneksen taajuudesta  $f_T$  ja äänneksen erottuvuudesta  $A_T$ . (b) Amplitudimoduloitun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta  $f_m$  ja modulaatiosyvyydestä  $D_m$ . (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta  $R_{on}$  ja tasoerosta  $D_L$  (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykkinnän sanktiomenettelyä.

YM ohjeen 4/2014 mukaan suoritettujen mittaustulosten arvoja voidaan vertailla mallinnuksen tuloksiin ilman mittauksen epävarmuustarkastelua (Ympäristöministeriö, 2014). On kuitenkin huomioitava, että mittaustulosten vertailu tuulivoimamelun ohjearvoihin on tehtävä YM:n ohjeen 1/1995 mukaisesti huomioimalla mittauksen epävarmuus (Ympäristöministeriö, 1995, kpl 6.2).

## 5 Lähteet

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.

E.Barlas, W.J. Zhu, W.Z.Shen, O. Kaya, P. Moriarty. Consistent modeling 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.

IECRE Certificates, web sivut: <https://www.iecre.org/certificates/windenergy/> IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications, 2021.

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.

Keränen, Hakala, Hongisto, Radun, Rajala, Maula, Saarinen, Virjonen. Anojanssi -projektin tulokset: Ympäristömelun häiritsevyys. Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä, Turku 2019. Akustiikkapäivät 2019, s. 276-279.

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)



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 takuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. YM muistio 14.9.2016 YM9/5511/2016. Ympäristöministeriön, Helsinki.

Ympäristöhallinnon ohjeita 1/1995. Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Helsinki 1995.

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. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit melumallinnuksen ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.

*Luolakankaan hankevaihtoehdon VE1 voimaloiden koordinaatit melumallissa.*

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
<b>1</b>	499014,51	7106350,66	162,96	200m
<b>2</b>	499210,14	7105390,11	164,79	200m
<b>3</b>	499976,00	7105079,25	160,71	200m
<b>4</b>	499202,24	7104389,72	165,19	200m
<b>5</b>	500756,26	7104649,31	161,69	200m
<b>6</b>	502562,91	7104160,65	165,12	200m
<b>7</b>	503118,61	7103606,40	171,44	200m

*Harsunlehdon voimaloiden koordinaatit melumallissa.*

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
<b>1</b>	498762,7	7099240,4	214,2	185m
<b>2</b>	498471,4	7098474,4	210,2	185m
<b>3</b>	496959,4	7099397,0	206,8	185m
<b>4</b>	497493,9	7099715,6	211,9	185m
<b>5</b>	498128,0	7099320,4	214,3	185m

*Melulaskennan reseptoripisteiden koordinaatit melumallissa*

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
<b>R1</b>	498211,16	7108217,47	147,79	4m
<b>R2</b>	499197,00	7108548,95	144,63	4m
<b>R3</b>	500775,41	7108068,57	141,02	4m
<b>R4</b>	501131,44	7107111,16	140,36	4m
<b>R5</b>	501284,77	7106623,81	137,98	4m



No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
<b>R6</b>	501907,82	7106384,69	140,12	4m
<b>R7</b>	505039,40	7104289,99	146,46	4m
<b>R8</b>	501142,02	7102653,57	191,43	4m
<b>R9</b>	500148,93	7102588,81	206,39	4m
<b>R10</b>	496557,27	7103464,67	213,31	4m
<b>R11</b>	497180,58	7104699,10	201,59	4m
<b>R12</b>	497190,14	7104956,35	194,32	4m



