



OX2 Finland Oy, Kettukangas - Hanhikankaan (Pihtipudas-Kinnula) tuulivoimahanke, melumal- linnus ympäristönvaikutusarviointia varten

Asiakas: OX2 Finland Oy

Projektinumero: 101016561-002





Projektiviite

101016561-002

Asiakas

OX2 Finland Oy

**OX2 Finland Oy, Kettukangas - Hanhikankaan (Pihtipudas-Kin-
nula) tuulivoimahanke, melumallinnus ympäristönvaikutusarvi-
ointia varten**

Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Ympäristömelu	7
1.2	Tuulivoimamelu	8
1.3	Vertailuohjeavot	10
1.4	Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	10
2	Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	11
2.1	Digitaal kartta-aineisto	12
2.2	Mallinnettu tuulivoimamalli	12
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	12
2.4	Melumallinnuksen laskentaparametrit	15
2.5	Pientaajuisen melun laskenta	18
3	Melumallinnustulokset	19
3.1	Melun nykytila	19
3.2	Ulkomelumallinnus	19
3.2.1	Hankevaihtoehto VE1	19
3.2.2	Hankevaihtoehto VE2	21
3.2.3	Yhteismelumallinnus VE1	23
3.2.4	Yhteismelumallinnus VE2	24
3.3	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	26
3.3.1	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa, yhteismelu	28
3.4	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	30
4	Vaikutusten seuranta	30
5	Lähteet	31

Liitteet

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

Liite 2. VE1 pientaajuisen melun numeeriset tulokset

Liite 3. VE2 pientaajuisen melun numeeriset tulokset

Liite 4. VE1 pientaajuisen yhteismelun numeeriset tulokset

Liite 5. VE2 pientaajuisen yhteismelun numeeriset tulokset

Liite 6. Melumallinnuskartta, VE1

Liite 7. Melumallinnuskartta, VE2

Liite 8. Yhteismelumallinnuskartta, VE1

Liite 9. Yhteismelumallinnuskartta, VE1

Liite 10. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

Kuvat ja taulukot

Kuva 1-1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.....	9
Kuva 2-1. Kettukangas - Hanhikankaan tuulivoimaloiden sijainnit hankevaihtoehdossa VE1 ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R18 sijainnit.....	13
Kuva 2-2. Kettukangas - Hanhikankaan tuulivoimaloiden sijainnit hankevaihtoehdossa VE2 ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R18 sijainnit.....	14
Kuva 2-3. Hautakankaan tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R18 sijainnit.	14
Kuva 2-4. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.....	16
Kuva 2-5. Pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatit DL84% ja DL90% (Keränen et al., 2017, 2019).	18
Kuva 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 meluvyöhykkeet.	20
Kuva 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 meluvyöhykkeet.	22
Kuva 3-3 Yhteismelumallinnuskartta (VE1).	23
Kuva 3-4 Yhteismelumallinnuskartta (VE2).	25
Kuva 3-5. Pientaajuisen melulaskennan tulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R18, hankevaihtoehdo VE1.....	27
Kuva 3-6. Pientaajuisen melulaskennan tulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R18, hankevaihtoehdo VE2.....	27

Kuva 3-7. Pientaajuisen melulaskennan tulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R18, yhteismelu hankevaihtoehto VE1.	28
Kuva 3-8. Pientaajuisen melulaskennan tulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R18, yhteismelu hankevaihtoehto VE2.	29
Kuva 3-9. Esimerkki tuulivoimalan siiven jättöreunan sahalaudoituksesta (Arce León et al.2017).....	30
Kuva 4-1.(a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta fT ja ääneksen erottuvuudesta AT. (b) Amplitudimoduloidun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta fm ja modulaatiosyvyydestä Dm. (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta Ron ja tasoerosta DL (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykinän sanktiomenettelyä.	31
Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjearvot, LAeq.	10
Taulukko 1-2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).	11
Taulukko 1-3. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq, 1 h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22–07.	11
Taulukko 2-1. Melun leviämislaskennan parametrit.	16
Taulukko 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 melumallinnuksen reseptoripistetulokset.	20
Taulukko 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuksen reseptoripistetulokset.	22
Taulukko 3. Yhteismelumallinnuksen tulokset (VE1) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R18. Sisältää Kettukangas-Hanhikankaan ja Hautakankaan hankkeet.	24
Taulukko 4. Yhteismelumallinnuksen tulokset (VE2) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R18. Sisältää Kettukangas-Hanhikankaan ja Hautakankaan hankkeet.	26

Yhteenveto

OX2 Finland Oy suunnittelee tuulipuiston rakentamista Pihtiputaan ja Kinnulan kuntien rajalle. Tuulipuisto sijaitsee lähimmillään noin 10 km Pihtiputaan keskustasta länteen-luoteeseen ja noin 5 km Kinnulan keskustan alueelta itään.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulipuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön ja tämä tekninen melumallinnusraportti on valmisteltu Kettukangas - Hanhikankaan (Pihtipudas-Kinnula) tuulivoimahankkeen ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten. Melumallinnus on sisältänyt myös yhteismelumallinnuksen Hautakankaan tuulipuiston kanssa.

Mallinnus suoritettiin Kettukangas-Hanhikankaan hankkeen voimalamallille Vestas V172 7.2 MW, jonka äänipäästön A-painotetuksi arvoksi L_{WA} on esitetty valmistajan dokumentaatioissa 106,9 dB. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä on hankevaihtoehdossa VE1 76 voimalaa sekä hankevaihtoehdossa VE2 41 voimalaa. Äänipäästön varmuusarvona käytetään $K = +3,1$ dB.

Yhteismelumallinnuksessa Hautakankaan hankkeen voimalamalli on Nordex N163-5.7 jonka äänipäästön A-painotetuksi arvoksi L_{WA} on esitetty valmistajan dokumentaatioissa 109,2 dB. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä on hankevaihtoehdossa 8 voimalaa. Äänipäästön varmuusarvona käytetään $K = +2$ dB.

Hankevaihtoehdossa VE1 YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan sekä 45 dB:n päiväajan ohjearvot ylittyvät reseptoripisteessä R17 (46 dB). Reseptoripisteessä R17 sijaitsee loma-asuinrakennus. Reseptoripisteessä R14 (40 dB) tulos on yöajan ohjearvolla 40 dB. Reseptoripisteessä R14 sijaitsee loma-asuinrakennus. Muissa reseptoripisteissä ohjearvot alittuvat. VE2 yöajan ohjearvo ei ylitä minkään reseptoripisteen kohdalla. Yhteismelumallinnuksissa tulokset ovat samaa luokkaa molemmissa hankevaihtoehdoissa eli Hautakankaan tuulivoimahankkeen vaikutus valittuihin tarkastelupisteisiin on vähäinen.

YM:n ohjeen mukaisen pientaajuisen (20-200Hz) melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat ylittyvät VE1 reseptoripisteessä R17 (isoin ylitys 5,3 dB, taajuusalueella 63 Hz), reseptoripisteessä R14 (isoin ylitys 1,8 dB, taajuusalueella 63 Hz) ja reseptoripisteessä R6

(isoin ylitys 0,1 dB, taajuusalueella 63 HZ). VE2 sisätilan toimenpiderajat alittuvat kaikissa reseptoripisteessä. Yhteismelulaskennoissa tulokset ovat samaa luokkaa.

Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta, että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus toimenpiderajan alittamiseksi olisi noin 16 dB taajuusalueella 100 Hz hankevaihtoehdossa VE1/yhteismelu VE1.

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin teknisillä ratkaisuilla. Rakentamisen jälkeisiä meluvaikutuksia voidaan tarvittaessa seurata mittauksin, joista ohjeistetaan mm. ympäristöministeriön oppaissa YM OH 3-4/2014 sekä Anojanssi -tutkimushankkeen tuloksena syntyneissä korjauskäyrissä.

1 Johdanto

OX2 Finland Oy suunnittelee tuulipuiston rakentamista Pihtiputaan ja Kinnulan kuntien rajalle. Tuulipuisto sijaitsee lähimmillään noin 10 km Pihtiputaan keskustasta länsi-luoteeseen ja noin 5 km Kinnulan keskustan alueelta itään.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulipuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Tämä tekninen melumallinnusraportti on valmisteltu Kettukangas-Hanhikankaan (Pihtipudas-Kinnula) tuulivoimahankkeen ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten. Hankkeen ympäristönvaikutusarvioinnissa melua käsitellään omana kappaleenaan, jossa käydään läpi hankkeen meluvaikutukset ihmisiin ja ympäröivään luontoon. Hankkeen melumallinnuksessa tarkastellaan kahden toteutusvaihtoehdon (VE1, VE2) melun leviämistä alueen ympäristöön.

Varsinaisen hankealueen melumallinnuksen lisäksi tarkastellaan tuulivoiman yhteismelun leviämistä siten, että laskennassa on mukana Hautakankaan tuulivoimapuisto.

1.1 Ympäristömelu

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

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

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

Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, häiritsevyys sekä kiusallisuus. Nämä tekijät on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen.

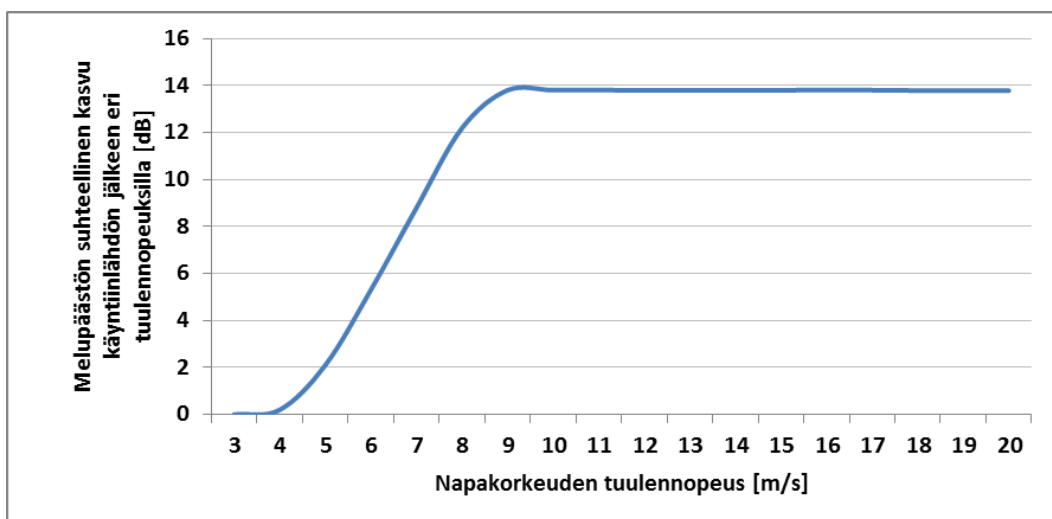
Melun ekvivalenttitaso, minkä symboli on L_{eq} ja A-taajuuspainotettuna L_{Aeq} , tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso.

1.2 Tuulivoimamelu

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

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa voimalan lavat sijaitsevat tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin, on lapojen äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä (Oerlemans, S. Schepers, J.G., 2009).

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



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

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

Taustamelu esim. liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esim. puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle (Halstead, D. Tam, N., 2019).

