



# Tuulialfa Oy

## Mustasuon tuulivoima-alueen osayleiskaava

Tuulivoimapuiston meluselvitys kaavaluonnosta varten

Luonnosvaihe

29.05.2026

## YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Tuulialfa Oy

Sonja Oksman

[sonja.oksman@tuulialfa.fi](mailto:sonja.oksman@tuulialfa.fi)

P. 050 360 7917

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



### Kaavaa laativa konsultti:

AFRY Finland Oy

Kaavoituksen projektipäällikkö

Ismo Vendelin, Kaavan laatija YKS-611

puh. 050 326 3557

[etunimi.sukunimi@afry.com](mailto:etunimi.sukunimi@afry.com)



### Melumallinnuksen suorittaja:

Ins. AMK Ruwaid Al-hilli

AFRY Finland Oy

[www.afry.com](http://www.afry.com)

Copyright © AFRY Finland Oy

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

AFRY Finland Oy:n projektinumero on **101021307-002**.

Kuvien pohjakartat ja -ilmakuvat: Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineisto, avoin data 2026, ellei toisin mainita.

## SISÄLLYS

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| TIIVISTELMÄ.....                                           | 4  |
| TERMIT JA LYHENTEET .....                                  | 5  |
| 1 JOHDANTO.....                                            | 6  |
| 1.1 Tuulivoimamelu .....                                   | 6  |
| 1.2 Tuulivoimamelun ohjearvot YM 1107/2015 .....           | 8  |
| 1.3 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa .....           | 8  |
| 2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT .....                 | 9  |
| 2.1 Mallinnusohjeistus .....                               | 9  |
| 2.2 Digitaalikartta-aineisto .....                         | 10 |
| 2.3 Tuulivoimalamalli.....                                 | 11 |
| 2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit ..... | 11 |
| 2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit.....               | 13 |
| 2.5.1 Tuulivoimalat ja laskenta-alue .....                 | 13 |
| 2.5.2 Aurinkovoimala.....                                  | 15 |
| 2.6 Pienitaajuisen melun laskenta .....                    | 15 |
| 3 MALLINNUSTULOKSET .....                                  | 17 |
| 3.1 Ulkomelumallinnus.....                                 | 17 |
| 3.1.1 Osayleiskaava .....                                  | 17 |
| 3.1.2 Osayleiskaavan yhteismeluvaikutukset .....           | 20 |
| 3.2 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa .....     | 22 |
| 4 VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN .....          | 30 |
| 4.1 Tekniset ratkaisut .....                               | 30 |
| 5 LÄHDELUETTELO.....                                       | 32 |

## LIITTEET

Liite 1. Voimala- ja reseptoripistekoordinaatit

Liite 2. Melumallinnuskartta – Mustasuon kaavaluonnos, tuulivoimalamalli: Nordex N175

Liite 3. Melumallinnuskartta – Mustasuon kaavaluonnos, tuulivoimalamalli: Vestas V172

Liite 4. Melumallinnuskartta – Mustasuon kaavaluonnoksen yhteismelu, tuulivoimalamalli: Nordex N175

Liite 5. Melumallinnuskartta – Mustasuon kaavaluonnoksen yhteismelu, tuulivoimalamalli: Vestas V172

Liite 6. Pienitaajuisen melun numeeriset tulokset

Liite 7. Melumallinnuksen perustiedot

## TIIVISTELMÄ

Tuulialfa Oy suunnittelee Mustasuon tuulivoima-alueen rakentamista Oulun kaupungin Yli-kiimingin itäosaan, yhteensä noin 55 km<sup>2</sup> kokoiselle alueelle. Mustasuon kaava-alueen pinta-ala on 55 km<sup>2</sup> ja yhdessä Utajärven 28 km<sup>2</sup> alueen kanssa koko suunnittelualueen laajuus on yhteensä noin 83 km<sup>2</sup>. Kaava-alue sijaitsee noin 11 kilometriä Ylikiimingin keskustasta koilliseen. Mustasuon kaava-alueelle suunnitellaan enintään 37 tuulivoimalaa. Kunkin tuulivoimalan yksikköteho on noin 6–10 MW ja tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus enintään 300 metriä. Tuulivoima-alue tulee koostumaan tuulivoimaloista perustuksineen, niitä yhdistävistä maakaapeleista tai ilmajohdoista, huoltotieverkostosta, mahdollisesta energiavarastosta sekä tuulivoima-alueen sähköasemista ja kantaverkkoon liittymisen voimajohdosta (400 kV tai 400 kV+110 kV). Utajärven kunnan puolelle on tarkoitus sijoittaa enintään 19 tuulivoimalaa ja aurinkovoimala. Aurinkovoimalalle varatun suunnittelualueen pinta-ala on noin 217 ha.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Mustasuon tuulivoimapuiston osayleiskaavan arviointia varten. Vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja, ja mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 Ed.2 (2024) melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan Mustasuon 37 voimalan hankevaihtoehdolla VE1 lasketut ulkomelutasot eivät ylitä Vna 1107/2015 säädetyn tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvon lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla. Melun leviämislaskennan perusteella osayleiskaavan yhteismeluvaikutus Tynnyrikorven tuulivoimaloiden kanssa 40 dB:n yöajan ohjearvo ulkona ylittyy yhden (1) kohteen kohdalla (reseptoripiste R15). Reseptoripisteen R15 loma-asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta neuvotellaan. Muiden laskentapisteen osalta yöajan ohjearvo alitetaan. Vastaavasti pienitaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat kaikissa kohteissa. Pientaajuisen melun sisätilan toimenpiderajat ylittävät yhteismeluvaikutuksessa Tynnyrikorven tuulivoimaloiden kanssa reseptoripisteessä R15 tuulivoimalamallissa Nordex N172. Yhteismeluvai-  
ikutus tuulivoimalamallissa Vestas V172 ylitystä esiintyy reseptoripisteissä R10 ja R15.

Vaikutusten seuranta voidaan tarvittaessa suorittaa melumittauksin, joista ohjeistetaan YM:n oppaissa 3–4/2014. Ohjeiden lisäksi suositellaan huomioimaan uusien kotimaisten tutkimustulosten tiedot mittaustulosten analyyseissä.

## TERMIT JA LYHENTEET

Tässä teknisessä raportissa on käytetty seuraavia termejä ja lyhenteitä.

| Termi                 | Selite                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| dB, desibeli          | Äänenvoimakkuuden yksikkö. Kymmenen desibelin nousu melutasossa tarkoittaa äänen energian kymmenkertaistumista. Melumittauksissa käytetään eri taajuuksia eri tavoin painottavia suodatuksia. Yleisin on niin sanottu A-suodatin, jonka avulla pyritään kuvaamaan tarkemmin äänen vaikutusta ihmiseen.                                                      |
| A-painotus            | Äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen, yleensä tehollisarvona, esim. LWA.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Äänitehotaso LWA      | Äänienergian tehollinen arvo (yksikkönä dB tai Watti). Ääniteho toimii mallinnusten yhtenä syöttöarvona. Yleisesti käytetään äänitehon taajuuskaistoja, joiden logaritminen summa muodostaa äänitehotason.                                                                                                                                                  |
| Melupäästön takuuarvo | Valmistajan ilmoittama tuulivoimalan tuottaman melupäästön (äänitehotaso) takuuarvoa, jossa varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on noin 95 %. Melupäästöarvo on kaksiosainen muodostuen äänitehotasojen keskiarvosta ja varmuusarvosta.                                                                                                        |
| Varmuusarvo           | Tuulivoimalan laitteiston valmistajan ilmoittamaa saman tuulivoimalatyyppin melupäästön hajonnasta johtuvan epävarmuuden huomioivaa varmuusarvoa                                                                                                                                                                                                            |
| Oktaavikaista         | Oktaavikaista käsittää kahden asetuspisteen välisen taajuusalueen. Esimerkiksi oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 88–176 Hz.                                                                                                                                                                                                                             |
| 1/3 oktaavikaista     | 1/3-oktaavikaista käsittää kahden asetuspisteen välisen taajuusalueen. Esimerkiksi 1/3-oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 111–140 Hz. 1/3-oktaavikaista-analyysi antaa yksityiskohtaisempaa tietoa kuin oktaavikaista-analyysi.                                                                                                                          |
| Kapeakaistaisuus      | Tonaalisuudella tarkoitetaan yhden tai useamman äänksen äänenpainetason ja peittoäänen tason erotusta kriittisellä kaistalla äänksen (äänksien) ympärillä. Melu on kapeakaistaista tai tonaalista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänksiä tai kapeakaistaisia komponentteja melulle altistuvalla alueella. |
| Sykintä               | Melu on merkityksellisesti sykkivää eli amplitudimoduloitunutta, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänenvoimakkuuden ajallisia jaksollisia vaihteluja melulle altistuvalla alueella.                                                                                                                          |
| Impulssimaisuus       | Melu on impulssimaista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä lyhytkestoisia ääniä (transientteja) melulle altistuvalla alueella.                                                                                                                                                                                 |

## 1 JOHDANTO

Tuulialfa Oy suunnittelee Mustasuon tuulivoima-alueen rakentamista Oulun kaupungin Ylikiimingin itäosaan, yhteensä noin 55 km<sup>2</sup> kokoiselle alueelle. Mustasuon kaava-alueen pinta-ala on 55 km<sup>2</sup> ja yhdessä Utajärven 28 km<sup>2</sup> alueen kanssa koko suunnittelualueen laajuus on yhteensä noin 83 km<sup>2</sup>. Kaava-alue sijaitsee noin 11 kilometriä Ylikiimingin keskustasta koilliseen. Mustasuon kaava-alueelle suunnitellaan enintään 37 tuulivoimalaa.

Oulun kaupungin alueelle laaditaan oma erillinen oikeusvaikutteinen osayleiskaava, jonka perusteella voidaan myöntää suoraan rakentamisluvat tuulivoimaloiden rakentamiselle (AKL 77a §). Kaavoitus ja päätöksenteko koskevat Oulun kaupungin alueelle sijoittuvaa kaava-aluetta, mutta vaikutukset arvioidaan koko hankekokonaisuuden osalta.

Selvityksessä arvioidaan Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty kaavaluonnoksen 56 tuulivoimalan suunnitelmalle, joka sisältää Mustasuon osayleiskaava-alueelle sijoittuvat 37 tuulivoimalaa ja niiden lisäksi Tynnyrikorven alueelle sijoittuvat 19 tuulivoimalaa 17.4.2026 päivätyn Tynnyrikorven osayleiskaavan valmisteluaineiston mukaisesti. Tynnyrikorven melu mallinnetaan tässä yhteydessä yhteisvaikutusten selvittämiseksi. Raportti on valmisteltu Mustasuon tuulivoimapuiston osayleiskaavaa varten.

### 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 ominaisuuksien mukaan. 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 äänenenerotuskyvyllä on suuri merkitys. Melua voidaan mitata sen fysikaalisten ominaisuuksien perusteella.

Ympäristömelu koostuu ihmisen toiminnan aiheuttamasta melusta, joka vaihtelee ajan ja paikan mukaan. Äänen voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmistä 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 herkkyyks 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 on Leq ja A-taajuuspainotettuna LAeq, tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso.

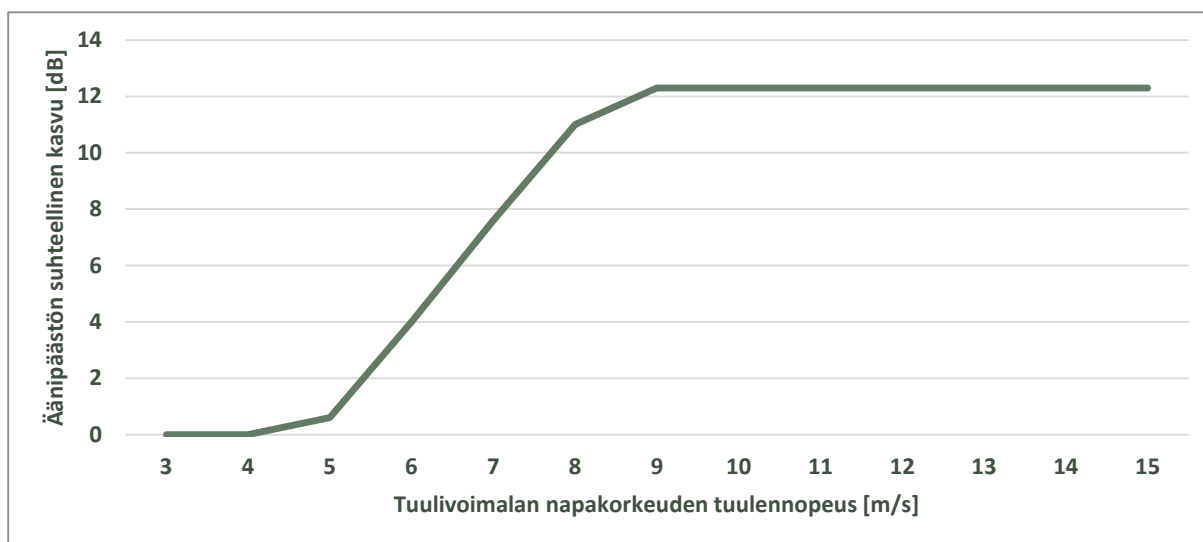
### 1.1 Tuulivoimamelu

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 kokonaisäänienenergiasta lapojen suuren vaikutus-pinta-alan vuoksi (Gupta, M. Madsen, K., 2019). Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painotunut tyypillisesti 200–1 000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuoella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin, on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alaisempi 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 lähtönopeutta, lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alaisempi 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 yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipi-kulmasäätö tasoiääntä äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

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 mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuspäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle (Halstead, D. Tam, N., 2019).