## Liite 2. Pientaajuisen melun numeeriset tulokset ulkona

*Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona, VE1 [dB]*

Taajuus [Hz]											
Resep-tori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	49,2	47,4	47,4	45,6	46,1	42,8	41,0	41,5	35,4	31,5	30,1
<b>R2</b>	48,9	47,1	47,1	45,3	45,8	42,5	40,7	41,1	35,1	31,1	29,7
<b>R3</b>	49,4	47,5	47,5	45,7	46,2	42,9	41,1	41,6	35,5	31,5	30,1
<b>R4</b>	51,2	49,4	49,3	47,6	48,1	44,8	43,0	43,5	37,6	33,7	32,4
<b>R5</b>	52,1	50,3	50,3	48,5	49,0	45,8	44,0	44,5	38,6	34,7	33,5
<b>R6</b>	51,6	49,8	49,8	48,0	48,5	45,3	43,5	44,0	38,1	34,2	32,9
<b>R7</b>	49,1	47,2	47,2	45,5	45,9	42,7	40,9	41,3	35,3	31,4	30,1
<b>R8</b>	51,9	50,1	50,1	48,3	48,8	45,6	43,8	44,3	38,4	34,5	33,3
<b>R9</b>	51,6	49,7	49,7	48,0	48,5	45,2	43,4	43,9	38,0	34,1	32,8
<b>R10</b>	48,1	46,3	46,3	44,5	45,0	41,7	39,8	40,2	34,1	30,1	28,6
<b>R11</b>	50,9	49,1	49,1	47,4	47,8	44,6	42,8	43,3	37,3	33,5	32,2
<b>R12</b>	51,1	49,3	49,3	47,5	48,0	44,7	43,0	43,5	37,5	33,7	32,4

*Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona, yhteisvaikutus [dB]*

Taajuus [Hz]											
Resep-tori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	49,7	47,6	47,5	45,9	46,2	43,0	41,3	41,6	35,5	31,8	30,3



Taajuus [Hz]											
Resep- tori	20	25	32	40	50	63	80	10 0	12 5	16 0	20 0
<b>R2</b>	49, 4	47, 3	47, 2	45, 6	45, 9	42, 7	40, 9	41, 3	35, 2	31, 4	29, 8
<b>R3</b>	49, 8	47, 7	47, 6	46, 0	46, 3	43, 1	41, 4	41, 7	35, 6	31, 8	30, 3
<b>R4</b>	51, 5	49, 5	49, 4	47, 8	48, 1	45, 0	43, 3	43, 6	37, 6	33, 9	32, 5
<b>R5</b>	52, 5	50, 4	50, 3	48, 8	49, 1	45, 9	44, 2	44, 6	38, 6	35, 0	33, 6
<b>R6</b>	52, 0	49, 9	49, 8	48, 3	48, 6	45, 4	43, 7	44, 1	38, 1	34, 4	33, 0
<b>R7</b>	49, 6	47, 5	47, 4	45, 8	46, 0	42, 9	41, 2	41, 5	35, 4	31, 7	30, 2
<b>R8</b>	52, 7	50, 7	50, 5	48, 9	49, 1	46, 0	44, 3	44, 7	38, 8	35, 1	33, 7
<b>R9</b>	52, 6	50, 6	50, 3	48, 8	48, 8	45, 8	44, 1	44, 4	38, 6	34, 9	33, 4
<b>R10</b>	49, 9	47, 9	47, 4	45, 8	45, 7	42, 7	41, 0	41, 1	35, 4	31, 5	29, 7
<b>R11</b>	51, 7	49, 6	49, 4	47, 9	48, 0	45, 0	43, 3	43, 6	37, 7	34, 0	32, 5
<b>R12</b>	51, 8	49, 7	49, 5	48, 0	48, 2	45, 1	43, 4	43, 7	37, 8	34, 1	32, 7



### Liite 3. Pientaajuisen melun numeeriset tulokset sisällä

*Pientaajuisen melulaskennan tulokset sisällä, VE1 [dB]*

Taajuus [Hz]											
Resep-tori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	41,6	39,1	38,2	35,3	34,6	29,8	26,2	24,7	16,6	10,5	7,3
<b>R2</b>	41,3	38,8	37,9	35,0	34,3	29,5	25,9	24,3	16,3	10,1	6,9
<b>R3</b>	41,8	39,2	38,3	35,4	34,7	29,9	26,3	24,8	16,7	10,5	7,3
<b>R4</b>	43,6	41,1	40,1	37,3	36,6	31,8	28,2	26,7	18,8	12,7	9,6
<b>R5</b>	44,5	42,0	41,1	38,2	37,5	32,8	29,2	27,7	19,8	13,7	10,7
<b>R6</b>	44,0	41,5	40,6	37,7	37,0	32,3	28,7	27,2	19,3	13,2	10,1
<b>R7</b>	43,1	41,2	40,2	38,5	37,9	33,7	30,9	30,3	23,3	18,4	16,1
<b>R8</b>	45,9	44,1	43,1	41,3	40,8	36,6	33,8	33,3	26,4	21,5	19,3
<b>R9</b>	44,0	41,4	40,5	37,7	37,0	32,2	28,6	27,1	19,2	13,1	10,0
<b>R10</b>	40,5	38,0	37,1	34,2	33,5	28,7	25,0	23,4	15,3	9,1	5,8
<b>R11</b>	44,9	43,1	42,1	40,4	39,8	35,6	32,8	32,3	25,3	20,5	18,2
<b>R12</b>	43,5	41,0	40,1	37,2	36,5	31,7	28,2	26,7	18,7	12,7	9,6