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut eri vuorokauden aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla (Bolin, K, 2012.). Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 150 m (G.P. van den Berg, 2006).

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitاسoa 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.

1.3 Vertailuohjearvot

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

Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjearvot, LAeq.

Tuulivoimamelun ohjearvot	LAeq päiväajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintä-alueet	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.

1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetus 545/2015 asettaa sisätilojen äänitasoille toimenpiderajat erityisesti yöajan äänitasoille

nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa sekä pientaajuisen melulle taajuusvälillä 20–200Hz.

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

Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
<i>Asuinhuoneistot, palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoitopaikat ja vastaavat tilat</i>		
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB (25 dB)
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB
<i>Kokoontumis- ja opetushuoneistot</i>		
huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-
muut kokoontumistilat	40 dB	-
<i>Työhuoneistot (asiakkaiden kannalta)</i>		
asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB	-

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

Taulukko 1-3. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq, 1 h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22–07.

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

2 Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

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

2.1 Digitaalikartta-aineisto

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

2.2 Mallinnettu tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin Kettukangas-Hanhikankaan hankkeen voimalamallille Vestas V172-7.2MW, jonka äänipäästön A-painotetuksi arvoksi L_{WA} on tässä esitetty 106,9 dB. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä on hankevaihtoehdossa VE1 76 voimalaa sekä hankevaihtoehdossa VE2 41 voimalaa. Äänipäästön varmuusarvona käytetään $K = +3,1$ dB. Siten mallinnettu A-taajuuspainotettu äänipäästö kokonaisuudessaan varmuusarvo huomioiden on 110,0 dB.

Mallinnetun voimalan napakorkeus on 190 m ja kokonaiskorkeus on 300 m. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty taajuusjakaumaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3 Hz – 10 000 Hz.

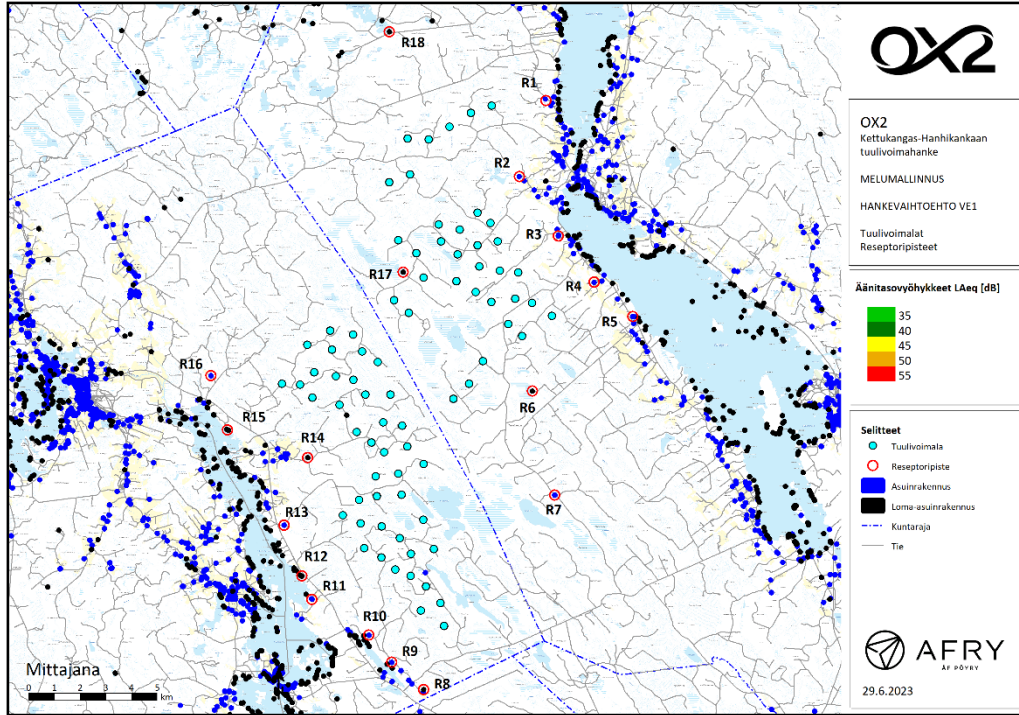
Yhteismelumallinnuksessa Hautakankaan hankkeen voimalamalli on Nordex N163-5.7 jonka äänipäästön A-painotetuksi arvoksi L_{WA} on esitetty valmistajan dokumentaatiossa 109,2 dB. Yhteismelumallinnuksessa Hautakankaan hankkeen voimaloiden kokonaislukumäärä on 8 voimalaa. Äänipäästön varmuusarvona käytetään $K = +2$ dB Ympäristöministeriön muistion YM9/5511/2016 mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2016). Siten mallinnettu A-taajuuspainotettu äänipäästö kokonaisuudessaan varmuusarvo huomioiden on 111,2 dB.

Hautakankaan hankkeen voimalamallin napakorkeus on 159 m ja kokonaiskorkeus on 240 m. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty taajuusjakaumaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 10 Hz – 10 000 Hz.

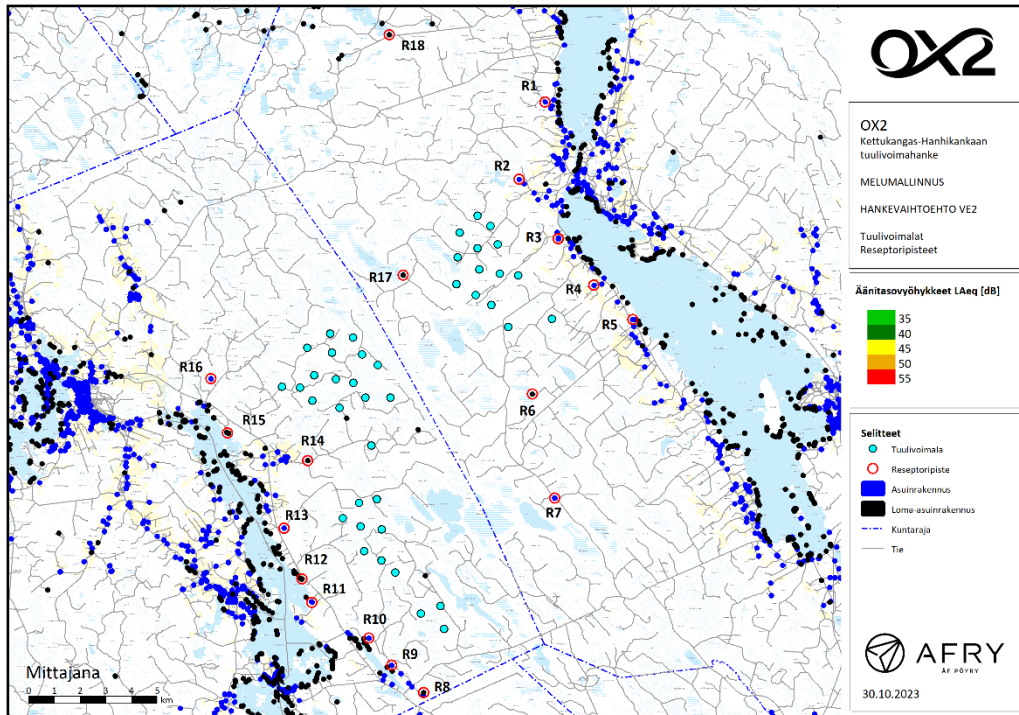
2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevissa kuvissa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden hankevaihtoehtojen, lähimpien reseptoripisteiden R1-R18 sekä asuin- tai

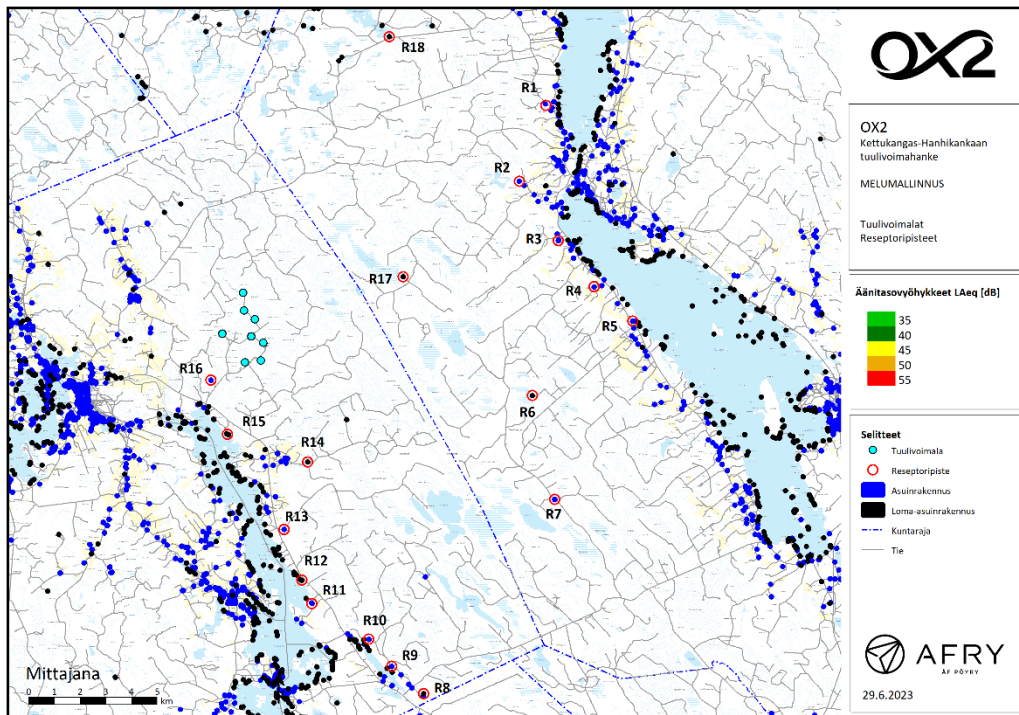
lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



Kuva 2-1. Kettukangas - Hanhikankaan tuulivoimaloiden sijainnit hankevaih-toehdossa VE1 ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R18 sijainnit.



Kuva 2-2. Kettukangas - Hanhikankaan tuulivoimaloiden sijainnit hankevaihtoehdossa VE2 ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R18 sijainnit.



Kuva 2-3. Hautakankaan tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R18 sijainnit.