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmakehän 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 12,5 m/s modernin voimalan napakorkeudella 200 m (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 (Kuva 4-1), joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–4 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän jättöreunan serraatioiden tuotekehityksen johdosta (Arce León, C., 2017).

## 1.2 Tuulivoimamelun ohjearvot YM 1107/2015

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

**Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjearvot, YM 1107/2015 asetuksen mukaan, 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 mittaukseen 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.

## 1.3 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

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

**Taulukko 1-2. Äänitason toimenpiderajat STM 545/2015 asumisterveysasetuksen mukaan.**

| Huoneisto ja huonetila        | Päivällä klo 07–22 | Yöllä klo 22–07 |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| Asuinhuoneet ja oleskelutilat | 35 dB              | 30 dB (25 dB)   |
| Muut tilat ja keittiö         | 40 dB              | 40 dB           |
|                               |                    |                 |

| Huoneisto ja huonetila                                                                                     | Päivällä klo 07–22 | Yöllä klo 22–07 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|
| Huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänen vahvistuslaitteiden käyttöä | 35 dB              | –               |
| Muut kokoontumistilat                                                                                      | 40 dB              | –               |
| Asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet                                                            | 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, 1h (klo 22–7) mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

**Taulukko 1-3. Pienitaajuisten sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuuksuvälillä 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  |

## 2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT

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

### 2.1 Mallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen (YM OH 2/2014). Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristösuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten esittämistavat. Yksityiskohtainen ohjeistus on koettu tarpeelliseksi, jotta mallinnustulokset olisivat aina tekijöistä riippumatta vertailukelpoisia keskenään. Tämän raportin melumallinnus on toteutettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti.

Melumallinnuksen lähtötietona tulisi käyttää teknisen spesifikaation IEC TS 61400-14 mukaista turbiinin melupäästön tunnusarvoa LWAd. Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta LWA sekä varmuusarvosta K, joka vastaa turbiinityyppien melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20–10 000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5–8 000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

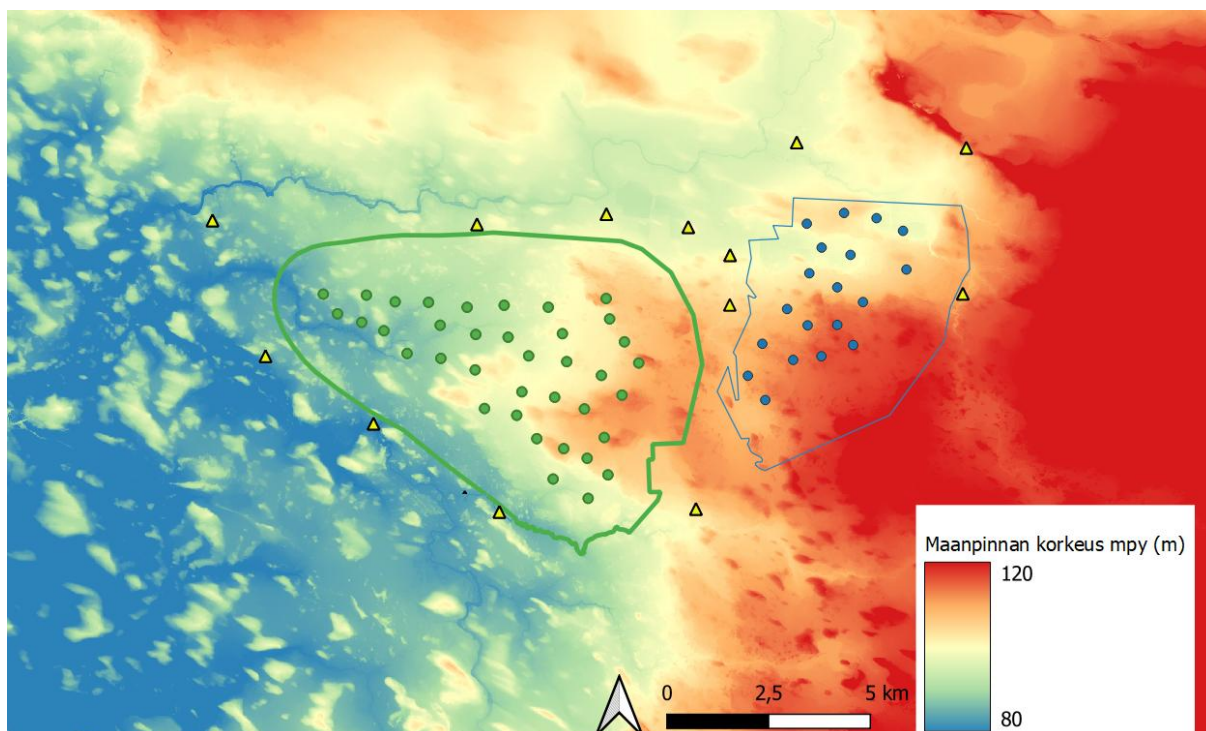
Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen sykinän vaikutukset oletetaan sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, eikä mallinnusohjeistuksessa edellytetä niiden erillistä tarkastelua.

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 Ed.2 (2024) perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi pienitaajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin (Jakobsen, J. 2012). Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Pienitaajuisen melun tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneristävyydellä.

## 2.2 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. Maa-alueille akustinen kovuuskerroin on ohjeen mukaisesti 0,4 (puolikova) ja vesialueille 0 (kova).

Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja altistuvan kohteen maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta reseptoripisteeseen päin laskevasti katsotaan sel-laiseksi, 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. Kuva 2-1 ja liitteessä 1 esitetyt maaston korkeudet).



**Kuva 2-1. Melumallinnuksen digitaalikartan topografiamalli, mpy [m]. Kuvassa osayleiskaavan voimalasijoittelu, jossa Mustasuon voimalat esitetty vihreällä värillä ja Tynnyrikorven voimalat sinisellä.**

## 2.3 Tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin 6,8 MW:n voimalamallille, jolle käytettiin Nordex N175 6,8 MW:n ja serraatiosiiven mukaista äänipäästötasoa 106,9 dB lisättynä + 2 dB:n varmuusarvolla K (YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Siten pistemäisen äänilähteen (yksi voimala) kokonaisäänipäästön tunnusarvo LWA,d melumallissa on 108,9 dB.

Mallinnus suoritettiin myös suuremmalla 7,2 MW:n voimalamallille, jolle käytettiin Vestas V172 7,2MW:n ja serraatiosiiven mukaista äänipäästötasoa 107,8 + 2 dB:n varmuusarvolla K (YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Siten pistemäisen äänilähteen (yksi voimala) kokonaisäänipäästön tunnusarvo LWA,d melumallissa on 109,8 dB.

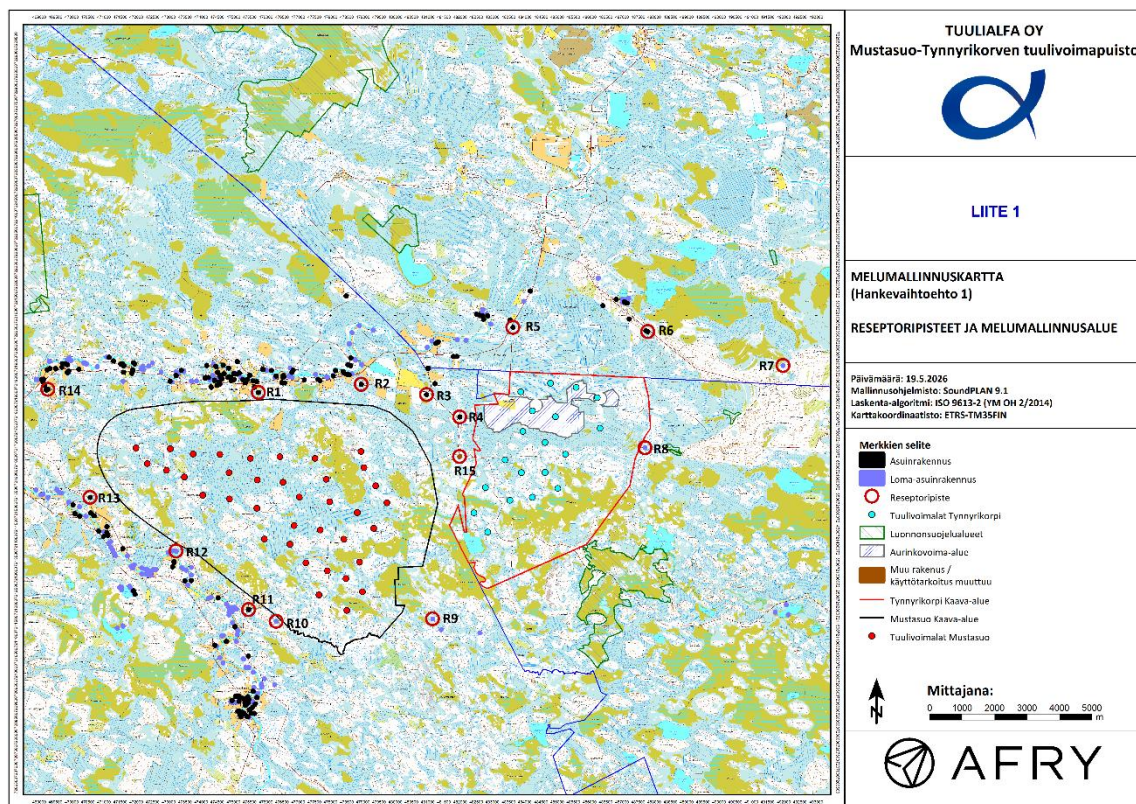
Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 metriä. Mallinnetun voimalan laivan pituus on 100 m, roottorin halkaisija 200 m ja kokonaiskorkeus 300 m. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakamaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3–10 000 Hz lisättynä yllä mainitulla varmuusarvolla.

## 2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden R1–R15 sekä muiden asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.

Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta syyskuussa 2025. Reseptorin R15 kohdalla on vapaa-ajan kiinteistö, jonka käyttötarkoituksen muutoksesta hankekehittäjä neuvottelee, mutta jota

käsitellään tässä selvityksessä vielä loma-asuntona. Tämä rakennus on merkitty karttoihin tunnisteella R15, "Muu rakennus/käyttötarkoitus muuttuu".



**Kuva 2-2. Melumallinnusalue, Mustasuo-Tynnyrikorven osayleiskaavan tuulivoimaloiden sijainnit (turkoosit pisteet). Kuntarajat (Mustasuo vas. / Tynnyrikorpi oik.) ovat esitetty kuvassa punaisella viivalla. Asuinrakennukset on merkitty mustilla pisteillä ja loma-asuinrakennukset sinisillä pisteillä. Lomarakennuksen R15 käyttötarkoituksen muuttamisesta neuvottelut ovat käynnissä.**

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-1) on esitetty Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimahankkeen osayleiskaavoituksessa käytetyt hankevaihtoehdot, voimaloiden lukumäärät, äänitehotaso sekä napakorkeus. Hankevaihtoehdoissa on mukana aurinkovoimala, mutta melumallinnuksen karttojen osalta vain kuvaobjektina, ks. Kuva 2-2.

**Taulukko 2-1. Melumallinnuksen voimalat.**

| Hanke        | Voimaloiden lkm | Napakorkeus | Yhden voimalan äänipäästö                     |
|--------------|-----------------|-------------|-----------------------------------------------|
| Mustasuo     | 37              | 200 m       | Nordex:106,9 dB + 2 dB<br>Vestas:107,8 + 2 dB |
| Tynnyrikorpi | 19              | 200 m       | Nordex:106,9 dB + 2 dB                        |

## 2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit

### 2.5.1 Tuulivoimalat ja laskenta-alue

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melu-laskentaohjelmistoa SoundPlan v 9.1, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä. Mallinnusalgorithmiina käytettiin ISO 9613-2:2024, jonka vuoden 1996 version parametriseointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1. Koska ISO standardin Editio 1 vuodelta 1996 on poistunut käytöstä ja on korvaantunut editiolla 2 vuonna 2024, on tässä käytetty Ed.2 standardin laskenta-algoritmiä kuitenkin siten, että laskentaparametrit ovat samoja Ed.1 kanssa. Ympäristöministeriö ei ole vielä tehnyt kattavaa vaikutusarviointia uuden standardiversion käytön vaikutuksista laskentatuloksiin tämän selvityksen teon aikana. Alustava AFRY:n tekemä sisäinen tarkastelu on päätynyt johtopäätökseen, että laskentatulosten poikkeama on vähäinen 40 dB:n ja sitä ylittävillä keskiäänitasoilla, mutta kasvaa tapauskohtaisesti voimaloista kauemmaksi mentäessä ja pienemmillä äänitasoilla.