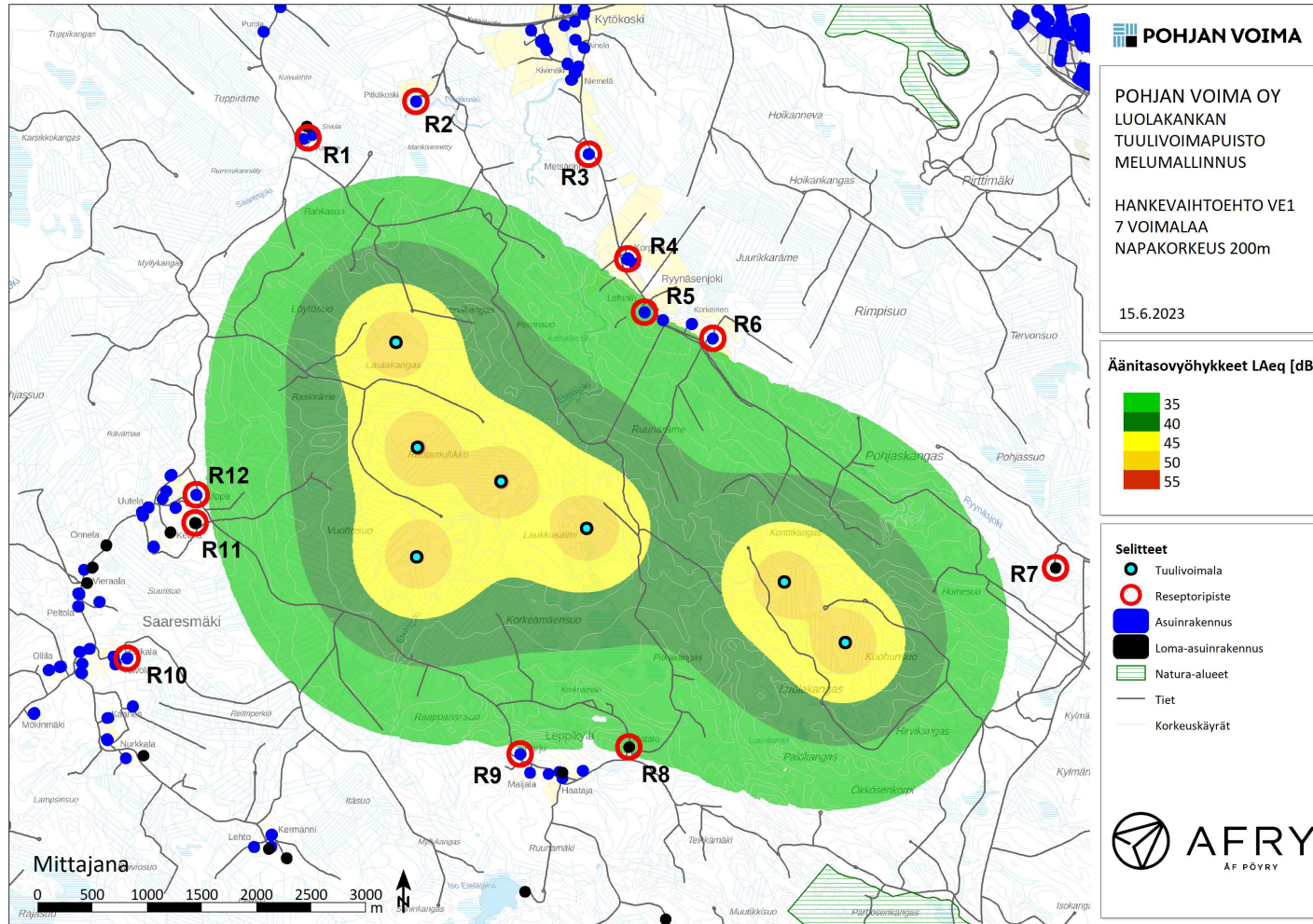
*Pientaajuisen melulaskennan tulokset sisällä, Yhteisvaikutus [dB]*