2.4 Melumallinnuksen laskentaparametrit

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

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

Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioiduilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa Taulukko 2-1 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

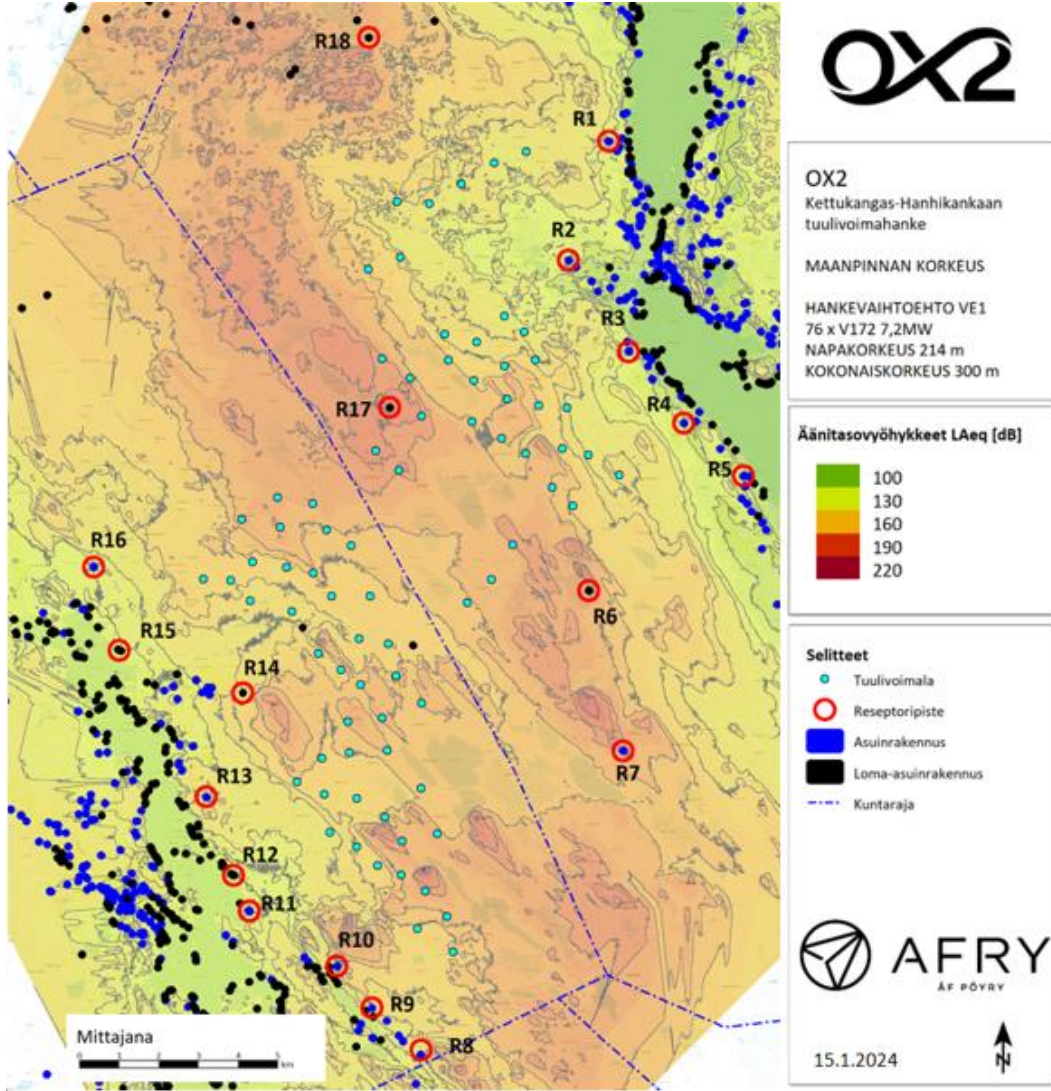
Kaikkiaan tuulivoimamelun laskennan parametrit ovat konservatiivisempia kuin teollisuus- tai tieliikennemelussa yleisesti käytetyt melun leviämislaskennan parametrit: (Ympäristöministeriö, 2007).

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio $G=0,4$ tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämisvaimentumista pienemmän maavaimennuksen johdosta.

2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa $L_{WA}/L_{WA,d}$ joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättynä äänipäästöarvon varmuusarvolla K . Tieliikennemelussa se on vuotuinen keskivuorokausiliikenne KVL ilman epävarmuuksia. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää äänipäästöissä mm. laitteiden toiminta-aikojen aikakorjauksia, joita ei tuulivoimamelulaskennassa voi hyödyntää, vaikka tuulivoimala ei käy nimellisteholla kuin osan aikaa.

Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja altistuvan kohteen maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta reseptoripisteeseen päin laskevasti katsotaan sellaiseksi, että sillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin (+2 dB lisäys äänipäästöön L_{WA}). Tässä tapauksessa lisäystä ei tehdä, sillä 60 m korkeuserovaatimus ei täyty

yhdenkään tuulivoimalan ja reseptoripisteen välillä 3 km:iin asti (ks. alla oleva kuva).



Kuva 2-4. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.

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

Taulukko 2-1. Melun leviämislaskennan parametrit.

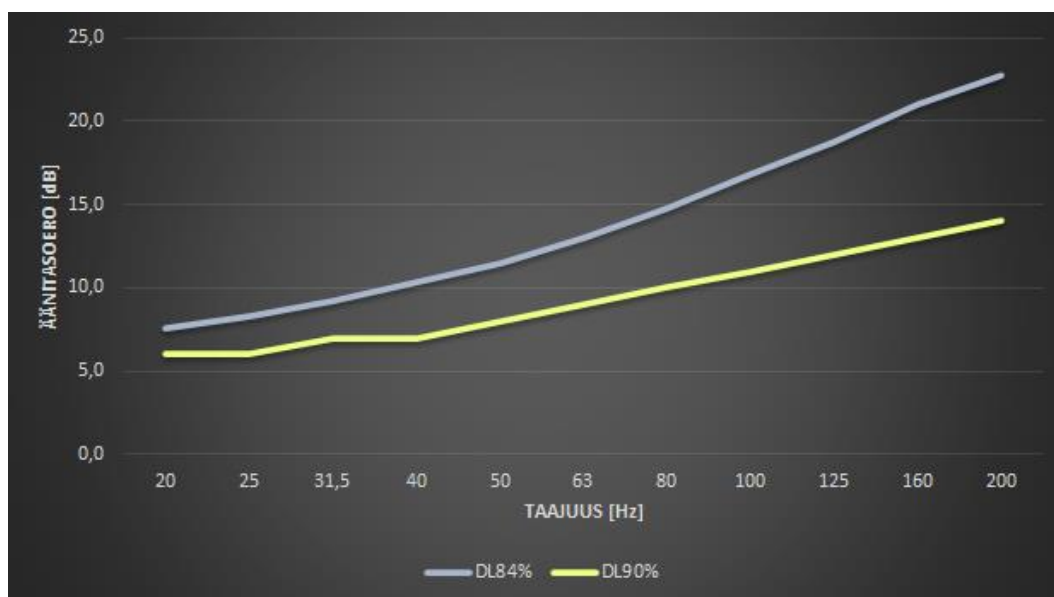
Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Keskiäänitaso LAeq ulkona: ISO 9613-2. YM OH 2/2014 kpl 4.1

Lähtötieto	Parametrit
	Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84%:n sekä 90%:n persentiilit (Keränen et al., 2017)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto ja maastotietokanta (© MML, 2023), topografian pystyresoluutiona on 0,3 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 190 m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10 m:n referenssikorkeudella maanpinnan karheudella 0,05 m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.2
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 6,3 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Häiritsevyyskorjaukset	ks. luku 4.
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (10x10 m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4 m) korkeudella seuraten digitaalkartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5 sekä 4.1.9)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	5 kpl: 35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.5 Pientaajuisen melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu lasketaan erillisenä taulukko-laskentana YM:n ohjeen mukaisilla laskentaparametreilla. Pientaajuisen melun leviämismuuttuminen laskettiin käyttäen voimalan painotamattomia äänipäästön tunnusarvon 1/3 oktaavikaistatietoja LW taajuusvälillä 20-200Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.9)

Pientaajuisen melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017, 2019). Ilmaäänieristävyydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä estää sen läpi kulkeutuvan ilmaäänien siirtymistä ja on kaikilla rakenteilla taajuudesta riippuva suure. Pientalojen ilmaäänieristävyyden tutkimuksen tulokset 1/3 oktaaveittain on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin persentiiliarvona DL84% ja DL90%. (Keränen et al., 2017, 2019).



Kuva 2-5. Pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatit DL84% ja DL90% pientaajuisen melun taajuusalueella 20-200Hz (Keränen et al., 2017, 2019).

Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa LAeq ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä pientaajuisen melun tulokset alittavat VNa 1107 sekä STM:n asumisterveysasetuksen toimenpiderajat. Tätä tukevat myös tehdyt tuulivoimamelun

sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmaäänieristävyyden keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

3 Melumallinnustulokset

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen hankealueen voimaloista on esitetty kappaleessa 3.2 sekä suurempina kuvina liitteissä 6-9. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuvilla kohteilla on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteissä 2-5.

3.1 Melun nykytila

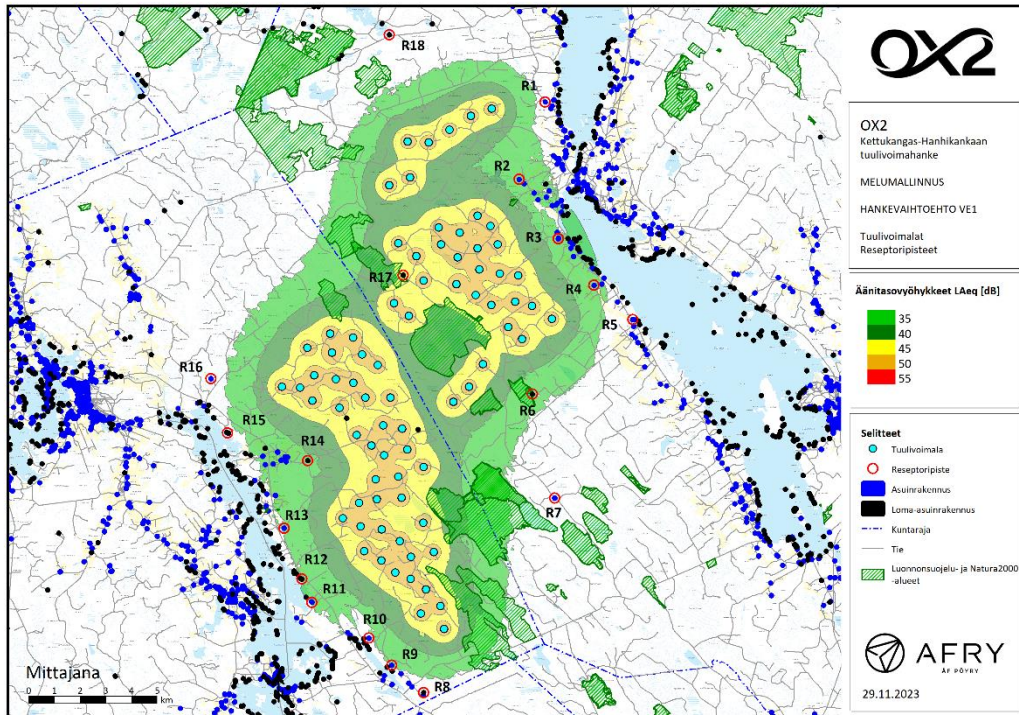
Tuulivoima-alue on pitkälti metsätalouskäytössä, luonnontilassa tai virkistyskäytössä, joten alueella ei juurikaan ole nykyisellään merkittäviä melulähteitä. Tuulivoima-alueen itäreunalla ja osin alueen sisällä kulkevasta moottorikelkkareitistä aiheutuu talviaikaan ajoittaista moottorimelua ympäristöön. Tuulivoima-alueen länsipuolella kulkeva moottorikelkkareitti on lähimmillään noin 1,7 km päässä tuulivoima-alueesta, joten sen vaikutus äänimaisemaan jää pienemmäksi. Tuulivoima-alueella pienimuotoista melua voivat aiheuttaa myös alueella satunnaisesti tehtävät metsätyöt. Myös aluetta ympäröivien tai halkaisevien teiden liikenteestä voi aiheutua paikallista ja vähäistä meluhaittaa. Maa-ainesluoparekisterin mukaan tuulivoima-alueella on kaksi voimassa olevaa kalliokiviainesten ottolupaa. Ottoalueiden toiminnasta voi aiheutua ajoittaista melua. Tuulivoima-alueen länsi-itäpuolisilta peltoalueilta voi ajoittain kuulua maatalouskoneiden ääniä ja samoille ilmansuunnille keskittyvästä asutuksesta asumiseen liittyviä ääniä lähinnä tuulipuiston reunaan. Edellä mainittujen toimintojen aiheuttama melu ja äänet on luonteeltaan erilaista sekä keskenään että tuulivoimameluun verrattuna. (YVA-ohjelma, 2022).