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

Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitason käyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa (Taulukko 2-2) ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

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

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on luokarvoltaan pienempi (akustisesti puolikova) kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämisvaimentumista.
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.

Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa. Parametrit ovat ohjeen YM OH 2/2014 mukaisia ympäristövaikutusten arvioinnin ja kaavoituksen hankevaiheessa.

**Taulukko 2-2. Melun leviämislaskennan parametrit.**

| Lähtötieto          | Parametrit                                                                                                      |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Laskentalogiikka    | ISO 9613-2 Ed.2, 2024 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)                                                  |
| Mallinnusalgoritmit | Keskiäänitaso LAeq ulkona: ISO 9613-2 Ed.2 (2024). YM OH 2/2014 kpl 4.1. Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, |

| Lähtötieto                  | Parametrit                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84 %:n ja 90 %:n persentiilit (Keränen et al., 2017, 2019)                                                                                                  |
| Topografiakartta            | Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto ja maastotietokanta (© MML, 2026), topografian pystyresoluutiona on 0,5 m. 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. 13 m/s 200 metrin korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10 metrin referenssikorkeudella maanpinnan karheudella 0,1 m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)                                             |
| Äänilähde                   | Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)                                                                                                                                                                                           |
| Äänipäästön tunnusarvo      | ks. kpl 2.3                                                                                                                                                                                                                   |
| Mallinnuksen äänipäästö     | 1/3 oktaaveittain 6,3–16 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)                                                                                                                                                                      |
| Häiritsevyysskorjaukset     | ks. luku 2.1                                                                                                                                                                                                                  |
| Topografiakorjaus           | Ei korjausta, ks. kappale 2.2 Kuva 2-1. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)                                                                                                                                                              |
| Laskentaverkko              | Laskentapiste kymmenen kertaa kymmenen metrin (10 x 10 m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4 m) korkeudella seuraten digitaalikartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)                                                |
| Maanpinnan akustinen kovuus | 0,4 (maa-alueet & aurinkovoima-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5 sekä 4.1.9)                                                                                                           |
| Aurinkovoimalat             | Akustinen maanpinnan kovuuskerroin 0,4 (puolikova maanpinta)                                                                                                                                                                  |
| Laskentavyöhykkeet, LAeq    | 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB                                                                                                                                                                                                  |

### 2.5.2 Aurinkovoimala

Hankealueen sisälle suunniteltujen aurinkovoimaloiden vaikutus melun leviämiseen on tällä hetkellä epäselvää eikä kirjallisuudessa tai YM:n ohjeissa ole tästä selkeää mainintaa. Riippuen taajuudesta, voi osa äänestä heijastua voimaloiden pinnalta viistosti ylöspäin aurinkovoimalan kulman mukaan ja osa äänestä voi joiltain osin jäädä tehokkaammin voimaloiden väliin. Mainittujen epävarmuuksien vuoksi laskennassa ei tehty maanpinnan kovuuskertoimen muutoksia, joten aurinkovoimaloiden osalta käytettiin samaa maanpinnan absorptiokerrointa 0,4 (akustisesti puolikova maanpinta) kuin muulle maanpinnalle, joka ei ole akustisesti kovaa vesialuetta.

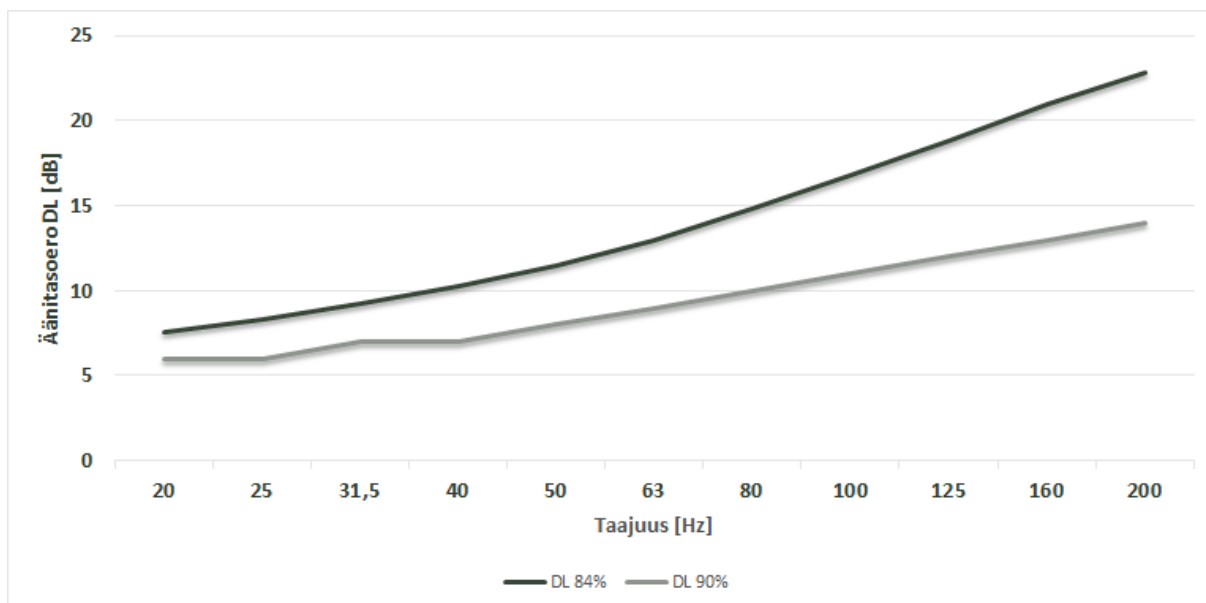
## 2.6 Pienitaajuisten melun laskenta

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 1-3) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Päiväaikainen (klo 07–22) keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dB(A) ja yöaikainen (klo 22–07) keskiäänitaso 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona  $L_{eq,1h}$  mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaismelutason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä pienitaajuisten sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan ääneneristykseen on oltava vähintään 30 dB. Jos tuulivoimaloiden aiheuttama ulkomelutaso alittaa 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy uudisrakennuksilla selkeästi toimenpiderajan alapuolella. Vanhemmat rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä toteuta uuden asetuksen vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyttä on tutkittu mm. Turun AMK:n hankkeessa (Keränen et al. 2019 a ja b), jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20–200 Hz. Artikkelin arvot (Kuva 2-3) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä pienitaajuisten sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristykseen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos pienitaajuisten sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

Pientaajuisten melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia. Pientalojen ilmaäänieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin persentiiliarvona DL84% ja DL90% (Keränen et al., 2017, 2019). Tässä laskennassa hyödynnettiin vähimmäisarvon estimaattia DL84% asuinrakennuksille ja vähimmäisarvon estimaattia DL90% loma-asuinrakennuksille.



**Kuva 2-3. Äänitasoeron DL vähimmäisarvon estimaatit 84 %:n ja 90 % persentiileille Turun AMK:n julkaisujen mukaan (Keränen, 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 sisätilamitaukset Suomessa sekä ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

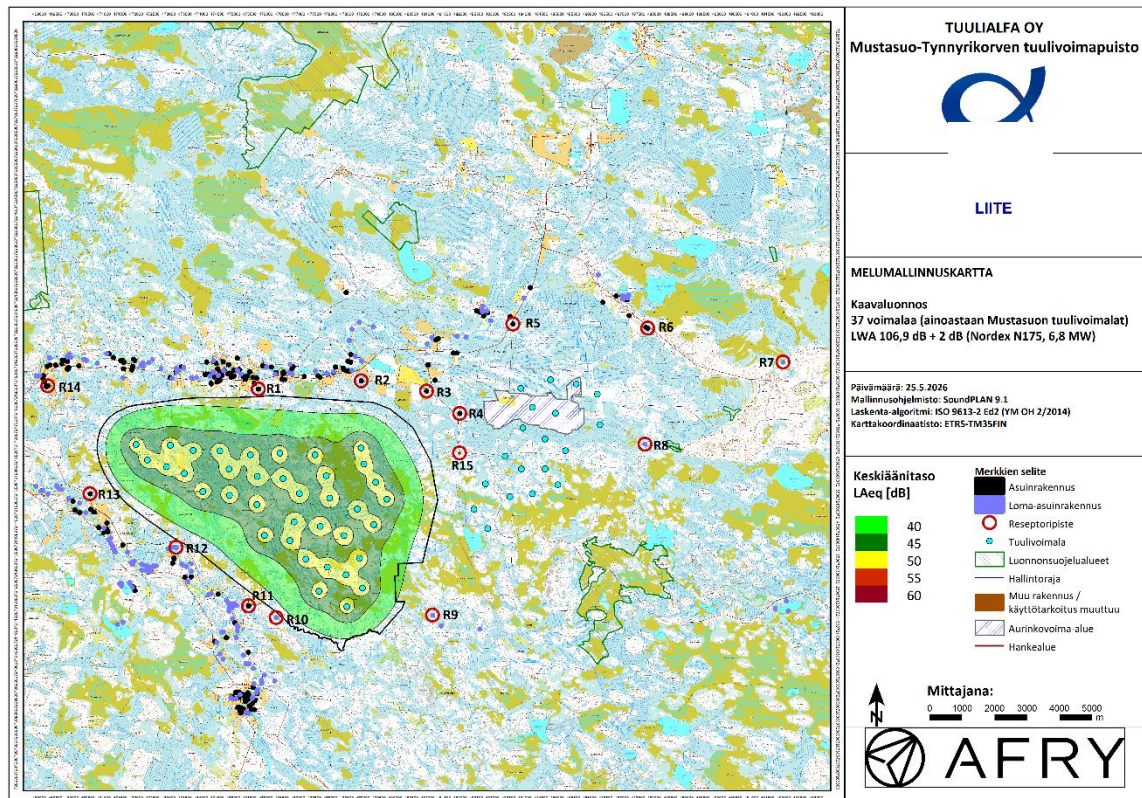
### 3 MALLINNUSTULOKSET

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty kappaleessa 3.1 osayleiskaavaluonnoksen mukaiselle hankesuunnitelmalle. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.2 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteessä 4.

#### 3.1 Ulkomelumallinnus

##### 3.1.1 Osayleiskaava

Osayleiskaavan melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Mustasuon hankealueen 37:lle suunnitellulle voimalalle eroteltuna kahteen voimalamalliin (Nordex ja Vestas). Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 45 dB:n tasoa.

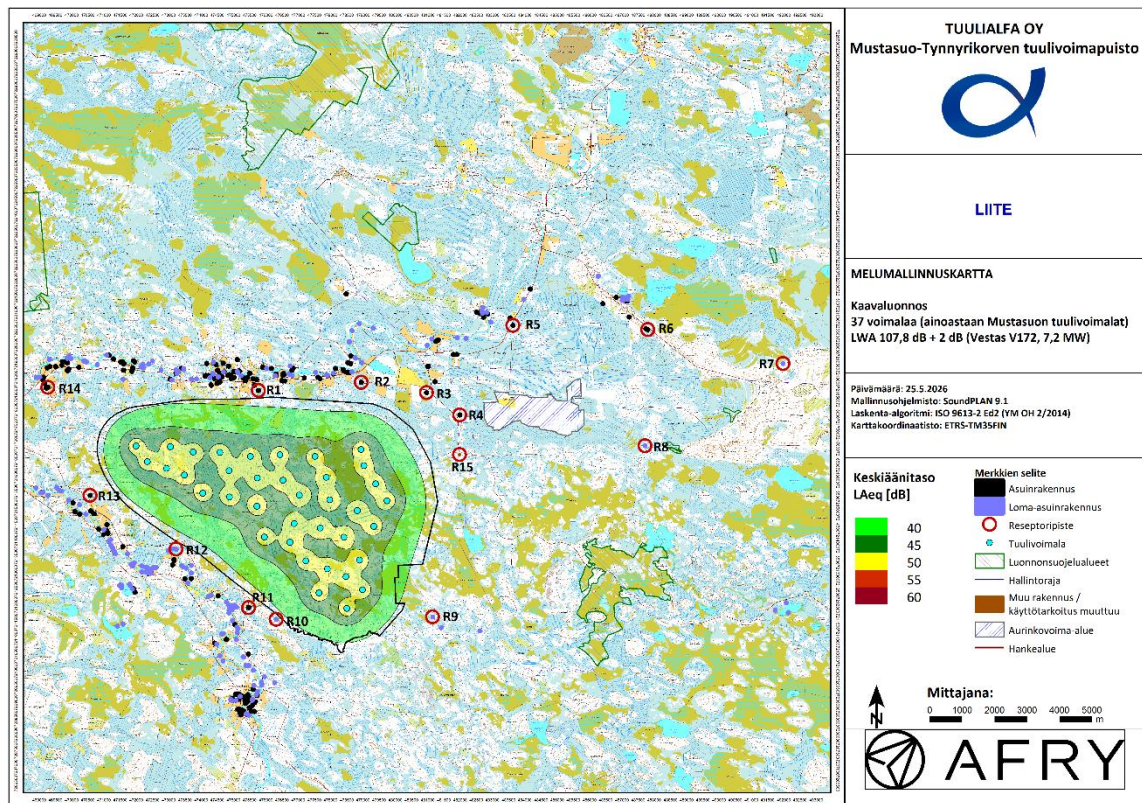


**Kuva 3-1. Osayleiskaavan melumallinnuskartta (voimalamalli Nordex N175), keskiäänitaso LAeq.**

Seuraavassa taulukoissa (Taulukko 3-1 ja Taulukko 3-2) on esitetty yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