Taajuus [Hz]											
Resep-tori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	42,1	39,3	38,3	35,6	34,7	30,0	26,5	24,8	16,7	10,8	7,5

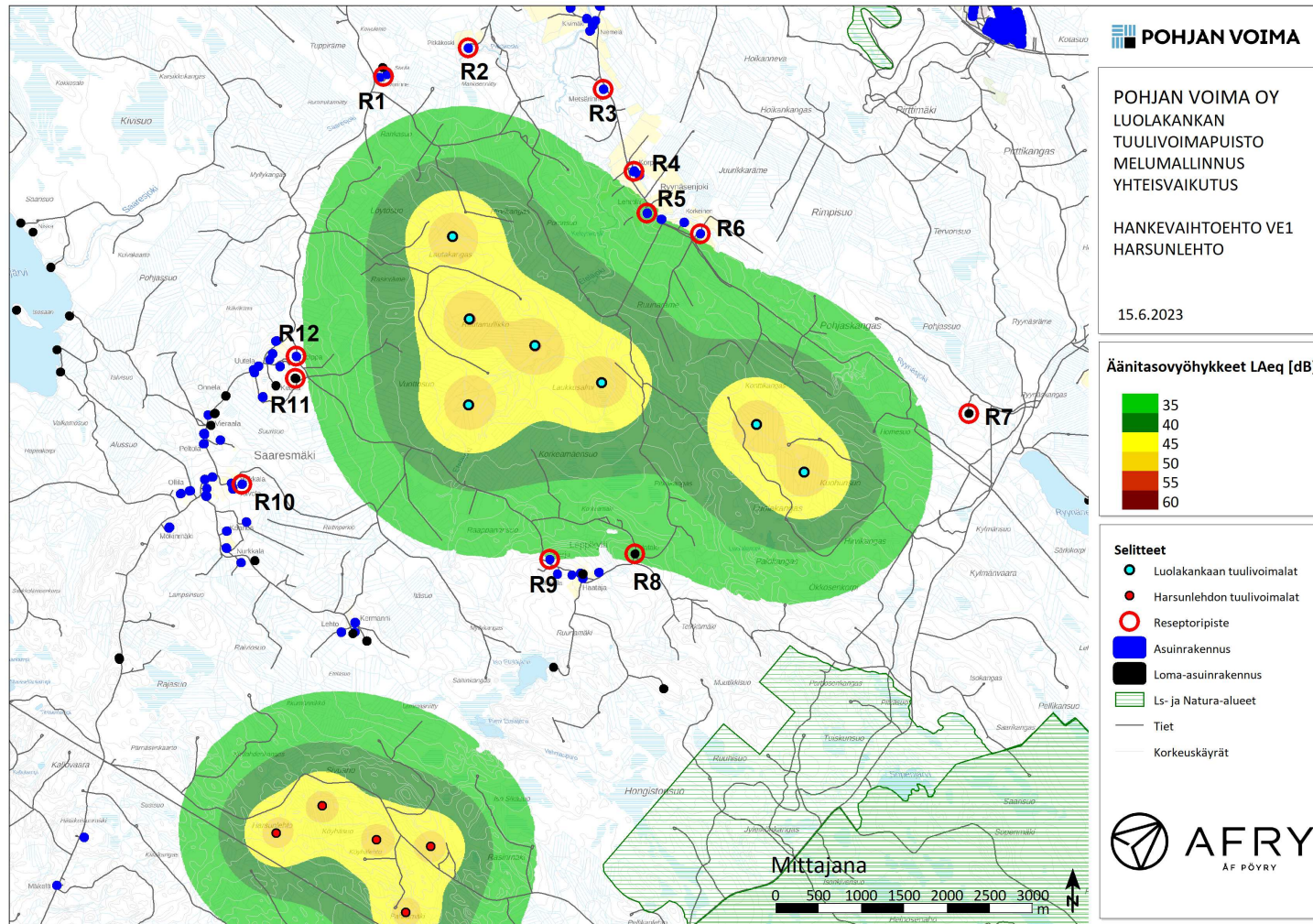


Taajuus [Hz]											
Resep- tori	20	25	32	40	50	63	80	10 0	12 5	16 0	20 0
<b>R2</b>	41, 8	39, 0	38, 0	35, 3	34, 4	29, 7	26, 1	24, 5	16, 4	10, 4	7,0
<b>R3</b>	42, 2	39, 4	38, 4	35, 7	34, 8	30, 1	26, 6	24, 9	16, 8	10, 8	7,5
<b>R4</b>	43, 9	41, 2	40, 2	37, 5	36, 6	32, 0	28, 5	26, 8	18, 8	12, 9	9,7
<b>R5</b>	44, 9	42, 1	41, 1	38, 5	37, 6	32, 9	29, 4	27, 8	19, 8	14, 0	10, 8
<b>R6</b>	44, 4	41, 6	40, 6	38, 0	37, 1	32, 4	28, 9	27, 3	19, 3	13, 4	10, 2
<b>R7</b>	43, 6	41, 5	40, 4	38, 8	38, 0	33, 9	31, 2	30, 5	23, 4	18, 7	16, 2
<b>R8</b>	46, 7	44, 7	43, 5	41, 9	41, 1	37, 0	34, 3	33, 7	26, 8	22, 1	19, 7
<b>R9</b>	45, 0	42, 3	41, 1	38, 5	37, 3	32, 8	29, 3	27, 6	19, 8	13, 9	10, 6
<b>R10</b>	42, 3	39, 6	38, 2	35, 5	34, 2	29, 7	26, 2	24, 3	16, 6	10, 5	6,9
<b>R11</b>	45, 7	43, 6	42, 4	40, 9	40, 0	36, 0	33, 3	32, 6	25, 7	21, 0	18, 5
<b>R12</b>	44, 2	41, 4	40, 3	37, 7	36, 7	32, 1	28, 6	26, 9	19, 0	13, 1	9,9

## Liite 4. Melumallinnuskuva, hankevaihtoehto VE1



## Liite 5. Melumallinnuskuva, yhteisvaikutuslaskelma





## Liite 6. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

<b>RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT</b>		
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101017675-001-MELUMALLIN- NUS		
<b>MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT</b>		
Mallinnusohjelma: SoundPlan v.8.2 (Braunstein GmbH)	Mallinnusmenetelmä: ISO 9613- 2 / YM ohje 2/2014 kpl 4.1	
<b>TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)</b>		