3.2 Ulkomelumallinnus

3.2.1 Hankevaihtoehto VE1

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Kettukangas-Hanhikankaan tuulivoimahankkeen vaihtoehdolle VE1 eli 76 voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että tummanvihreän

alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-1. Hankevaihtoehtoon VE1 meluvyöhykkeet.

Taulukko 3-1. Hankevaihtoehtoon VE1 melumallinnuksen reseptoripistetulokset.

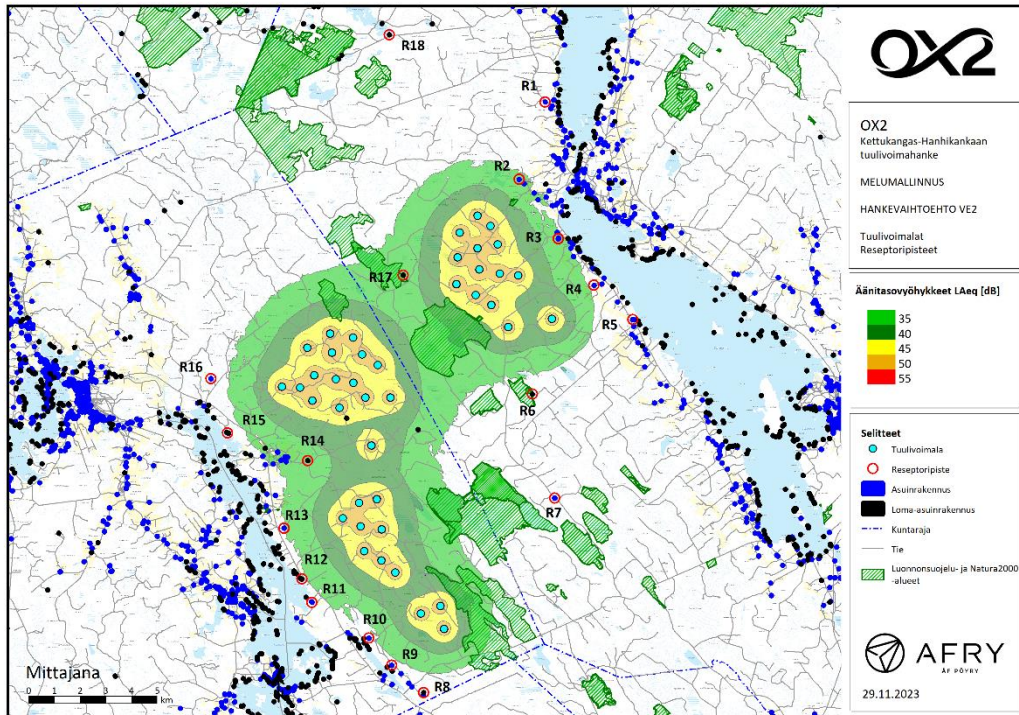
Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiääni-taso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiääni-taso LAeq
R1	asuinrakennus	34	R10	asuinrakennus	34
R2	asuinrakennus	38	R11	asuinrakennus	36
R3	asuinrakennus	36	R12	loma-asuinrakennus	36
R4	asuinrakennus	36	R13	asuinrakennus	36
R5	asuinrakennus	31	R14	loma-asuinrakennus	40
R6	loma-asuinrakennus	38	R15	loma-asuinrakennus	34

Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R7	asuinrakennus	31	R16	asuinrakennus	34
R8	loma-asuinrakennus	29	R17	loma-asuinrakennus	46
R9	asuinrakennus	35	R18	loma-asuinrakennus	29

YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvo sekä 45 dB:n päiväajan ohjearvo ylittyvät reseptoripisteessä R17 (46 dB). Reseptoripisteessä R17 sijaitsee loma-asuinrakennus. Reseptoripisteessä R14 (40 dB) tulos on yöajan ohjearvolla 40 dB. Reseptoripisteessä R14 sijaitsee loma-asuinrakennus. Muissa reseptoripisteissä melumallinnuksen tulokset alittavat ohjearvot.

3.2.2 Hankevaihtoehto VE2

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Kettukangas-Hanhikankaan tuulivoimahankkeen vaihtoehdolle VE2 eli 41 voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että tummanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 meluvyöhykkeet.

Taulukko 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuksen reseptoripistetulokset.

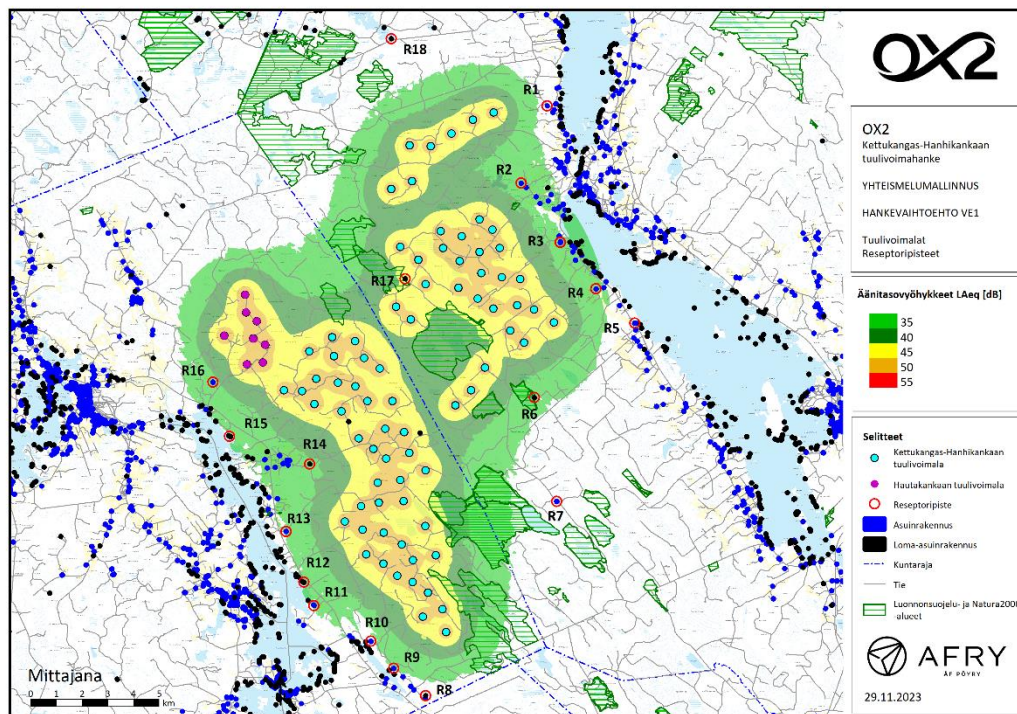
Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	27	R10	asuinrakennus	33
R2	asuinrakennus	36	R11	asuinrakennus	34
R3	asuinrakennus	35	R12	loma-asuinrakennus	34
R4	asuinrakennus	34	R13	asuinrakennus	35
R5	asuinrakennus	29	R14	loma-asuinrakennus	38
R6	loma-asuinrakennus	32	R15	loma-asuinrakennus	33
R7	asuinrakennus	27	R16	asuinrakennus	33
R8	loma-asuinrakennus	28	R17	loma-asuinrakennus	38

Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R9	asuinrakennus	34	R18	loma-asuinrakennus	20

YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvoja ei ylitetä.

3.2.3 Yhteismelumallinnus VE1

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Kettukangas-Hanhikankaan tuulivoimahankkeen vaihtoehdolle VE1 eli 76 voimalalle sekä Hautakankaan hankkeen 8 voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että tummanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-3 Yhteismelumallinnuskartta (VE1).

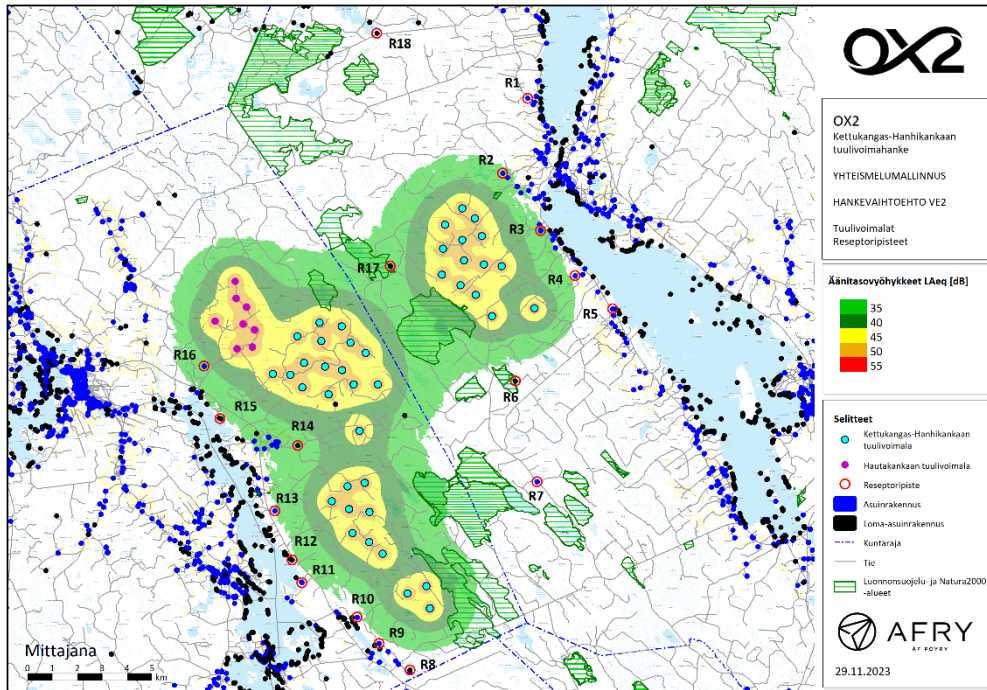
Taulukko 3. Yhteismelumallinnuksen tulokset (VE1) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R18. Sisältää Kettukangas-Hanhikankaan ja Hautakankaan hankkeet.