**Taulukko 3-1. Osayleiskaavan melumallinnuksen (voimalamalli Nordex N175) reseptoripistetulokset.**

| Reseptoripiste |                             |                    | Reseptoripiste |                             |                    |
|----------------|-----------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|
| Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Keskiäänitaso LAeq | Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Keskiäänitaso LAeq |
| <b>R1</b>      | asuinrakennus               | 37,4 dB            | <b>R8</b>      | loma-asuinrakennus          | 23,2 dB            |
| <b>R2</b>      | asuinrakennus               | 35,2 dB            | <b>R9</b>      | loma-asuinrakennus          | 34,4 dB            |
| <b>R3</b>      | asuinrakennus               | 32,8 dB            | <b>R10</b>     | loma-asuinrakennus          | 38,2 dB            |
| <b>R4</b>      | asuinrakennus               | 31,8 dB            | <b>R11</b>     | asuinrakennus               | 37,0 dB            |
| <b>R5</b>      | asuinrakennus               | 25,8 dB            | <b>R12</b>     | loma-asuinrakennus          | 37,3 dB            |
| <b>R6</b>      | asuinrakennus               | 21,9 dB            | <b>R13</b>     | asuinrakennus               | 34,9 dB            |
| <b>R7</b>      | loma-asuinrakennus          | 18,8 dB            | <b>R14</b>     | asuinrakennus               | 29,4 dB            |
|                |                             |                    | <b>R15</b>     | loma-asuinrakennus          | 33,6 dB            |



**Kuva 3-2. Osayleiskaavan melumallinnuskartta (voimalamalli Vestas V172), keskiäänitaso LAeq.**

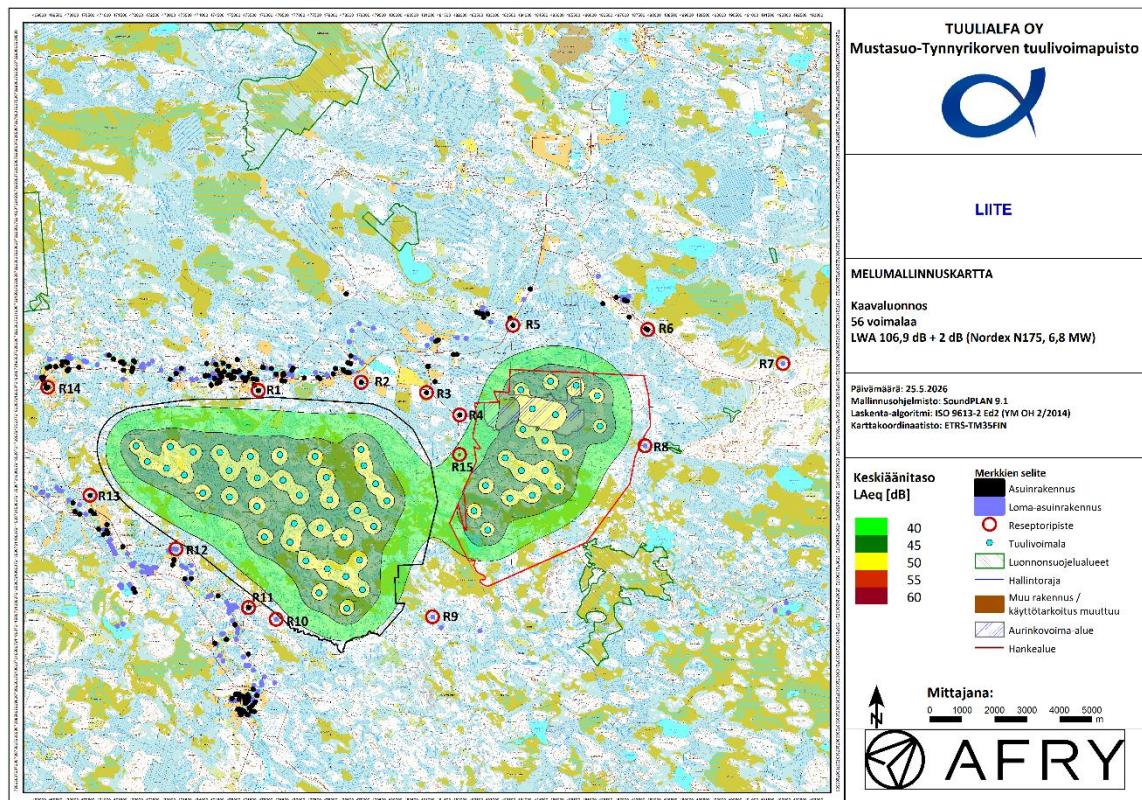
**Taulukko 3-2. Osayleiskaavan melumallinnuksen (voimalamalli Vestas V172) reseptoripistetulokset.**

| Reseptoripiste |                             |                    | Tulokset   |                             |                    |
|----------------|-----------------------------|--------------------|------------|-----------------------------|--------------------|
| Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Keskiäänitaso LAeq | Nimi       | Rakennuksen käyttötarkoitus | Keskiäänitaso LAeq |
| <b>R1</b>      | asuinrakennus               | 38,0 dB            | <b>R8</b>  | loma-asuinrakennus          | 23,6 dB            |
| <b>R2</b>      | asuinrakennus               | 35,8 dB            | <b>R9</b>  | loma-asuinrakennus          | 35,0 dB            |
| <b>R3</b>      | asuinrakennus               | 33,5 dB            | <b>R10</b> | loma-asuinrakennus          | 38,8 dB            |
| <b>R4</b>      | asuinrakennus               | 32,5 dB            | <b>R11</b> | asuinrakennus               | 37,6 dB            |
| <b>R5</b>      | asuinrakennus               | 26,3 dB            | <b>R12</b> | loma-asuinrakennus          | 37,9 dB            |
| <b>R6</b>      | asuinrakennus               | 22,2 dB            | <b>R13</b> | asuinrakennus               | 35,5 dB            |
| <b>R7</b>      | loma-asuinrakennus          | 18,9 dB            | <b>R14</b> | asuinrakennus               | 30,0 dB            |
|                |                             |                    | <b>R15</b> | loma-asuinrakennus          | 34,2 dB            |

Melun leviämislaskennan perusteella huomioiden tarkastellut voimalamallivaihtoehdot osayleiskaavan 40 dB:n yöajan ohjearvo ulkona alittuu kaikkien lähimpien kohteiden pihoilla. Reseptoripisteen R15 loma-asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta neuvotellaan. Päiväajan ohjearvo 45 dB ei ylitä missään reseptoripisteessä (R1-R15).

### 3.1.2 Osayleiskaavan yhteismeluvaikutukset

Osayleiskaavan melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Mustasuon hankealueen 37:lle ja Tynnyrikorven hankealueen 19:lle suunnitellulle voimalalle eroteltuna kahteen voimalamalliin (Nordex N175 ja Vestas V172). Tynnyrikorven aurinkovoima-alueesta ei synny muutoksia meluarvoihin. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 45 dB:n tasoa.

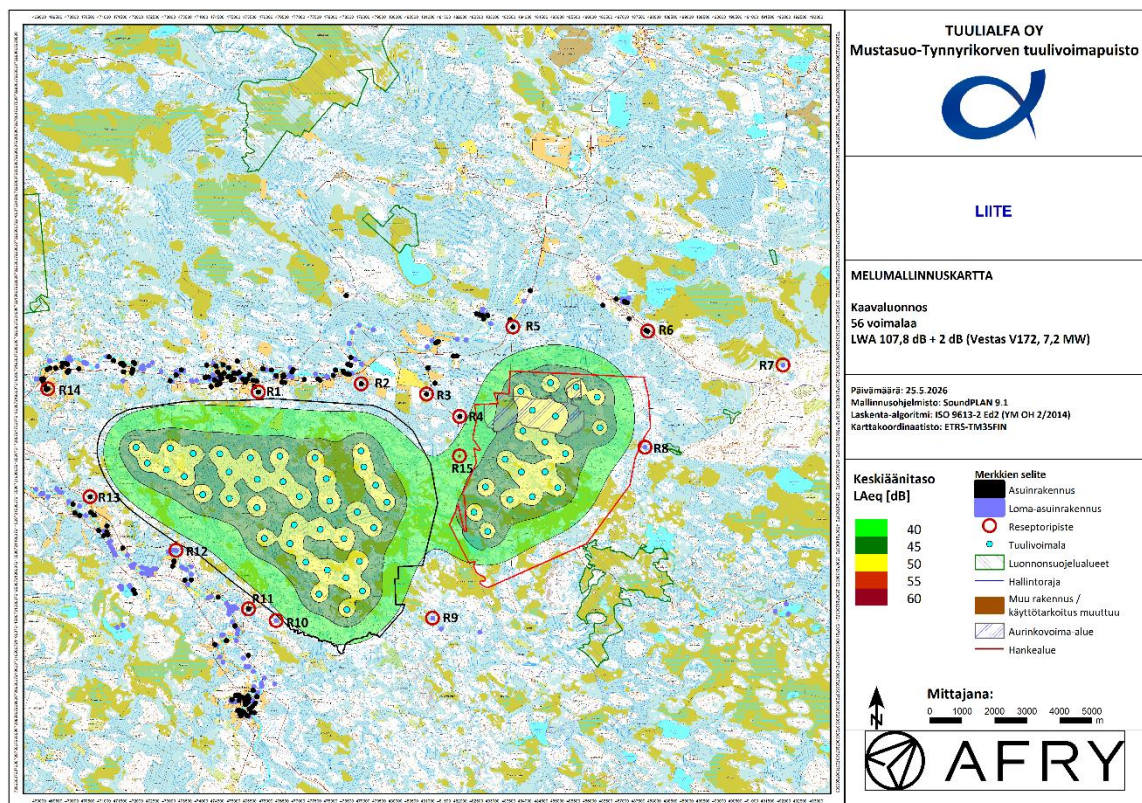


**Kuva 3-3. Osayleiskaavan yhteismelumallinnuskartta (voimalamalli Nordex N175), keskiäänitaso LAeq.**

**Taulukko 3-3. Osayleiskaavan yhteismelumallinnuksen (voimalamalli Nordex N175) reseptoripistetulokset.**

| Reseptoripiste |                             |                    | Reseptoripiste |                             |                    |
|----------------|-----------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|
| Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Keskiäänitaso LAeq | Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Keskiäänitaso LAeq |
| <b>R1</b>      | asuinrakennus               | 37,5 dB            | <b>R8</b>      | loma-asuinrakennus          | 36,7 dB            |

| Reseptoripiste |                             |                                | Reseptoripiste |                             |                                |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Tulokset<br>Keskiäänitaso LAeq | Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Tulokset<br>Keskiäänitaso LAeq |
| <b>R2</b>      | asuinrakennus               | 35,9 dB                        | <b>R9</b>      | loma-asuinrakennus          | 35,5 dB                        |
| <b>R3</b>      | asuinrakennus               | 35,9 dB                        | <b>R10</b>     | loma-asuinrakennus          | 38,3 dB                        |
| <b>R4</b>      | asuinrakennus               | 38,6 dB                        | <b>R11</b>     | asuinrakennus               | 37,1 dB                        |
| <b>R5</b>      | asuinrakennus               | 35,5 dB                        | <b>R12</b>     | loma-asuinrakennus          | 37,3 dB                        |
| <b>R6</b>      | asuinrakennus               | 32,4 dB                        | <b>R13</b>     | asuinrakennus               | 35,0 dB                        |
| <b>R7</b>      | loma-asuinrakennus          | 25,3 dB                        | <b>R14</b>     | asuinrakennus               | 29,6 dB                        |
|                |                             |                                | <b>R15</b>     | loma-asuinrakennus          | 40,9 dB                        |