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex	Nimellisteho: 5,7 MW	
Roottorin halkaisija: 163 m	Napakorkeus: 200 m	
Lukumäärä: VE1: 7 kpl	Siipityyppi: Normaali	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB		
<b>AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>		
Melupäästötiedot (LWA): 109,2 dB	Varmuusarvo K: +2,0 dB	
Melun erityispiirteet		
Kapeakaistaisuus: Ei	Impulssimaisuus: Ei	Korkeuserokorjaus: Ei
<b>AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>		
Laskentakorkeus: 4 m	Suhteellinen kosteus: 70 %	Lämpötila: 15 °C
Tuulensuunta: Myötätuuli joka suuntaan		
Maastomallin lähde: MML, 11/2022	Maanpinnan pystyresoluutio: 0,3 m / laserkeilausaineisto	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet		
Vesialueet:	Maa-alueet:	Muut alueet (mitkä?)



0	0.4	Laajat kallioalueet: 0								
<b>PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNIERISTYSARVOT</b>										
Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti DL84% asuinrakennuksille (alempi taulukko) sekä DL90% (ylempi taulukko) loma-asuinrakennuksille 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz [dB(L)]										
Taajuus [Hz]										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8
6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>LASKENTATULOKSET</b>										
Laskentavaihtoehdot 2 kpl										
Laskentakartat: 2 kpl		Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 35 dB, 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB								
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2 kpl		Reseptoripisteet: 12 kpl, R1-R12								
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										