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiääni-taso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiääni-taso LAeq
R1	asuinrakennus	34	R10	asuinrakennus	34
R2	asuinrakennus	38	R11	asuinrakennus	36
R3	asuinrakennus	36	R12	loma-asuinrakennus	36
R4	asuinrakennus	36	R13	asuinrakennus	36
R5	asuinrakennus	31	R14	loma-asuinrakennus	40
R6	loma-asuinrakennus	38	R15	loma-asuinrakennus	35
R7	asuinrakennus	31	R16	asuinrakennus	39
R8	loma-asuinrakennus	29	R17	loma-asuinrakennus	46
R9	asuinrakennus	35	R18	loma-asuinrakennus	29

YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvo sekä 45 dB:n päiväajan ohjearvo ylittyvät reseptoripisteessä R17 (46 dB). Reseptoripisteessä R17 sijaitsee loma-asuinrakennus. Reseptoripisteessä R14 (40 dB) tulos on yöajan ohjearvolla 40 dB. Reseptoripisteessä R14 sijaitsee loma-asuinrakennus. Muissa reseptoripisteissä melumallinnuksen tulokset alittavat ohjearvot.

3.2.4 Yhteismelumallinnus VE2

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Kettukangas-Hanhikankaan tuulivoimahankkeen vaihtoehdolle VE2 eli 41 voimalalle sekä Hautakankaan 8 voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että tummanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-4 Yhteismelumallinnuskartta (VE2).

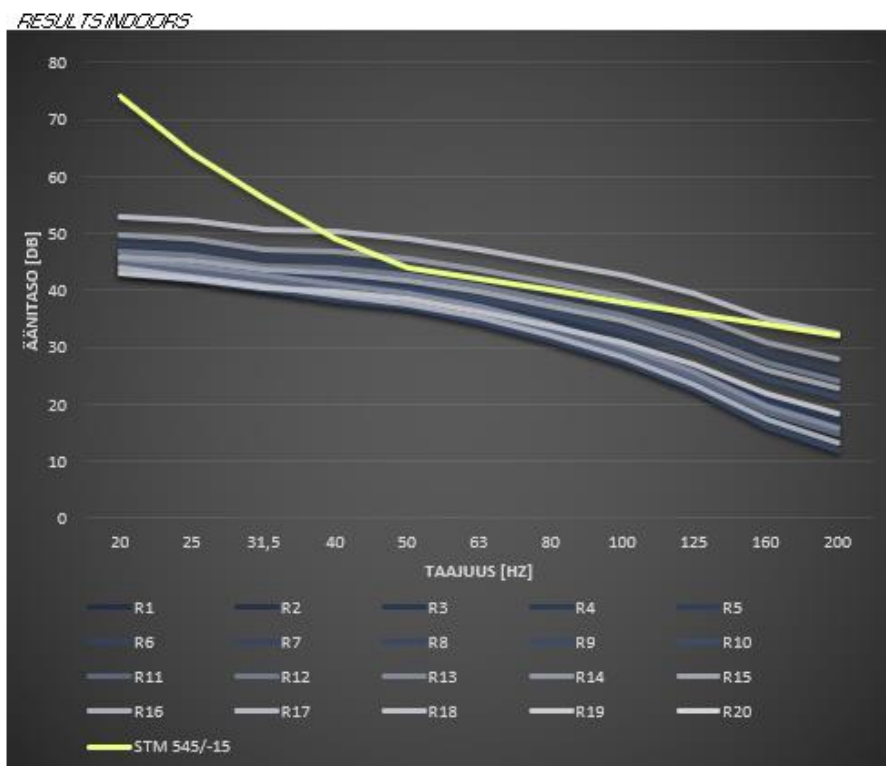
Taulukko 4. Yhteismelumallinnuksen tulokset (VE2) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R18. Sisältää Kettukangas-Hanhikankaan ja Hautakankaan hankkeet.

Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiääni-taso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiääni-taso LAeq
R1	asuinrakennus	27	R10	asuinrakennus	33
R2	asuinrakennus	36	R11	asuinrakennus	34
R3	asuinrakennus	35	R12	loma-asuinrakennus	34
R4	asuinrakennus	34	R13	asuinrakennus	35
R5	asuinrakennus	29	R14	loma-asuinrakennus	38
R6	loma-asuinrakennus	32	R15	loma-asuinrakennus	34
R7	asuinrakennus	27	R16	asuinrakennus	39
R8	loma-asuinrakennus	29	R17	loma-asuinrakennus	38
R9	asuinrakennus	34	R18	loma-asuinrakennus	20

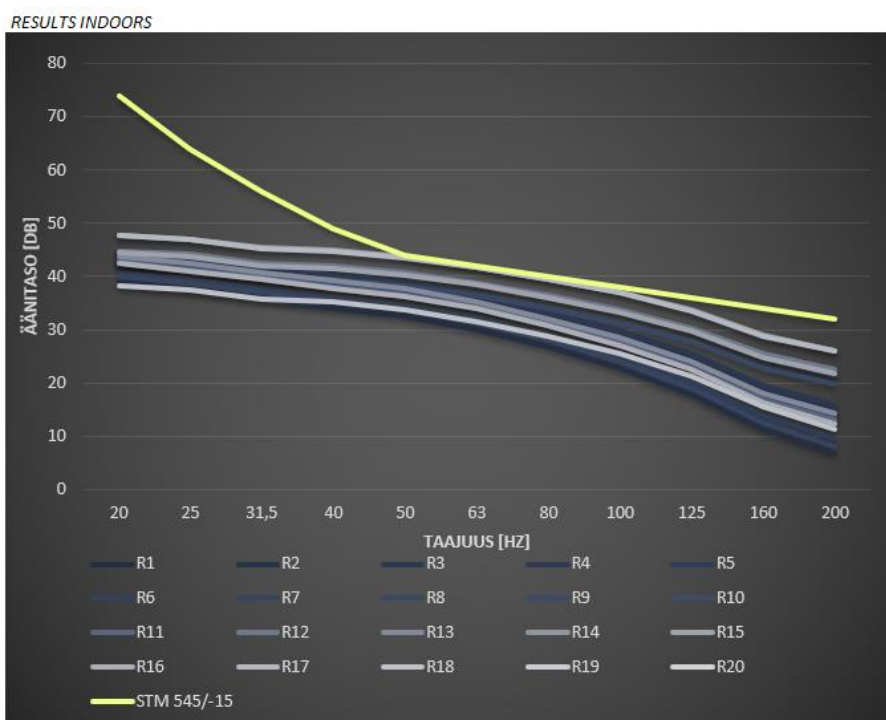
YM:n ohjeen mukaisen yhteismelumallinnuksen VE2 tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvoja ei ylitetä.

3.3 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

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



Kuva 3-5. Pientaajuaisen melulaskennan tulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R18, hankevaihtoehto VE1.



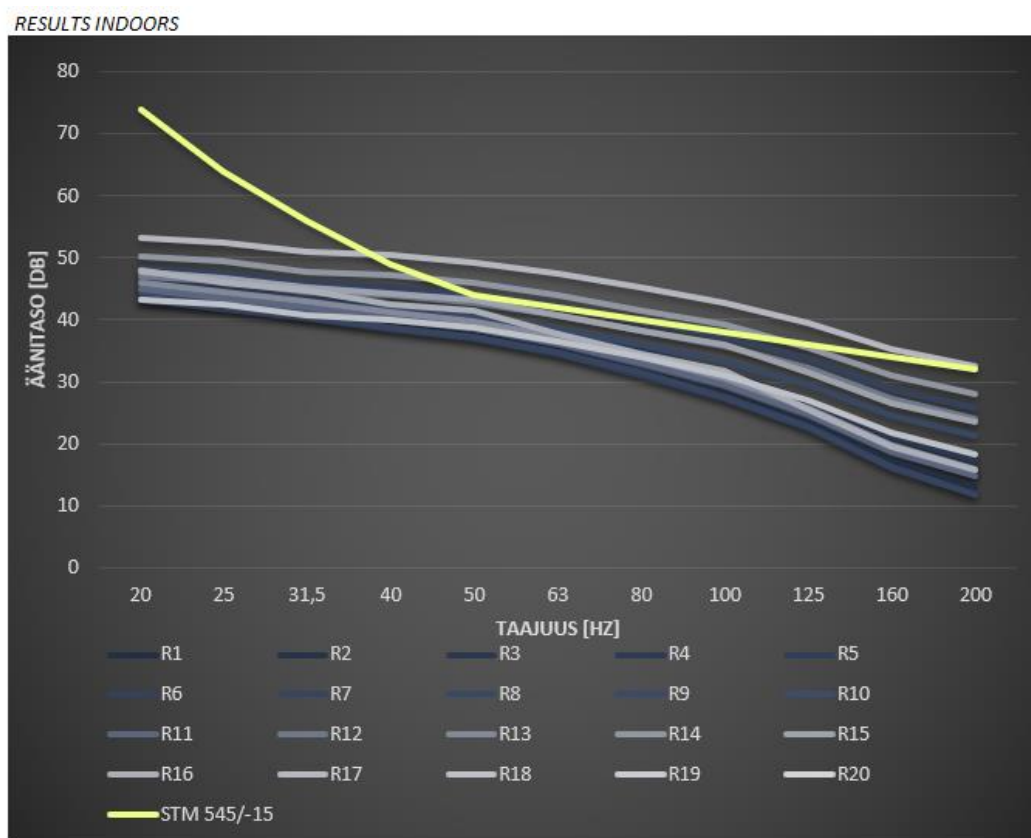
Kuva 3-6. Pientaajuaisen melulaskennan tulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R18, hankevaihtoehto VE2.

YM:n ohjeen mukaisen pientaajuisen (20-200Hz) melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat ylittyvät VE1 reseptoripisteessä R17 (isoin ylitys 5,3 dB, taajuusalueella 63 HZ), reseptoripisteessä R14 (isoin ylitys 1,8 dB, taajuusalueella 63 HZ) ja reseptoripisteessä R6 (isoin ylitys 0,1 dB, taajuusalueella 63 HZ).

VE2 sisätilan toimenpiderajat alittuvat kaikissa reseptoripisteessä.