**Kuva 3-4. Osayleiskaavan yhteismelumallinnuskartta (voimalamalli Vestas V172), keskiäänitaso LAeq.**

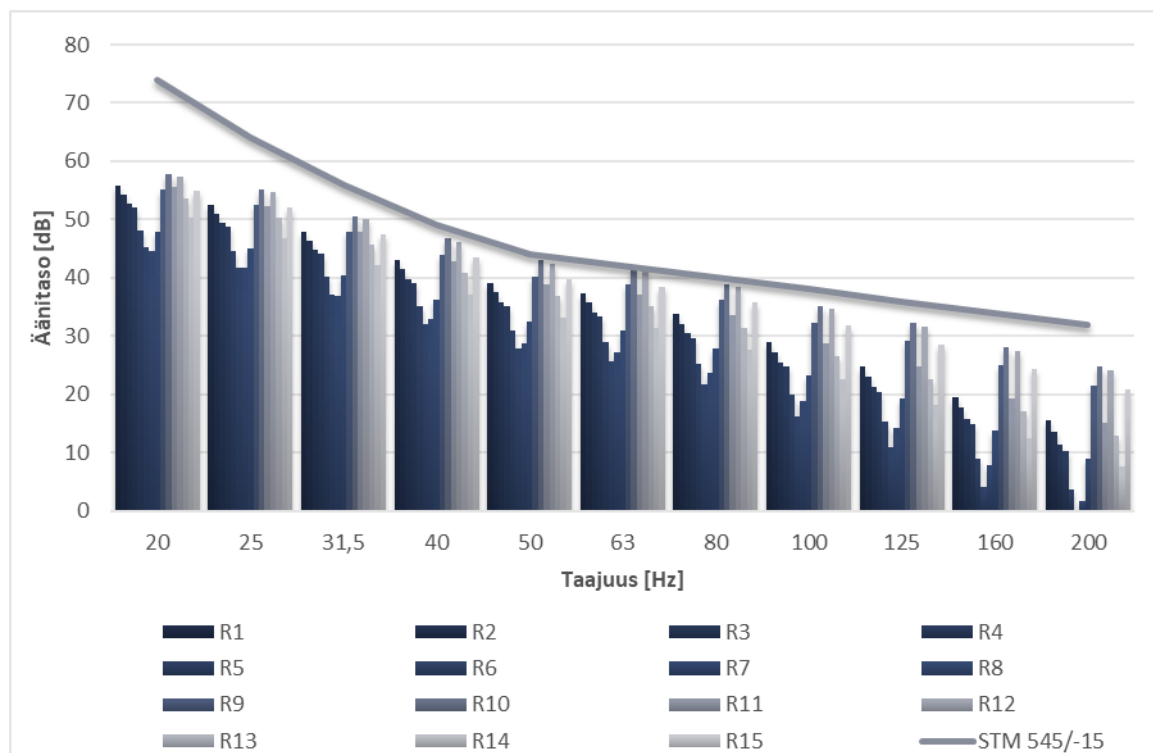
**Taulukko 3-4. Osayleiskaavan yhteismelumallinnuksen (voimalamalli Vestas V172) reseptoripistetulokset.**

| Reseptoripiste |                             | Tulokset           | Reseptoripiste |                             | Tulokset           |
|----------------|-----------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|
| Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Keskiäänitaso LAeq | Nimi           | Rakennuksen käyttötarkoitus | Keskiäänitaso LAeq |
| <b>R1</b>      | asuinrakennus               | 38,1 dB            | <b>R8</b>      | loma-asuinrakennus          | 37,3 dB            |
| <b>R2</b>      | asuinrakennus               | 36,5 dB            | <b>R9</b>      | loma-asuinrakennus          | 36,1 dB            |
| <b>R3</b>      | asuinrakennus               | 36,5 dB            | <b>R10</b>     | loma-asuinrakennus          | 38,9 dB            |
| <b>R4</b>      | asuinrakennus               | 39,2 dB            | <b>R11</b>     | asuinrakennus               | 37,8 dB            |
| <b>R5</b>      | asuinrakennus               | 36,1 dB            | <b>R12</b>     | loma-asuinrakennus          | 37,9 dB            |
| <b>R6</b>      | asuinrakennus               | 33,0 dB            | <b>R13</b>     | asuinrakennus               | 35,6 dB            |
| <b>R7</b>      | loma-asuinrakennus          | 25,7 dB            | <b>R14</b>     | asuinrakennus               | 30,2 dB            |
|                |                             |                    | <b>R15</b>     | loma-asuinrakennus          | 41,4 dB            |

Yhteismelun leviämislaskennan perusteella huomioiden tarkastellut voimalamallivaihtoehdot osayleiskaavan 40 dB:n yöajan ohjearvo ulkona ylittyy reseptoripisteessä R15. Reseptoripisteen R15 loma-asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta neuvotellaan. Päiväajan ohjearvo 45 dB ei ylitä missään reseptoripisteessä (R1-R15).

### 3.2 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 20–200 Hz. Laskenta suoritettiin YM ohjeen laskentaohjeen mukaisesti käyttäen suomalaistutkimuksen antamia pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron estimaattiarvoja DL84% ja DL90%, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al. 2017, 2019).

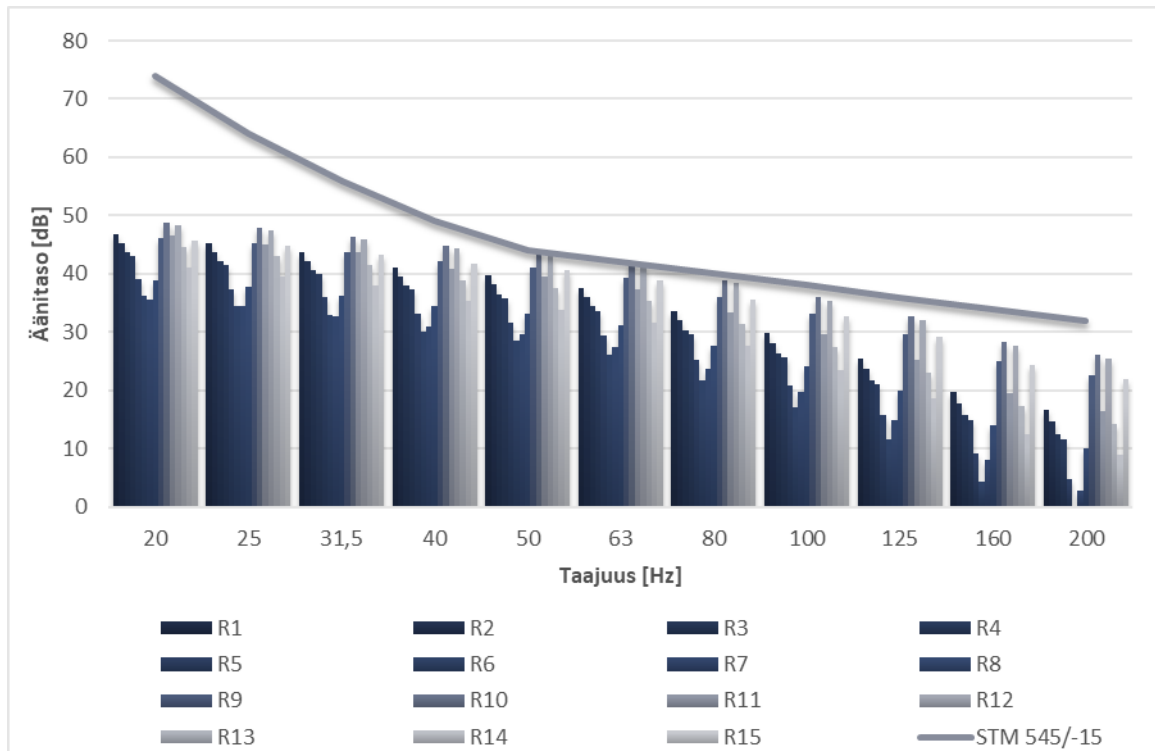


**Kuva 3-5. Osayleiskaavan pienitaajuisten melulaskennan tulokuvaaja (voimalamalli Nordex N175).**

Pienitaajuisten melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat osayleiskaavassa kaikissa reseptoripisteissä. Suurimmat arvot sisätiloissa saavutetaan osayleiskaavan laskentojen reseptoripisteessä R10. Reseptoripisteessä R15 käydään rakennuksen käyttötarkoituksen muutosneuvotteluja.

**Taulukko 3-5. Osayleiskaavan pientaajuksen melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 (voimalamalli Nordex N175). Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alitumista.**

| Reseptori  | 20    | 25    | 31,5  | 40    | 50    | 63    | 80    | 100   | 125   | 160   | 200   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>R1</b>  | -18,1 | -11,5 | -8,0  | -6,0  | -5,0  | -4,7  | -6,3  | -9,1  | -11,1 | -14,4 | -16,5 |
| <b>R2</b>  | -19,7 | -13,0 | -9,6  | -7,6  | -6,5  | -6,3  | -7,9  | -10,8 | -12,9 | -16,3 | -18,5 |
| <b>R3</b>  | -21,2 | -14,6 | -11,2 | -9,2  | -8,2  | -8,0  | -9,6  | -12,5 | -14,7 | -18,3 | -20,7 |
| <b>R4</b>  | -21,9 | -15,3 | -11,8 | -9,8  | -8,8  | -8,6  | -10,3 | -13,3 | -15,5 | -19,2 | -21,7 |
| <b>R5</b>  | -25,8 | -19,3 | -15,9 | -14,0 | -13,0 | -13,0 | -14,8 | -18,1 | -20,8 | -25,0 | -28,4 |
| <b>R6</b>  | -28,7 | -22,3 | -18,9 | -17,1 | -16,2 | -16,3 | -18,3 | -21,8 | -25,0 | -29,9 | -34,1 |
| <b>R7</b>  | -29,4 | -22,3 | -19,0 | -16,1 | -15,2 | -14,9 | -16,3 | -19,1 | -21,7 | -26,1 | -30,4 |
| <b>R8</b>  | -26,1 | -19,0 | -15,7 | -12,7 | -11,6 | -11,1 | -12,2 | -14,7 | -16,7 | -20,1 | -23,2 |
| <b>R9</b>  | -18,8 | -11,5 | -8,1  | -5,0  | -3,8  | -3,0  | -3,8  | -5,7  | -6,8  | -9,1  | -10,6 |
| <b>R10</b> | -16,1 | -8,8  | -5,4  | -2,3  | -1,1  | -0,3  | -1,0  | -2,8  | -3,8  | -5,9  | -7,1  |
| <b>R11</b> | -18,3 | -11,7 | -8,2  | -6,2  | -5,2  | -4,9  | -6,5  | -9,3  | -11,3 | -14,7 | -16,8 |
| <b>R12</b> | -16,6 | -9,3  | -5,9  | -2,8  | -1,6  | -0,8  | -1,6  | -3,4  | -4,4  | -6,5  | -7,8  |
| <b>R13</b> | -20,3 | -13,7 | -10,2 | -8,2  | -7,2  | -7,0  | -8,6  | -11,4 | -13,5 | -16,9 | -19,1 |
| <b>R14</b> | -23,8 | -17,2 | -13,8 | -11,8 | -10,8 | -10,7 | -12,4 | -15,4 | -17,8 | -21,6 | -24,3 |
| <b>R15</b> | -19,2 | -11,9 | -8,5  | -5,4  | -4,2  | -3,5  | -4,3  | -6,2  | -7,4  | -9,7  | -11,2 |

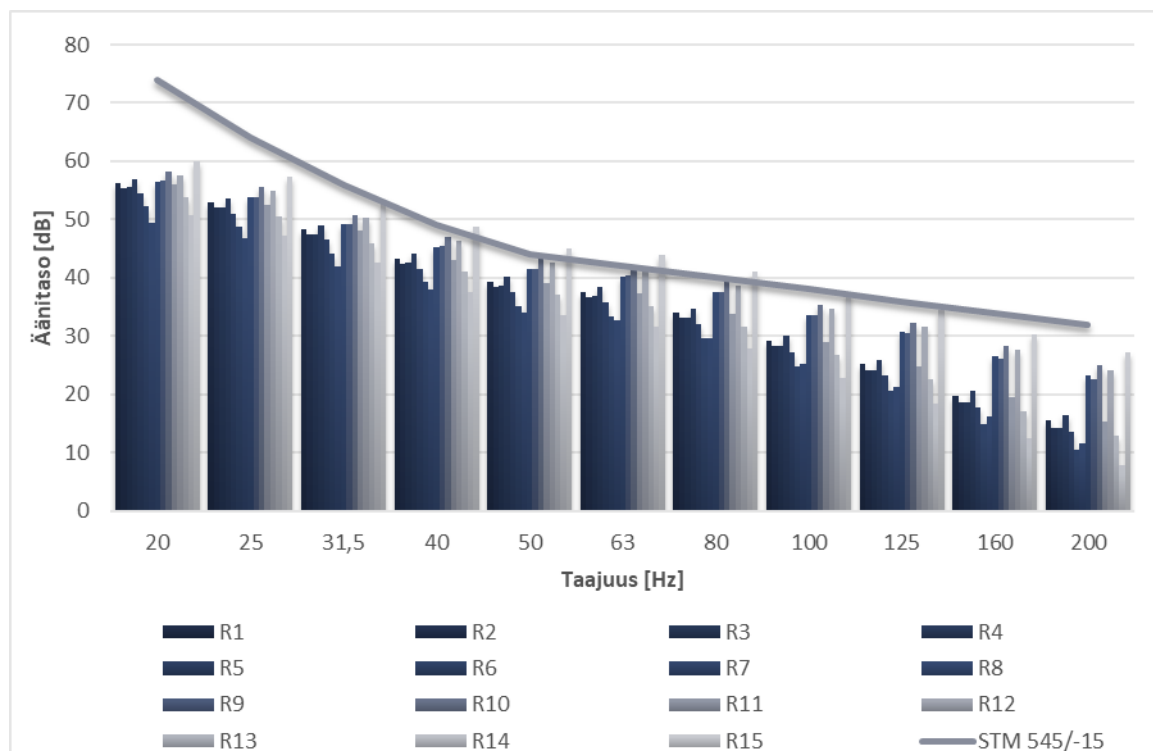


**Kuva 3-6. Osayleiskaavan pienitaajuisen melulaskennan tulokuvaaja (voimalamalli Vestas V172).**

Pienitaajuisen melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat osayleiskaavassa kaikissa reseptoripisteissä. Suurimmat arvot sisätiloissa saavutetaan osayleiskaavan laskeutujen reseptoripisteessä R10. Reseptoripisteessä R15 käydään rakennuksen käyttötarkoituksen muutosneuvotteluita.