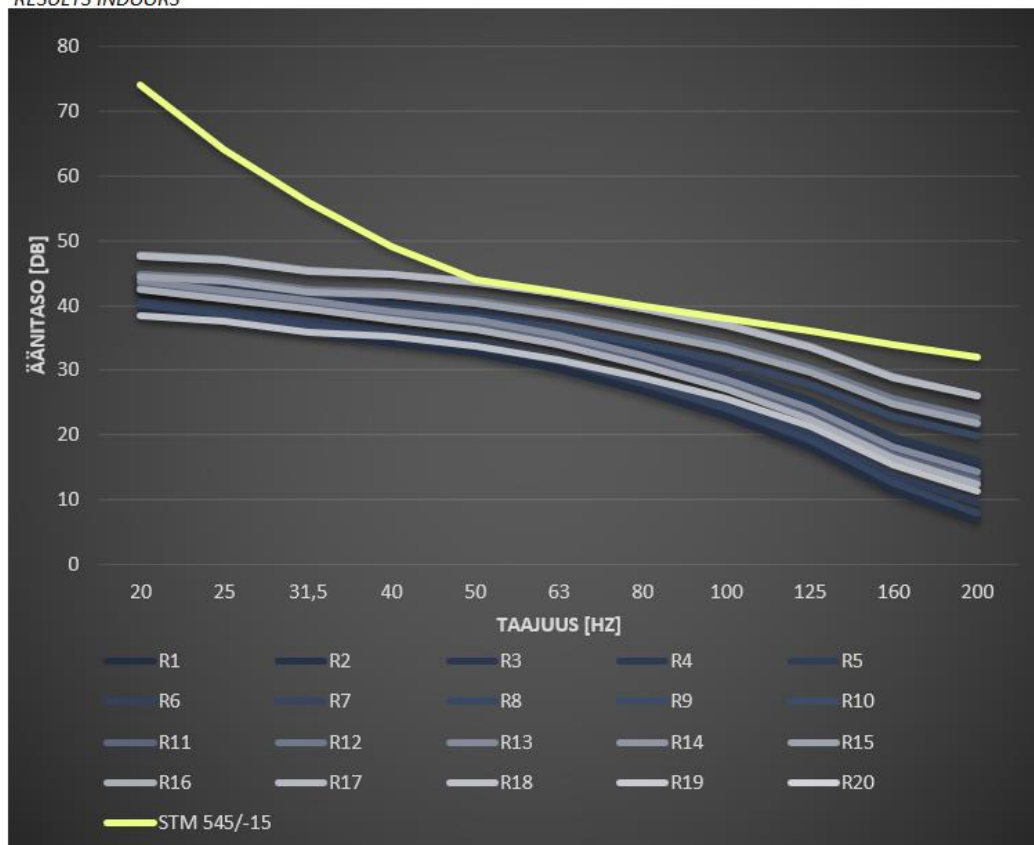
Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta, että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus toimenpiderajan alittamiseksi olisi noin 16 dB taajuusalueella 100 Hz hankevaihtoehdossa VE1.

3.3.1 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa, yhteismelu



Kuva 3-7. Pientaajuisen melulaskennan tulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R18, yhteismelu hankevaihtoehto VE1.

RESULTS INDOORS



Kuva 3-8. Pientaajuksen melulaskennan tulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R18, yhteismelu hankevaihtoehto VE2.

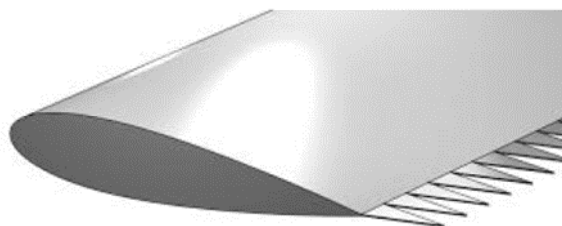
Arvioitaessa yhteismeluvaikutuksia Hautakankaan hankkeen kanssa YM:n ohjeen mukaisen pientaajuksen (20-200Hz) melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat ylittyvät VE1 reseptoripisteessä R17 (isoin ylitys 5,4 dB, taajuusalueella 63 Hz), reseptoripisteessä R14 (isoin ylitys 2,0 dB, taajuusalueella 63 Hz) ja reseptoripisteessä R6 (isoin ylitys 0,2 dB, taajuusalueella 63 Hz).

VE2 sisätilan toimenpiderajat alittuvat kaikissa reseptoripisteessä.

Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta, että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus toimenpiderajan alittamiseksi olisi noin 16 dB taajuusalueella 100 Hz hankevaihtoehdossa VE1.

3.4 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Suurin osa nykyisten tuulivoimaloiden siipimalleista sisältävät mm. jättöreunan sahalaoidituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 3–5 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017).

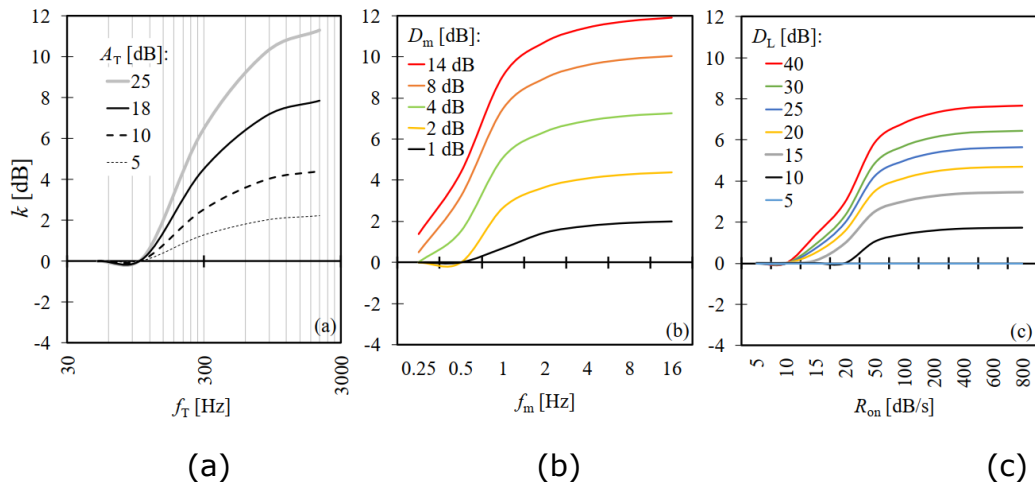


Kuva 3-9. Esimerkki tuulivoimalan siiven jättöreunan sahalaoidituksesta (Arce León et al.2017)

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennus-
tarpeesta. Säästöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, -suunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi myös voimalan äänipäästöä. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Melumallinnuksen ja pientaajuisten melulaskennan perusteella tarvetta meluoptimointiajomoodin käytölle on hankevaihtoehdon VE1 reseptoripisteiden R17, R14 ja R6 lähimmillä voimaloilla.

4 Vaikutusten seuranta

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



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

YM ohjeen 4/2014 mukaan suoritettujen mittaustulosten arvoja voidaan vertailla mallinnuksen tuloksiin ilman mittauksen epävarmuustarkastelua (Ympäristöministeriö, 2014). On kuitenkin huomioitava, että mittaustulosten vertailu tuulivoimamelun ohjearvoihin YM 1107/2015 on tehtävä YM:n ohjeen 1/1995 mukaisesti huomioimalla mittauksen epävarmuus (Ympäristöministeriö, 1995, kpl 6.2). Mikäli mittaus suoritetaan ohjeesta 4/2014 poikkeavan menettelyn avulla, on sen vaikutus tuloksiin ja tulosepävarmuuteen esitettävä selkeästi mittausraporteissa.

5 Lähteet

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

OX2 Finland Oy. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Kettukangas - Hanhikankaan (Kinnula–Pihtipudas) tuulivoimahanke: tuulivoima-alue ja 400 kV:n voimajohto, 2022.

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

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

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

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

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

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

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

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

Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristö-ministeriö, Helsinki 2016.

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

Kettukangas-Hanhikankaan tuulivoimahankeen vaihtoehtoon VE1 voimaloiden koordinaatit melumallissa.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	416722,00	7030954,00	152,20	190 m
2	415949,00	7031451,00	148,38	190 m
3	415559,00	7030170,00	163,68	190 m
4	415295,00	7031619,00	160,77	190 m
5	415029,00	7030633,00	170,47	190 m
6	415405,00	7032643,00	150,25	190 m
7	414612,00	7033844,00	151,98	190 m
8	414691,00	7032708,00	165,28	190 m
9	414364,00	7031494,00	170,45	190 m
10	414382,00	7039109,00	145,63	190 m
11	414331,00	7034562,00	148,56	190 m
12	413833,00	7033697,00	161,32	190 m
13	413895,00	7032872,00	170,80	190 m
14	413827,00	7034960,00	150,16	190 m
15	414042,00	7029194,00	180,14	190 m
16	413764,00	7031877,00	171,91	190 m
17	413573,00	7038827,00	145,28	190 m
18	411118,00	7037839,00	147,44	190 m
19	413008,00	7032296,00	169,99	190 m
20	413504,00	7028317,00	172,84	190 m
21	413134,00	7034301,00	154,13	190 m
22	412746,00	7038287,00	154,28	190 m
23	413060,00	7033340,00	161,47	190 m
24	412418,00	7033844,00	166,48	190 m
25	412324,00	7034504,00	153,84	190 m
26	412895,00	7027737,00	169,29	190 m
27	411939,00	7037800,00	146,98	190 m
28	411453,00	7033389,00	173,29	190 m
29	411165,00	7031071,00	184,15	190 m
30	411203,00	7036444,00	155,12	190 m
31	410753,00	7033889,00	181,72	190 m
32	410590,00	7031563,00	186,42	190 m
33	411736,00	7032434,00	184,22	190 m
34	410399,00	7036137,00	164,91	190 m
35	412387,00	7019813,00	172,84	190 m
36	411829,00	7020458,00	179,08	190 m
37	412135,00	7021907,00	174,87	190 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
38	412531,00	7018924,00	165,96	190 m
39	411229,00	7020861,00	170,29	190 m
40	411735,00	7025201,00	170,04	190 m
41	411724,00	7023044,00	168,23	190 m
42	410876,00	7024006,00	170,20	190 m
43	411245,00	7021722,00	175,76	190 m
44	411634,00	7019512,00	163,97	190 m
45	410813,00	7022321,00	169,19	190 m
46	410749,00	7024828,00	176,94	190 m
47	410105,00	7022788,00	159,25	190 m
48	409962,00	7029166,00	166,95	190 m
49	409925,00	7023947,00	165,92	190 m
50	409880,00	7024726,00	173,95	190 m
51	409475,00	7027897,00	165,38	190 m
52	409001,00	7030232,00	180,02	190 m
53	409350,00	7029570,00	170,08	190 m
54	409234,00	7023807,00	163,24	190 m
55	408181,00	7029639,00	180,80	190 m
56	408109,00	7030384,00	177,55	190 m
57	408332,00	7028613,00	164,37	190 m
58	407421,00	7027777,00	152,57	190 m
59	407214,00	7029833,00	180,27	190 m
60	407482,00	7028762,00	164,89	190 m
61	406931,00	7028289,00	158,60	190 m
62	406239,00	7028323,00	159,72	190 m
63	409136,00	7026445,00	157,60	190 m
64	411103,00	7025885,00	163,80	190 m
65	410200,00	7025663,00	168,11	190 m
66	409706,00	7026041,00	162,80	190 m
67	410902,00	7026690,00	162,99	190 m
68	410168,00	7026826,00	162,25	190 m
69	410444,00	7027898,00	164,93	190 m
70	409003,00	7028476,00	167,23	190 m
71	408467,00	7027505,00	151,43	190 m
72	408598,00	7023215,00	162,79	190 m
73	409431,00	7021935,00	147,50	190 m
74	410101,00	7021573,00	157,58	190 m
75	410630,00	7021103,00	159,00	190 m
76	409286,00	7022902,00	157,63	190 m

Kettukangas-Hanhikankaan tuulivoimahankeen vaihtoehtoon VE2 voimaloiden koordinaatit melumallissa.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	416722	7030954	152,20	190 m
2	415029	7030633	170,47	190 m
3	415405	7032643	150,25	190 m
4	414612	7033844	151,98	190 m
5	414691	7032708	165,28	190 m
6	414364	7031494	170,45	190 m
7	414331	7034562	148,56	190 m
8	413833	7033697	161,32	190 m
9	413895	7032872	170,80	190 m
10	413827	7034960	150,16	190 m
11	413764	7031877	171,91	190 m
12	413008	7032296	169,99	190 m
13	413134	7034301	154,13	190 m
14	413060	7033340	161,47	190 m
15	412387	7019813	172,84	190 m
16	412531	7018924	165,96	190 m
17	411634	7019512	163,97	190 m
18	410105	7022788	159,25	190 m
19	409962	7029166	166,95	190 m
20	409925	7023947	165,92	190 m
21	409475	7027897	165,38	190 m
22	409001	7030232	180,02	190 m
23	409350	7029570	170,08	190 m
24	409234	7023807	163,24	190 m
25	408181	7029639	180,80	190 m
26	408109	7030384	177,55	190 m
27	408332	7028613	164,37	190 m
28	407421	7027777	152,57	190 m
29	407214	7029833	180,27	190 m
30	407482	7028762	164,89	190 m
31	406931	7028289	158,60	190 m
32	406239	7028323	159,72	190 m
33	409706	7026041	162,80	190 m
34	410444	7027898	164,93	190 m
35	409003	7028476	167,23	190 m
36	408467	7027505	151,43	190 m
37	408598	7023215	162,79	190 m
38	409431	7021935	147,50	190 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
39	410101	7021573	157,58	190 m
40	410630	7021103	159,00	190 m
41	409286	7022902	157,63	190 m

Hautakankaan tuulivoimahankeen voimaloiden koordinaatit melumallissa.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	404719,92	7032032,19	162,51	159 m
2	404761,94	7031344,96	163,75	159 m
3	405185,06	7031001,01	160,84	159 m
4	405043,99	7030326,99	155,00	159 m
5	405506,04	7030085,01	159,77	159 m
6	403918,03	7030439,00	154,74	159 m
7	405418,01	7029393,93	160,86	159 m
8	404797,93	7029322,86	152,73	159 m

Melumaskennan reseptoripisteiden koordinaatit melumallissa.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
R1	416457,3	7039370,7	141,2	4 m
R2	415452,1	7036362,3	127,2	4 m
R3	416965,2	7034057,0	129,0	4 m
R4	418354,6	7032263,7	124,2	4 m
R5	419858,7	7030933,5	121,8	4 m
R6	415956,8	7028039,6	180,1	4 m
R7	416821,2	7023998,7	183,1	4 m
R8	411730,0	7016452,8	143,0	4 m
R9	410493,0	7017513,5	152,9	4 m
R10	409606,9	7018564,8	153,6	4 m
R11	407398,7	7019950,5	138,9	4 m
R12	407001,3	7020857,9	135,2	4 m
R13	406311,8	7022833,5	151,1	4 m
R14	407233,1	7025457,0	150,9	4 m
R15	404121,5	7026527,7	137,0	4 m
R16	403473,6	7028633,2	142,0	4 m
R17	410939,7	7032654,5	186,8	4 m
R18	410404,8	7041983,7	178,2	4 m

LIITE 2. VE1 pientaajuisen melun numeeriset tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona, VE1 [dB].

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	50,9	50,2	49,5	48,9	48,6	47,7	46,2	44,6	41,9	38,0	35,9
R2	54,1	53,4	52,7	52,2	52,0	51,1	49,7	48,2	45,8	42,0	40,1
R3	54,2	53,5	52,8	52,3	52,1	51,2	49,8	48,3	45,9	42,1	40,2
R4	52,9	52,3	51,5	51,0	50,8	49,9	48,5	46,9	44,3	40,5	38,4
R5	50,7	49,9	49,2	48,6	48,3	47,4	45,8	44,0	41,3	37,1	34,7
R6	54,1	53,5	52,7	52,2	52,0	51,1	49,7	48,1	45,6	41,8	39,8
R7	51,0	50,3	49,5	49,0	48,6	47,7	46,1	44,3	41,5	37,2	34,6
R8	50,6	49,8	49,1	48,6	48,3	47,3	45,8	44,1	41,5	37,5	35,4
R9	52,0	51,3	50,6	50,1	49,8	48,9	47,5	45,9	43,4	39,6	37,5
R10	53,0	52,3	51,6	51,1	50,8	50,0	48,6	47,0	44,5	40,8	38,8
R11	52,3	51,6	50,9	50,4	50,1	49,2	47,8	46,1	43,6	39,7	37,5
R12	52,8	52,1	51,3	50,8	50,6	49,7	48,2	46,6	44,1	40,2	38,1
R13	53,2	52,5	51,8	51,3	51,0	50,1	48,7	47,1	44,5	40,7	38,6
R14	55,7	55,0	54,3	53,8	53,6	52,8	51,4	49,9	47,5	43,8	41,9
R15	52,0	51,3	50,5	50,0	49,7	48,8	47,3	45,6	43,0	39,0	36,7
R16	51,5	50,8	50,0	49,5	49,2	48,3	46,8	45,0	42,3	38,3	36,0
R17	59,0	58,4	57,7	57,3	57,1	56,3	55,0	53,7	51,5	48,1	46,5
R18	48,9	48,1	47,3	46,8	46,4	45,4	43,8	41,9	39,0	34,8	32,3

Pientaajuksen melulaskennan tulokset sisällä, VE1 [dB].

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	43,3	41,9	40,3	38,6	37,1	34,7	31,4	27,8	23,1	17,0	13,1
R2	46,5	45,1	43,5	41,9	40,5	38,1	34,9	31,4	27,0	21,0	17,3
R3	46,6	45,2	43,6	42,0	40,6	38,2	35,0	31,5	27,1	21,1	17,4
R4	45,3	44,0	42,3	40,7	39,3	36,9	33,7	30,1	25,5	19,5	15,6
R5	43,1	41,6	40,0	38,3	36,8	34,4	31,0	27,2	22,5	16,1	11,9
R6	48,1	47,5	45,7	45,2	44,0	42,1	39,7	37,1	33,6	28,8	25,8
R7	43,4	42,0	40,3	38,7	37,1	34,7	31,3	27,5	22,7	16,2	11,8
R8	44,6	43,8	42,1	41,6	40,3	38,3	35,8	33,1	29,5	24,5	21,4
R9	44,4	43,0	41,4	39,8	38,3	35,9	32,7	29,1	24,6	18,6	14,7
R10	45,4	44,0	42,4	40,8	39,3	37,0	33,8	30,2	25,7	19,8	16,0
R11	44,7	43,3	41,7	40,1	38,6	36,2	33,0	29,3	24,8	18,7	14,7
R12	46,8	46,1	44,3	43,8	42,6	40,7	38,2	35,6	32,1	27,2	24,1
R13	45,6	44,2	42,6	41,0	39,5	37,1	33,9	30,3	25,7	19,7	15,8
R14	49,7	49,0	47,3	46,8	45,6	43,8	41,4	38,9	35,5	30,8	27,9
R15	46,0	45,3	43,5	43,0	41,7	39,8	37,3	34,6	31,0	26,0	22,7
R16	43,9	42,5	40,8	39,2	37,7	35,3	32,0	28,2	23,5	17,3	13,2
R17	53,0	52,4	50,7	50,3	49,1	47,3	45,0	42,7	39,5	35,1	32,5
R18	42,9	42,1	40,3	39,8	38,4	36,4	33,8	30,9	27,0	21,8	18,3

LIITE 3. VE2 pientaajuisen melun numeeriset tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona, VE2 [dB].

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	46,5	45,7	45,0	44,4	44,1	43,1	41,4	39,6	36,7	32,3	29,7
R2	51,7	51,0	50,3	49,8	49,6	48,8	47,4	45,9	43,5	39,9	38,0
R3	52,3	51,7	51,0	50,5	50,2	49,4	48,1	46,6	44,2	40,6	38,7
R4	50,7	50,0	49,2	48,8	48,5	47,6	46,2	44,7	42,2	38,4	36,4
R5	48,1	47,4	46,7	46,1	45,8	44,9	43,3	41,6	38,8	34,7	32,4
R6	50,6	49,9	49,1	48,6	48,4	47,5	46,0	44,4	41,8	37,8	35,6
R7	47,7	47,0	46,2	45,6	45,3	44,3	42,7	40,8	37,9	33,5	30,7
R8	48,5	47,8	47,1	46,5	46,3	45,4	43,9	42,3	39,7	35,8	33,8
R9	50,0	49,3	48,6	48,1	47,8	47,0	45,6	44,0	41,5	37,8	35,8
R10	50,9	50,2	49,5	49,0	48,7	47,9	46,5	45,0	42,5	38,8	36,9
R11	50,3	49,6	48,9	48,4	48,1	47,2	45,8	44,2	41,7	37,9	35,8
R12	50,8	50,2	49,4	48,9	48,7	47,8	46,4	44,8	42,3	38,5	36,5
R13	51,3	50,6	49,9	49,4	49,2	48,3	46,9	45,3	42,8	39,1	37,0
R14	53,7	53,1	52,3	51,9	51,6	50,8	49,5	48,0	45,6	42,0	40,1
R15	50,5	49,8	49,0	48,5	48,2	47,4	45,9	44,3	41,7	37,8	35,7
R16	50,0	49,3	48,6	48,1	47,8	46,9	45,5	43,8	41,2	37,3	35,1
R17	53,6	53,0	52,2	51,8	51,5	50,7	49,4	47,9	45,5	41,9	39,9
R18	44,4	43,6	42,7	42,1	41,7	40,6	38,8	36,6	33,3	28,4	25,3

Pientaajuksen melulaskennan tulokset sisällä, VE2 [dB].

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	38,9	37,4	35,8	34,1	32,6	30,1	26,6	22,8	17,9	11,3	6,9
R2	44,1	42,7	41,1	39,5	38,1	35,8	32,6	29,1	24,7	18,9	15,2
R3	44,7	43,4	41,8	40,2	38,7	36,4	33,3	29,8	25,4	19,6	15,9
R4	43,1	41,7	40,0	38,5	37,0	34,6	31,4	27,9	23,4	17,4	13,6
R5	40,5	39,1	37,5	35,8	34,3	31,9	28,5	24,8	20,0	13,7	9,6
R6	44,6	43,9	42,1	41,6	40,4	38,5	36,0	33,4	29,8	24,8	21,6
R7	40,1	38,7	37,0	35,3	33,8	31,3	27,9	24,0	19,1	12,5	7,9
R8	42,5	41,8	40,1	39,5	38,3	36,4	33,9	31,3	27,7	22,8	19,8
R9	42,4	41,0	39,4	37,8	36,3	34,0	30,8	27,2	22,7	16,8	13,0
R10	43,3	41,9	40,3	38,7	37,2	34,9	31,7	28,2	23,7	17,8	14,1
R11	42,7	41,3	39,7	38,1	36,6	34,2	31,0	27,4	22,9	16,9	13,0
R12	44,8	44,2	42,4	41,9	40,7	38,8	36,4	33,8	30,3	25,5	22,5
R13	43,7	42,3	40,7	39,1	37,7	35,3	32,1	28,5	24,0	18,1	14,2
R14	47,7	47,1	45,3	44,9	43,6	41,8	39,5	37,0	33,6	29,0	26,1
R15	44,5	43,8	42,0	41,5	40,2	38,4	35,9	33,3	29,7	24,8	21,7
R16	42,4	41,0	39,4	37,8	36,3	33,9	30,7	27,0	22,4	16,3	12,3
R17	47,6	47,0	45,2	44,8	43,5	41,7	39,4	36,9	33,5	28,9	25,9
R18	38,4	37,6	35,7	35,1	33,7	31,6	28,8	25,6	21,3	15,4	11,3

LIITE 4. VE1 pientaajuisen yhteismelun numeeriset tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona, yhteismelu VE1 [dB].