**Taulukko 3-6. Osayleiskaavan pientaajuisen melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 (voimalamalli Vestas V172). Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alitumista.**

| Reseptori  | 20    | 25    | 31,5  | 40    | 50    | 63    | 80    | 100   | 125   | 160   | 200   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>R1</b>  | -27,2 | -18,8 | -12,2 | -7,9  | -4,3  | -4,4  | -6,4  | -8,3  | -10,6 | -14,3 | -15,3 |
| <b>R2</b>  | -28,7 | -20,3 | -13,8 | -9,4  | -5,8  | -6,0  | -8,0  | -9,9  | -12,3 | -16,2 | -17,3 |
| <b>R3</b>  | -30,3 | -21,9 | -15,4 | -11,1 | -7,5  | -7,6  | -9,7  | -11,7 | -14,2 | -18,2 | -19,5 |
| <b>R4</b>  | -30,9 | -22,6 | -16,0 | -11,7 | -8,1  | -8,3  | -10,4 | -12,4 | -15,0 | -19,0 | -20,4 |
| <b>R5</b>  | -34,9 | -26,6 | -20,1 | -15,9 | -12,3 | -12,7 | -14,9 | -17,2 | -20,2 | -24,9 | -27,2 |
| <b>R6</b>  | -37,8 | -29,6 | -23,1 | -18,9 | -15,5 | -15,9 | -18,3 | -21,0 | -24,5 | -29,8 | -32,9 |
| <b>R7</b>  | -38,4 | -29,6 | -23,2 | -18,0 | -14,4 | -14,6 | -16,3 | -18,3 | -21,2 | -26,0 | -29,2 |
| <b>R8</b>  | -35,2 | -26,2 | -19,8 | -14,6 | -10,9 | -10,8 | -12,3 | -13,9 | -16,1 | -20,0 | -21,9 |
| <b>R9</b>  | -27,8 | -18,7 | -12,3 | -6,9  | -3,0  | -2,7  | -3,9  | -4,9  | -6,3  | -9,0  | -9,3  |
| <b>R10</b> | -25,2 | -16,1 | -9,6  | -4,2  | -0,3  | 0,0   | -1,1  | -2,0  | -3,3  | -5,8  | -5,9  |
| <b>R11</b> | -27,4 | -19,0 | -12,4 | -8,1  | -4,4  | -4,6  | -6,5  | -8,5  | -10,8 | -14,5 | -15,6 |
| <b>R12</b> | -25,7 | -16,6 | -10,1 | -4,7  | -0,8  | -0,5  | -1,7  | -2,6  | -3,9  | -6,4  | -6,6  |
| <b>R13</b> | -29,4 | -21,0 | -14,4 | -10,1 | -6,5  | -6,6  | -8,6  | -10,6 | -13,0 | -16,8 | -17,9 |
| <b>R14</b> | -32,9 | -24,5 | -17,9 | -13,7 | -10,1 | -10,3 | -12,5 | -14,6 | -17,3 | -21,5 | -23,1 |
| <b>R15</b> | -28,3 | -19,1 | -12,7 | -7,3  | -3,5  | -3,2  | -4,4  | -5,4  | -6,8  | -9,6  | -10,0 |

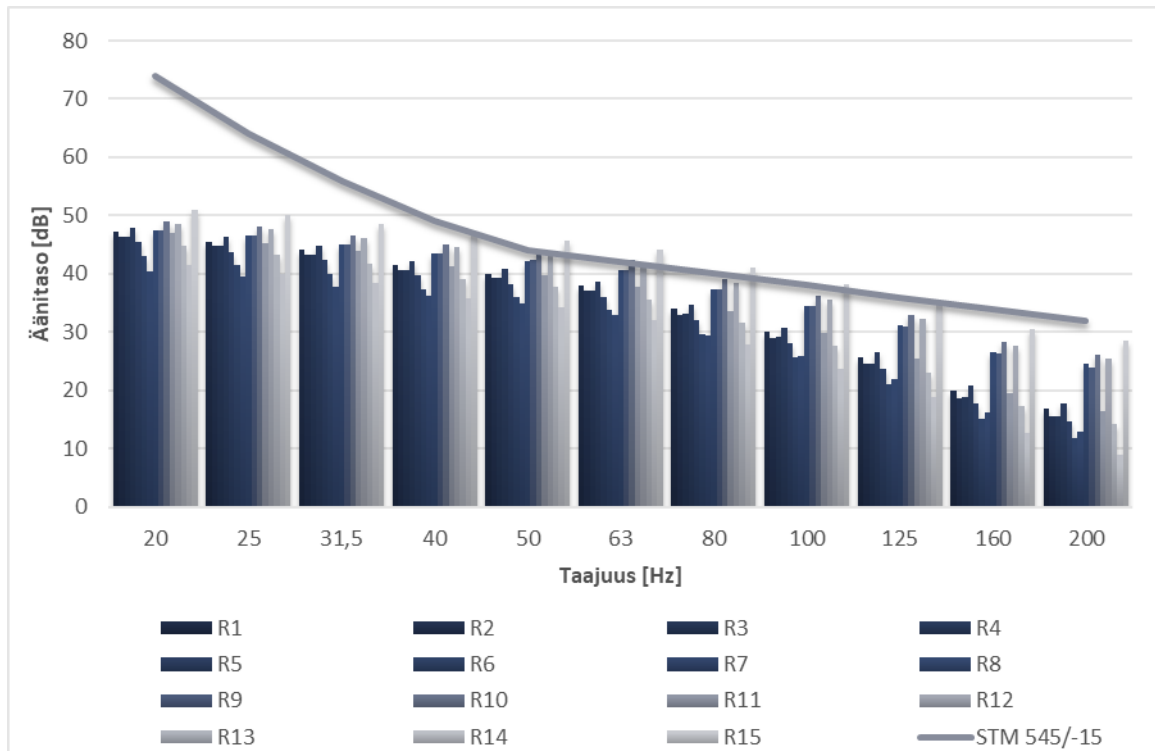


**Kuva 3-7. Yhteismeluvaikutus, Osayleiskaavan pienitaajuisen melulaskennan tuloskuvaaja (voimalamalli Nordex N175).**

Pienitaajuisen melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat ylittyvät osayleiskaavassa reseptoripisteessä R15. Suurimmat arvot sisätiloissa saavutetaan osayleiskaavan laskentojen reseptoripisteessä R15. Reseptoripisteessä R15 käydään rakennuksen käyttötarkoituksen muutosneuvotteluita. Kaikkiaan ylitykset reseptoripisteessä R15 ovat taajuudesta riippuen välillä 1,0–1,8 dB.

**Taulukko 3-7. Yhteismeluvaikutus, Osayleiskaavan pientaajuisten melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 (voimalamalli Nordex N175). Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista.**

| Reseptori  | 20    | 25    | 31,5  | 40    | 50    | 63    | 80    | 100   | 125   | 160   | 200   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>R1</b>  | -17,8 | -11,2 | -7,7  | -5,7  | -4,7  | -4,4  | -6,0  | -8,8  | -10,9 | -14,3 | -16,4 |
| <b>R2</b>  | -18,6 | -12,0 | -8,5  | -6,5  | -5,5  | -5,3  | -6,9  | -9,8  | -12,0 | -15,5 | -17,8 |
| <b>R3</b>  | -18,5 | -11,9 | -8,5  | -6,4  | -5,4  | -5,2  | -6,8  | -9,7  | -11,9 | -15,4 | -17,7 |
| <b>R4</b>  | -17,1 | -10,4 | -7,0  | -4,9  | -3,9  | -3,7  | -5,2  | -8,0  | -10,1 | -13,4 | -15,5 |
| <b>R5</b>  | -19,5 | -12,9 | -9,5  | -7,5  | -6,5  | -6,2  | -7,9  | -10,7 | -12,9 | -16,3 | -18,5 |
| <b>R6</b>  | -21,8 | -15,2 | -11,8 | -9,8  | -8,8  | -8,6  | -10,3 | -13,3 | -15,5 | -19,1 | -21,5 |
| <b>R7</b>  | -24,5 | -17,3 | -14,0 | -11,0 | -9,9  | -9,4  | -10,5 | -12,8 | -14,7 | -17,8 | -20,4 |
| <b>R8</b>  | -17,5 | -10,2 | -6,8  | -3,7  | -2,5  | -1,7  | -2,5  | -4,3  | -5,4  | -7,5  | -8,8  |
| <b>R9</b>  | -17,4 | -10,1 | -6,7  | -3,6  | -2,4  | -1,7  | -2,5  | -4,4  | -5,6  | -7,9  | -9,4  |
| <b>R10</b> | -15,8 | -8,5  | -5,2  | -2,0  | -0,8  | 0,0   | -0,8  | -2,6  | -3,6  | -5,8  | -7,0  |
| <b>R11</b> | -18,0 | -11,4 | -7,9  | -5,9  | -4,9  | -4,6  | -6,2  | -9,1  | -11,1 | -14,5 | -16,7 |
| <b>R12</b> | -16,4 | -9,1  | -5,7  | -2,6  | -1,4  | -0,6  | -1,4  | -3,2  | -4,3  | -6,5  | -7,8  |
| <b>R13</b> | -20,1 | -13,5 | -10,0 | -8,0  | -7,0  | -6,8  | -8,4  | -11,3 | -13,4 | -16,8 | -19,0 |
| <b>R14</b> | -23,3 | -16,8 | -13,4 | -11,4 | -10,4 | -10,3 | -12,1 | -15,2 | -17,6 | -21,5 | -24,2 |
| <b>R15</b> | -14,1 | -6,7  | -3,4  | -0,2  | 1,0   | 1,8   | 1,1   | -0,7  | -1,6  | -3,6  | -4,8  |



**Kuva 3-8. Yhteismeluvaikutus, Osayleiskaavan pienitaajuisen melulaskennan tuloskuvaaja (voimalamalli Vestas V172).**

Pienitaajuisen melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat ylittyvät osayleiskaavassa reseptoripisteissä R10 ja R15. Sisätilan toimenpiderajat ylittyvät reseptoripisteessä R10 ainoastaan + 0,3 dB. Suurimmat arvot sisätiloissa saavutetaan osayleiskaavan laskeutujen reseptoripisteessä R15. Reseptoripisteessä R15 käydään rakennuksen käyttötarkoituksen muutosneuvotteluja. Kaikkiaan ylitykset ovat taajuudesta riippuen välillä 0,3–2,1 dB.

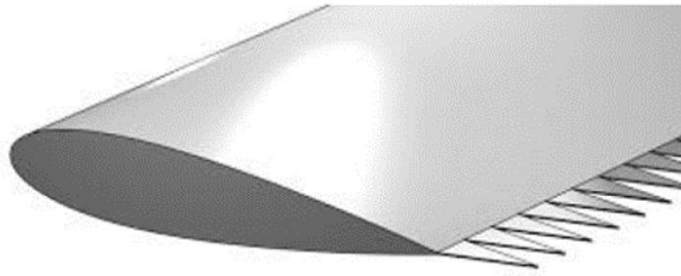
**Taulukko 3-8. Yhteismeluvaikutus, Osayleiskaavan pientaajuisten melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 (voimalamalli Vestas V172). Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista.**

| Reseptori  | 20    | 25    | 31,5  | 40    | 50   | 63    | 80    | 100   | 125   | 160   | 200   |
|------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>R1</b>  | -26,9 | -18,4 | -11,9 | -7,6  | -3,9 | -4,1  | -6,1  | -8,0  | -10,4 | -14,1 | -15,2 |
| <b>R2</b>  | -27,7 | -19,3 | -12,7 | -8,4  | -4,8 | -5,0  | -7,0  | -9,0  | -11,4 | -15,3 | -16,6 |
| <b>R3</b>  | -27,6 | -19,2 | -12,6 | -8,3  | -4,7 | -4,9  | -6,9  | -8,9  | -11,3 | -15,2 | -16,5 |
| <b>R4</b>  | -26,1 | -17,7 | -11,1 | -6,8  | -3,2 | -3,3  | -5,3  | -7,2  | -9,5  | -13,3 | -14,3 |
| <b>R5</b>  | -28,6 | -20,2 | -13,7 | -9,4  | -5,7 | -5,9  | -7,9  | -9,9  | -12,3 | -16,2 | -17,3 |
| <b>R6</b>  | -30,9 | -22,5 | -15,9 | -11,7 | -8,1 | -8,3  | -10,4 | -12,4 | -15,0 | -19,0 | -20,3 |
| <b>R7</b>  | -33,6 | -24,6 | -18,2 | -12,9 | -9,2 | -9,1  | -10,6 | -12,0 | -14,1 | -17,7 | -19,2 |
| <b>R8</b>  | -26,6 | -17,4 | -11,0 | -5,6  | -1,7 | -1,4  | -2,6  | -3,5  | -4,9  | -7,4  | -7,5  |
| <b>R9</b>  | -26,5 | -17,3 | -10,9 | -5,5  | -1,7 | -1,4  | -2,6  | -3,6  | -5,0  | -7,7  | -8,2  |
| <b>R10</b> | -24,9 | -15,8 | -9,3  | -3,9  | -0,1 | 0,3   | -0,9  | -1,8  | -3,1  | -5,6  | -5,8  |
| <b>R11</b> | -27,1 | -18,7 | -12,1 | -7,8  | -4,2 | -4,3  | -6,3  | -8,2  | -10,6 | -14,4 | -15,5 |
| <b>R12</b> | -25,5 | -16,4 | -9,9  | -4,5  | -0,7 | -0,3  | -1,5  | -2,4  | -3,8  | -6,3  | -6,6  |
| <b>R13</b> | -29,2 | -20,8 | -14,2 | -9,9  | -6,3 | -6,5  | -8,5  | -10,5 | -12,9 | -16,7 | -17,8 |
| <b>R14</b> | -32,4 | -24,1 | -17,5 | -13,3 | -9,7 | -10,0 | -12,1 | -14,3 | -17,1 | -21,3 | -23,0 |
| <b>R15</b> | -23,1 | -14,0 | -7,5  | -2,1  | 1,8  | 2,1   | 1,0   | 0,1   | -1,1  | -3,5  | -3,6  |

## 4 VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN

### 4.1 Tekniset ratkaisut

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin, sijoitussuunnittelun sekä siipityypin valinnalla. Suurin osa nykyisten tuulivoimaloiden siipimalleista sisältää muun muassa jättöreunan sahalaudoituksen (Kuva 4-1), jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä noin 3–5 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017).



**Kuva 4-1. Havainnollistus tuulivoimalan siiven jättöreunan sahalaoiduksesta (Martinez et al., 2019).**

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. Säästöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus ja -suunta sekä kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi myös voimalan äänipäästöä. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Melumallinnustulosten perusteella Mustasuon osayleiskaavassa melutason optimointia ei tarvita. Mallinnus on tehty kaavan ohjeellisilla sijoituspaikoilla, joka mahdollistaa myös voimaloiden siirron etäämmäksi kohteesta tv-alueiden rajojen puitteissa.

## 5 LÄHDELUETTELO

**Arce León, C. 2017.** 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. 2012.** The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise, Acta Acustica united with Acustica 98, 741-748, 2012.

**Gupta, M. Madsen, K. 2019.** 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. 2019.** 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.

**Jakobsen, J. 2012.** Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.

**Keränen et al. 2019a.** The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.

**Keränen et al. 2019b.** Anojanssi -projektin tulokset: Ympäristömelun häiritsevyys. Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä, Akustiikkapäivät 2019, s. 276-279.

**R. M. Martínez, R. et al.** Assessment of the sound quality of wind turbine noise reduction measures. Environmental Science, Engineering, 2019.

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

**STMa 545/2015.** Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2015.

**VNa 1107/2015.** Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjeistuksesta. Astui voimaan 1.9.2015.

**van den Berg, G. P. 2006.** The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.

**YM9/5511/2016.** Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, YM9/5511/2016.

**Ympäristöministeriö 1995.** Ympäristömelun mittaaminen. Ohje I 1995.

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

**Ympäristöministeriö 2/2014.** Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014.

**Ympäristöministeriö 2016.** Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Ympäristöministeriö, 2016.

**Liite 1. Tuulivoimaloiden (Mustasuo pun. ja Tynnyrikorpi sin.) ja reseptoripisteiden koordinaatit melumallinnuksen ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa**

**Tuulivoimaloiden koordinaatit, osayleiskaava.**

| No  | x-koordinaatti | y-koordinaatti | z-koordinaatti | Napakorkeus, m |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| M1  | 471991,3       | 7216914,6      | 89,1           | 200,0          |
| M2  | 472340,8       | 7216432,4      | 85,6           | 200,0          |
| M3  | 473050,7       | 7216890,1      | 91,7           | 200,0          |
| M4  | 472935,5       | 7216223,2      | 85,0           | 200,0          |
| M5  | 473481,2       | 7216017,0      | 88,9           | 200,0          |
| M6  | 474051,0       | 7215457,8      | 89,7           | 200,0          |
| M7  | 474881,3       | 7215338,0      | 90,9           | 200,0          |
| M8  | 475723,9       | 7215056,1      | 100,8          | 200,0          |
| M9  | 475954,5       | 7214107,8      | 96,5           | 200,0          |
| M10 | 476745,9       | 7213942,1      | 98,3           | 200,0          |
| M11 | 477900,9       | 7213123,6      | 108,7          | 200,0          |
| M12 | 477239,4       | 7213367,7      | 100,4          | 200,0          |
| M13 | 478476,9       | 7212887,1      | 106,0          | 200,0          |
| M14 | 478896,5       | 7213397,1      | 111,5          | 200,0          |
| M15 | 478988,9       | 7212478,9      | 101,4          | 200,0          |
| M16 | 477640,2       | 7212377,8      | 96,6           | 200,0          |
| M17 | 478501,1       | 7211903,4      | 98,3           | 200,0          |
| M18 | 479029,2       | 7216305,7      | 102,5          | 200,0          |
| M19 | 478943,8       | 7216806,6      | 107,6          | 200,0          |
| M20 | 479392,9       | 7215744,7      | 105,2          | 200,0          |
| M21 | 479745,0       | 7215224,7      | 109,3          | 200,0          |
| M22 | 473757,5       | 7216726,5      | 90,8           | 200,0          |
| M23 | 474578,7       | 7216713,7      | 89,4           | 200,0          |
| M24 | 474864,3       | 7216152,3      | 89,3           | 200,0          |
| M25 | 475526,6       | 7216591,9      | 92,2           | 200,0          |
| M26 | 475739,9       | 7215924,3      | 91,8           | 200,0          |
| M27 | 476436,2       | 7216641,2      | 94,8           | 200,0          |
| M28 | 477521,3       | 7216593,7      | 99,2           | 200,0          |
| M29 | 476872,0       | 7214517,6      | 99,4           | 200,0          |
| M30 | 477679,3       | 7214383,6      | 102,5          | 200,0          |
| M31 | 478409,2       | 7214097,7      | 110,9          | 200,0          |
| M32 | 477038,8       | 7215399,8      | 97,7           | 200,0          |

|     |          |           |       |       |
|-----|----------|-----------|-------|-------|
| M33 | 476534,2 | 7215858,0 | 95,2  | 200,0 |
| M34 | 479333,3 | 7214436,6 | 111,6 | 200,0 |
| M35 | 478826,5 | 7214920,3 | 102,5 | 200,0 |
| M36 | 477974,4 | 7215257,7 | 101,8 | 200,0 |
| M37 | 477868,4 | 7215944,7 | 100,4 | 200,0 |
| T1  | 482853,7 | 7214316,3 | 111,3 | 200,0 |
| T2  | 482428,0 | 7214911,7 | 110,3 | 200,0 |
| T3  | 483540,8 | 7215299,8 | 113,2 | 200,0 |
| T4  | 483896,6 | 7216149,6 | 110,2 | 200,0 |
| T5  | 484234,4 | 7215390,5 | 116,0 | 200,0 |
| T6  | 484625,9 | 7216158,7 | 115,0 | 200,0 |
| T7  | 485016,6 | 7215665,2 | 116,6 | 200,0 |
| T8  | 484624,4 | 7217082,1 | 104,7 | 200,0 |
| T9  | 483938,8 | 7217426,2 | 102,1 | 200,0 |
| T10 | 484240,6 | 7218056,7 | 99,3  | 200,0 |
| T11 | 484791,9 | 7218906,9 | 104,2 | 200,0 |
| T12 | 485589,9 | 7218779,0 | 98,8  | 200,0 |
| T13 | 486241,0 | 7218467,3 | 98,7  | 200,0 |
| T14 | 484950,4 | 7217877,8 | 99,2  | 200,0 |
| T15 | 485255,5 | 7216720,3 | 109,7 | 200,0 |
| T16 | 482782,7 | 7215696,3 | 109,6 | 200,0 |
| T17 | 483392,0 | 7216548,9 | 106,8 | 200,0 |
| T18 | 483875,9 | 7218643,3 | 103,4 | 200,0 |
| T19 | 486325,1 | 7217518,5 | 106,4 | 200,0 |

### Reseptoripisteiden koordinaatit.

| No | x-koordinaatti | y-koordinaatti | z-koordinaatti | Korkeus maanpinnalta |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------------|
| R1 | 475769         | 7218626        | 95             | 4 m                  |
| R2 | 478950         | 7218876        | 97             | 4 m                  |
| R3 | 480963         | 7218558        | 100            | 4 m                  |
| R4 | 481990         | 7217870        | 100            | 4 m                  |
| R5 | 483629         | 7220635        | 98             | 4 m                  |
| R6 | 487796         | 7220505        | 113            | 4 m                  |
| R7 | 491974         | 7219456        | 131            | 4 m                  |
| R8 | 487711         | 7216923        | 111            | 4 m                  |

|     |        |         |     |     |
|-----|--------|---------|-----|-----|
| R9  | 481152 | 7211642 | 104 | 4 m |
| R10 | 476319 | 7211570 | 87  | 4 m |
| R11 | 475470 | 7211932 | 84  | 4 m |
| R12 | 473225 | 7213735 | 82  | 4 m |
| R13 | 470571 | 7215392 | 86  | 4 m |
| R14 | 469267 | 7218722 | 88  | 4 m |
| R15 | 481984 | 7216651 | 105 | 4 m |

### Liite 6. Pienitaajuisten melun numeeriset laskentatulokset.

| Mustasuo (Nordex N175), osayleiskaava, tulokset ulkona |              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                        | Taajuus [Hz] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Reseptori                                              | 20           | 25   | 32   | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  | 200  |
| R1                                                     | 63,5         | 60,8 | 57,2 | 53,3 | 50,5 | 50,3 | 48,5 | 45,7 | 43,7 | 40,6 | 38,3 |
| R2                                                     | 61,9         | 59,3 | 55,6 | 51,7 | 49,0 | 48,7 | 46,9 | 44,0 | 41,9 | 38,7 | 36,3 |
| R3                                                     | 60,4         | 57,7 | 54,0 | 50,1 | 47,3 | 47,0 | 45,2 | 42,3 | 40,1 | 36,7 | 34,1 |
| R4                                                     | 59,7         | 57,0 | 53,4 | 49,5 | 46,7 | 46,4 | 44,5 | 41,5 | 39,3 | 35,8 | 33,1 |
| R5                                                     | 55,8         | 53,0 | 49,3 | 45,3 | 42,5 | 42,0 | 40,0 | 36,7 | 34,0 | 30,0 | 26,4 |
| R6                                                     | 52,9         | 50,0 | 46,3 | 42,2 | 39,3 | 38,7 | 36,5 | 33,0 | 29,8 | 25,1 | 20,7 |
| R7                                                     | 50,6         | 47,7 | 44,0 | 39,9 | 36,8 | 36,1 | 33,7 | 29,9 | 26,3 | 20,9 | 15,6 |
| R8                                                     | 53,9         | 51,0 | 47,3 | 43,3 | 40,4 | 39,9 | 37,8 | 34,3 | 31,3 | 26,9 | 22,8 |
| R9                                                     | 61,2         | 58,5 | 54,9 | 51,0 | 48,2 | 48,0 | 46,2 | 43,3 | 41,2 | 37,9 | 35,4 |
| R10                                                    | 63,9         | 61,2 | 57,6 | 53,7 | 50,9 | 50,7 | 49,0 | 46,2 | 44,2 | 41,1 | 38,9 |
| R11                                                    | 63,3         | 60,6 | 57,0 | 53,1 | 50,3 | 50,1 | 48,3 | 45,5 | 43,5 | 40,3 | 38,0 |
| R12                                                    | 63,4         | 60,7 | 57,1 | 53,2 | 50,4 | 50,2 | 48,4 | 45,6 | 43,6 | 40,5 | 38,2 |
| R13                                                    | 61,3         | 58,6 | 55,0 | 51,1 | 48,3 | 48,0 | 46,2 | 43,4 | 41,3 | 38,1 | 35,7 |
| R14                                                    | 57,8         | 55,1 | 51,4 | 47,5 | 44,7 | 44,3 | 42,4 | 39,4 | 37,0 | 33,4 | 30,5 |
| R15                                                    | 60,8         | 58,1 | 54,5 | 50,6 | 47,8 | 47,5 | 45,7 | 42,8 | 40,6 | 37,3 | 34,8 |

| Mustasuo (Vestas V172), osayleiskaava, tulokset ulkona |              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                        | Taajuus [Hz] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Reseptori                                              | 20           | 25   | 32   | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  | 200  |
| R1                                                     | 54,4         | 53,5 | 53,0 | 51,4 | 51,2 | 50,6 | 48,4 | 46,5 | 44,2 | 40,7 | 39,5 |
| R2                                                     | 52,9         | 52,0 | 51,4 | 49,9 | 49,7 | 49,0 | 46,8 | 44,9 | 42,5 | 38,8 | 37,5 |
| R3                                                     | 51,3         | 50,4 | 49,8 | 48,2 | 48,0 | 47,4 | 45,1 | 43,1 | 40,6 | 36,8 | 35,3 |
| R4                                                     | 50,7         | 49,7 | 49,2 | 47,6 | 47,4 | 46,7 | 44,4 | 42,4 | 39,8 | 36,0 | 34,4 |
| R5                                                     | 46,7         | 45,7 | 45,1 | 43,4 | 43,2 | 42,3 | 39,9 | 37,6 | 34,6 | 30,1 | 27,6 |
| R6                                                     | 43,8         | 42,7 | 42,1 | 40,4 | 40,0 | 39,1 | 36,5 | 33,8 | 30,3 | 25,2 | 21,9 |
| R7                                                     | 41,6         | 40,4 | 39,8 | 38,0 | 37,6 | 36,4 | 33,7 | 30,7 | 26,8 | 21,0 | 16,8 |
| R8                                                     | 44,8         | 43,8 | 43,2 | 41,4 | 41,1 | 40,2 | 37,7 | 35,1 | 31,9 | 27,0 | 24,1 |
| R9                                                     | 52,2         | 51,3 | 50,7 | 49,1 | 49,0 | 48,3 | 46,1 | 44,1 | 41,7 | 38,0 | 36,7 |
| R10                                                    | 54,8         | 53,9 | 53,4 | 51,8 | 51,7 | 51,0 | 48,9 | 47,0 | 44,7 | 41,2 | 40,1 |
| R11                                                    | 54,2         | 53,3 | 52,8 | 51,2 | 51,1 | 50,4 | 48,3 | 46,3 | 44,0 | 40,5 | 39,2 |
| R12                                                    | 54,3         | 53,4 | 52,9 | 51,3 | 51,2 | 50,5 | 48,3 | 46,4 | 44,1 | 40,6 | 39,4 |
| R13                                                    | 52,2         | 51,3 | 50,8 | 49,2 | 49,0 | 48,4 | 46,2 | 44,2 | 41,8 | 38,2 | 36,9 |



| Mustasuo (Vestas V172), osayleiskaava, tulokset ulkona |              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                        | Taajuus [Hz] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Reseptori                                              | 20           | 25   | 32   | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  | 200  |
| R14                                                    | 48,7         | 47,8 | 47,3 | 45,6 | 45,4 | 44,7 | 42,3 | 40,2 | 37,5 | 33,5 | 31,7 |
| R15                                                    | 51,7         | 50,9 | 50,3 | 48,7 | 48,5 | 47,8 | 45,6 | 43,6 | 41,2 | 37,4 | 36,0 |

| Mustasuo-Tynnyrikorpi (Nordex N175), osayleiskaava, tulokset ulkona |              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                     | Taajuus [Hz] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Reseptori                                                           | 20           | 25   | 32   | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  | 200  |
| R1                                                                  | 63,8         | 61,1 | 57,5 | 53,6 | 50,8 | 50,6 | 48,8 | 46,0 | 43,9 | 40,7 | 38,4 |
| R2                                                                  | 63,0         | 60,3 | 56,7 | 52,8 | 50,0 | 49,7 | 47,9 | 45,0 | 42,8 | 39,5 | 37,0 |
| R3                                                                  | 63,1         | 60,4 | 56,7 | 52,9 | 50,1 | 49,8 | 48,0 | 45,1 | 42,9 | 39,6 | 37,1 |
| R4                                                                  | 64,5         | 61,9 | 58,2 | 54,4 | 51,6 | 51,3 | 49,6 | 46,8 | 44,7 | 41,6 | 39,3 |
| R5                                                                  | 62,1         | 59,4 | 55,7 | 51,8 | 49,0 | 48,8 | 46,9 | 44,1 | 41,9 | 38,7 | 36,3 |
| R6                                                                  | 59,8         | 57,1 | 53,4 | 49,5 | 46,7 | 46,4 | 44,5 | 41,5 | 39,3 | 35,9 | 33,3 |
| R7                                                                  | 55,5         | 52,7 | 49,0 | 45,0 | 42,1 | 41,6 | 39,5 | 36,2 | 33,3 | 29,2 | 25,6 |
| R8                                                                  | 62,5         | 59,8 | 56,2 | 52,3 | 49,5 | 49,3 | 47,5 | 44,7 | 42,6 | 39,5 | 37,2 |
| R9                                                                  | 62,6         | 59,9 | 56,3 | 52,4 | 49,6 | 49,3 | 47,5 | 44,6 | 42,4 | 39,1 | 36,6 |
| R10                                                                 | 64,2         | 61,5 | 57,8 | 54,0 | 51,2 | 51,0 | 49,2 | 46,4 | 44,4 | 41,2 | 39,0 |
| R11                                                                 | 63,6         | 60,9 | 57,3 | 53,4 | 50,6 | 50,4 | 48,6 | 45,7 | 43,7 | 40,5 | 38,1 |
| R12                                                                 | 63,6         | 60,9 | 57,3 | 53,4 | 50,6 | 50,4 | 48,6 | 45,8 | 43,7 | 40,5 | 38,2 |
| R13                                                                 | 61,5         | 58,8 | 55,2 | 51,3 | 48,5 | 48,2 | 46,4 | 43,5 | 41,4 | 38,2 | 35,8 |
| R14                                                                 | 58,3         | 55,5 | 51,8 | 47,9 | 45,1 | 44,7 | 42,7 | 39,6 | 37,2 | 33,5 | 30,6 |
| R15                                                                 | 65,9         | 63,3 | 59,6 | 55,8 | 53,0 | 52,8 | 51,1 | 48,3 | 46,4 | 43,4 | 41,2 |

| Mustasuo-Tynnyrikorpi (Vestas V172), osayleiskaava, tulokset sisällä |              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                      | Taajuus [Hz] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Reseptori                                                            | 20           | 25   | 32   | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  | 200  |
| R1                                                                   | 54,7         | 53,9 | 53,3 | 51,7 | 51,6 | 50,9 | 48,7 | 46,8 | 44,4 | 40,9 | 39,6 |
| R2                                                                   | 53,9         | 53,0 | 52,5 | 50,9 | 50,7 | 50,0 | 47,8 | 45,8 | 43,4 | 39,7 | 38,2 |
| R3                                                                   | 54,0         | 53,1 | 52,6 | 51,0 | 50,8 | 50,1 | 47,9 | 45,9 | 43,5 | 39,8 | 38,3 |
| R4                                                                   | 55,5         | 54,6 | 54,1 | 52,5 | 52,3 | 51,7 | 49,5 | 47,6 | 45,3 | 41,7 | 40,5 |
| R5                                                                   | 53,0         | 52,1 | 51,5 | 49,9 | 49,8 | 49,1 | 46,9 | 44,9 | 42,5 | 38,8 | 37,5 |
| R6                                                                   | 50,7         | 49,8 | 49,3 | 47,6 | 47,4 | 46,7 | 44,4 | 42,4 | 39,8 | 36,0 | 34,5 |
| R7                                                                   | 46,4         | 45,4 | 44,8 | 43,1 | 42,8 | 41,9 | 39,4 | 37,0 | 33,9 | 29,3 | 26,8 |



| Mustasuo-Tynnyrikorpi (Vestas V172), osayleiskaava, tulokset sisällä |              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                      | Taajuus [Hz] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Reseptori                                                            | 20           | 25   | 32   | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  | 200  |
| R8                                                                   | 53,4         | 52,6 | 52,0 | 50,4 | 50,3 | 49,6 | 47,4 | 45,5 | 43,1 | 39,6 | 38,5 |
| R9                                                                   | 53,5         | 52,7 | 52,1 | 50,5 | 50,3 | 49,6 | 47,4 | 45,4 | 43,0 | 39,3 | 37,8 |
| R10                                                                  | 55,1         | 54,2 | 53,7 | 52,1 | 51,9 | 51,3 | 49,1 | 47,2 | 44,9 | 41,4 | 40,2 |
| R11                                                                  | 54,5         | 53,6 | 53,1 | 51,5 | 51,3 | 50,7 | 48,5 | 46,6 | 44,2 | 40,6 | 39,3 |
| R12                                                                  | 54,5         | 53,6 | 53,1 | 51,5 | 51,3 | 50,7 | 48,5 | 46,6 | 44,2 | 40,7 | 39,4 |
| R13                                                                  | 52,4         | 51,5 | 51,0 | 49,4 | 49,2 | 48,5 | 46,3 | 44,3 | 41,9 | 38,3 | 37,0 |
| R14                                                                  | 49,2         | 48,2 | 47,7 | 46,0 | 45,8 | 45,0 | 42,7 | 40,5 | 37,7 | 33,7 | 31,8 |
| R15                                                                  | 56,9         | 56,0 | 55,5 | 53,9 | 53,8 | 53,1 | 51,0 | 49,1 | 46,9 | 43,5 | 42,4 |

## Liite 7. Melumallinnuksen perustiedot.

|                                                                                                                                                                                                         |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>RAPORTIN TIEDOT</b>                                                                                                                                                                                  |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Mallinnusraportin numero/tunniste: 101021307-002                                                                                                                                                        |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| <b>MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT</b>                                                                                                                                                                         |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Mallinnusohjelma: SoundPlan v. 9.1                                                                                                                                                                      | Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2 Ed.2 (2024) (YM OH 2/2014 kpl 4.1) |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| <b>TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)</b>                                                                                                                                                          |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Tuulivoimalan valmistaja:<br><b>Nordex, Vestas</b>                                                                                                                                                      | Nimellisteho:<br><b>6,8 MW/7,2 MW</b>                             |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Roottorin halkaisija:<br>Mallinnuksessa käytetty vain napakorkeutta (kokonaiskorkeus 300 m)                                                                                                             | Napakorkeus:<br>200 m                                             |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Lukumäärä: Mustasuo 37 kpl, Tynnyrikorpi 19 kpl                                                                                                                                                         | Siipityyppi: Serraatio                                            |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin -1 dB...-8,9 dB                                                                                            |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| <b>AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>                                                                                                                                                           |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Melupäästötiedot (LWA):<br>106,9 dB /107,8 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, 10/2025                                                                                                                                                                        | Maanpinnan pystyresoluutio: 0,5 m / laserkeilausaineisto          |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet                                                                                                                        |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Vesialueet:                                                                                                                                                                                             | Maa-alueet:                                                       | Aurinkovoimala-alueet |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0                                                                                                                                                                                                       | 0,4                                                               | 0,4                   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| <b>PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNITASOEROT</b>                                                                                                                                                         |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti loma-asuinrakennuksille DL90% (ylempi taulukko) ja DL84% asuinrakennuksille (alempi taulukko) 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz [dB] |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Taajuus [Hz]                                                                                                                                                                                            |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 20                                                                                                                                                                                                      | 25                                                                | 31,5                  | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  | 200  |
| 6,0                                                                                                                                                                                                     | 6,0                                                               | 7,0                   | 7,0  | 8,0  | 9,0  | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 |
| 7,6                                                                                                                                                                                                     | 8,3                                                               | 9,2                   | 10,3 | 11,5 | 13,0 | 14,8 | 16,8 | 18,8 | 21,0 | 22,8 |
| <b>LASKENTATULOKSET</b>                                                                                                                                                                                 |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Laskentavaihtoehdot 4 kpl                                                                                                                                                                               |                                                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Laskentakartat: 4 kpl                                                                                                                                                                                   | Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 40dB, 45dB, 50dB, 55dB ja 60 dB   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |

|                                                                                                                                               |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Pientaajuisen melun laskentataulukot: 4 kpl                                                                                                   | Reseptoripisteet: 15 kpl, R1-R15   |
| 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 |
| <b>PIENITAAJUISEN MELULASKENNAN TULOKSET</b>                                                                                                  |                                    |
| Ei ylitystä Mustasuon hanketta huomioiden. Yhteismeluvaikutus Tynnyrikorven kanssa ylitystä reseptoripisteissä R10 (+0,3 dB) ja R15 (+2,1 dB) |                                    |