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,1	50,3	49,6	49,0	48,8	47,8	46,3	44,6	42,0	38,0	35,9
R2	54,2	53,5	52,8	52,3	52,0	51,2	49,8	48,3	45,8	42,1	40,1
R3	54,3	53,6	52,9	52,4	52,1	51,3	49,9	48,3	45,9	42,2	40,2
R4	53,1	52,4	51,6	51,1	50,8	49,9	48,5	46,9	44,3	40,5	38,4
R5	50,9	50,1	49,3	48,8	48,5	47,5	45,9	44,1	41,3	37,1	34,7
R6	54,3	53,6	52,8	52,3	52,1	51,2	49,8	48,2	45,7	41,9	39,8
R7	51,2	50,4	49,7	49,1	48,8	47,8	46,2	44,4	41,5	37,2	34,7
R8	50,7	50,0	49,2	48,7	48,4	47,4	45,9	44,2	41,5	37,6	35,4
R9	52,2	51,4	50,7	50,2	49,9	49,0	47,5	46,0	43,4	39,6	37,5
R10	53,2	52,4	51,7	51,2	50,9	50,1	48,6	47,1	44,6	40,8	38,8
R11	52,6	51,8	51,1	50,5	50,3	49,3	47,9	46,2	43,6	39,7	37,6
R12	53,0	52,3	51,6	51,0	50,7	49,8	48,3	46,8	44,1	40,3	38,1
R13	53,6	52,8	52,1	51,5	51,3	50,3	48,8	47,3	44,6	40,7	38,6
R14	56,1	55,4	54,7	54,1	53,9	53,0	51,6	50,2	47,6	43,9	42,0
R15	53,7	52,7	52,1	51,3	51,2	49,7	48,2	46,9	43,6	39,6	37,4
R16	55,7	54,3	54,0	52,8	52,9	50,8	49,2	48,6	44,4	40,4	38,6
R17	59,2	58,5	57,8	57,4	57,2	56,4	55,1	53,8	51,5	48,1	46,5
R18	49,2	48,4	47,6	47,0	46,7	45,6	43,9	42,1	39,1	34,8	32,3

Pientaajuaisen melulaskennan tulokset sisällä, VE1 [dB].

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	43,5	42,0	40,4	38,7	37,3	34,8	31,5	27,8	23,2	17,0	13,1
R2	46,6	45,2	43,6	42,0	40,5	38,2	35,0	31,5	27,0	21,1	17,3
R3	46,7	45,3	43,7	42,1	40,6	38,3	35,1	31,5	27,1	21,2	17,4
R4	45,5	44,1	42,4	40,8	39,3	36,9	33,7	30,1	25,5	19,5	15,6
R5	43,3	41,8	40,1	38,5	37,0	34,5	31,1	27,3	22,5	16,1	11,9
R6	48,3	47,6	45,8	45,3	44,1	42,2	39,8	37,2	33,7	28,9	25,8
R7	43,6	42,1	40,5	38,8	37,3	34,8	31,4	27,6	22,7	16,2	11,9
R8	44,7	44,0	42,2	41,7	40,4	38,4	35,9	33,2	29,5	24,6	21,4
R9	44,6	43,1	41,5	39,9	38,4	36,0	32,7	29,2	24,6	18,6	14,7
R10	45,6	44,1	42,5	40,9	39,4	37,1	33,8	30,3	25,8	19,8	16,0
R11	45,0	43,5	41,9	40,2	38,8	36,3	33,1	29,4	24,8	18,7	14,8
R12	47,0	46,3	44,6	44,0	42,7	40,8	38,3	35,8	32,1	27,3	24,1
R13	46,0	44,5	42,9	41,2	39,8	37,3	34,0	30,5	25,8	19,7	15,8
R14	50,1	49,4	47,7	47,1	45,9	44,0	41,6	39,2	35,6	30,9	28,0
R15	47,7	46,7	45,1	44,3	43,2	40,7	38,2	35,9	31,6	26,6	23,4
R16	48,1	46,0	44,8	42,5	41,4	37,8	34,4	31,8	25,6	19,4	15,8
R17	53,2	52,5	50,8	50,4	49,2	47,4	45,1	42,8	39,5	35,1	32,5
R18	43,2	42,4	40,6	40,0	38,7	36,6	33,9	31,1	27,1	21,8	18,3

LIITE 5. VE2 pientaajuisen yhteismelun numeeriset tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona, yhteismelu VE2 [dB].

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	46,5	45,7	45,0	44,4	44,1	43,1	41,4	39,6	36,7	32,3	29,7
R2	51,7	51,0	50,3	49,8	49,6	48,8	47,4	45,9	43,5	39,9	38,0
R3	52,3	51,7	51,0	50,5	50,2	49,4	48,1	46,6	44,2	40,6	38,7
R4	50,7	50,0	49,2	48,8	48,5	47,6	46,2	44,7	42,2	38,4	36,4
R5	48,1	47,4	46,7	46,1	45,8	44,9	43,3	41,6	38,8	34,7	32,4
R6	50,6	49,9	49,1	48,6	48,4	47,5	46,0	44,4	41,8	37,8	35,6
R7	47,7	47,0	46,2	45,6	45,3	44,3	42,7	40,8	37,9	33,5	30,7
R8	48,5	47,8	47,1	46,5	46,3	45,4	43,9	42,3	39,7	35,8	33,8
R9	50,0	49,3	48,6	48,1	47,8	47,0	45,6	44,0	41,5	37,8	35,8
R10	50,9	50,2	49,5	49,0	48,7	47,9	46,5	45,0	42,5	38,8	36,9
R11	50,3	49,6	48,9	48,4	48,1	47,2	45,8	44,2	41,7	37,9	35,8
R12	50,8	50,2	49,4	48,9	48,7	47,8	46,4	44,8	42,3	38,5	36,5
R13	51,3	50,6	49,9	49,4	49,2	48,3	46,9	45,3	42,8	39,1	37,0
R14	53,7	53,1	52,3	51,9	51,6	50,8	49,5	48,0	45,6	42,0	40,1
R15	50,5	49,8	49,0	48,5	48,2	47,4	45,9	44,3	41,7	37,8	35,7
R16	50,0	49,3	48,6	48,1	47,8	46,9	45,5	43,8	41,2	37,3	35,1
R17	53,6	53,0	52,2	51,8	51,5	50,7	49,4	47,9	45,5	41,9	39,9
R18	44,4	43,6	42,7	42,1	41,7	40,6	38,8	36,6	33,3	28,4	25,3

Pientaajuksen melulaskennan tulokset sisällä, VE2 [dB].

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	38,9	37,4	35,8	34,1	32,6	30,1	26,6	22,8	17,9	11,3	6,9
R2	44,1	42,7	41,1	39,5	38,1	35,8	32,6	29,1	24,7	18,9	15,2
R3	44,7	43,4	41,8	40,2	38,7	36,4	33,3	29,8	25,4	19,6	15,9
R4	43,1	41,7	40,0	38,5	37,0	34,6	31,4	27,9	23,4	17,4	13,6
R5	40,5	39,1	37,5	35,8	34,3	31,9	28,5	24,8	20,0	13,7	9,6
R6	44,6	43,9	42,1	41,6	40,4	38,5	36,0	33,4	29,8	24,8	21,6
R7	40,1	38,7	37,0	35,3	33,8	31,3	27,9	24,0	19,1	12,5	7,9
R8	42,5	41,8	40,1	39,5	38,3	36,4	33,9	31,3	27,7	22,8	19,8
R9	42,4	41,0	39,4	37,8	36,3	34,0	30,8	27,2	22,7	16,8	13,0
R10	43,3	41,9	40,3	38,7	37,2	34,9	31,7	28,2	23,7	17,8	14,1
R11	42,7	41,3	39,7	38,1	36,6	34,2	31,0	27,4	22,9	16,9	13,0
R12	44,8	44,2	42,4	41,9	40,7	38,8	36,4	33,8	30,3	25,5	22,5
R13	43,7	42,3	40,7	39,1	37,7	35,3	32,1	28,5	24,0	18,1	14,2
R14	47,7	47,1	45,3	44,9	43,6	41,8	39,5	37,0	33,6	29,0	26,1
R15	44,5	43,8	42,0	41,5	40,2	38,4	35,9	33,3	29,7	24,8	21,7
R16	42,4	41,0	39,4	37,8	36,3	33,9	30,7	27,0	22,4	16,3	12,3
R17	47,6	47,0	45,2	44,8	43,5	41,7	39,4	36,9	33,5	28,9	25,9
R18	38,4	37,6	35,7	35,1	33,7	31,6	28,8	25,6	21,3	15,4	11,3

LIITE 10. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT		
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101016561-002		
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT		
Mallinnusohjelma: SoundPlan v.8.2 (Braunstein GmbH)	Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2 / YM ohje 2/2014 kpl 4.1	
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)		
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas / Nordex	Nimellisteho: 7,2 MW/5,7 MW	
Roottorin halkaisija: 220 m/162 m	Napakorkeus: 190 m/159 m	
Lukumäärä: VE1: 76 kpl, VE2: 41 kpl Yhteismelu VE1: 84 kpl VE2: 49 kpl	Siipityyppi: ei määritelty	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB		
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT		
Melupäästötiedot (LWA): 106,9 dB /109,6 dB	Varmuusarvo K: +3,1 dB/+2,0 dB	
Melun erityispiirteet		
Kapeakaistaisuus: Ei	Impulssimaisuus: Ei	Korkeuserokorjaus: Ei
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT		
Laskentakorkeus: 4 m	Suhteellinen kosteus: 70 %	Lämpötila: 15 °C
Tuulensuunta: Myötätuuli joka suuntaan		
Maastomallin lähde: MML, 05/2023	Maanpinnan pystyresoluutio: 0,3 m / laserkeilausaineisto	
Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet		
Vesialueet:	Maa-alueet:	Muut alueet (mitkä?)
0	0.4	Laajat kallioalueet: 0
PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNIERISTYSARVOT		

Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti DL84% asuinrakennuksille (alempi taulukko) sekä DL90% (ylempi taulukko) loma-asuinrakennuksille 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz [dB(L)]										
Taajuus [Hz]										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8
6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14
LASKENTATULOKSET										
Laskentavaihtoehdot 4 kpl										
Laskentakartat: 4 kpl						Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 35 dB, 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB				
Pientaajuisten melun laskentataulukot: 4 kpl						Reseptoripisteet: 18 kpl, R1-R18				
Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)										
Yli 40 dB(A):n vyöhykkeellä: 1 kpl (VE1 ja Yhteismelu VE1)						Yli 45 dB(A):n vyöhykkeellä: 1 kpl (VE1 ja Yhteismelu VE1)				
Pientaajuisten melun tulokset: Asumisterveysasetuksen ylitys VE1 reseptoripisteissä R17, R14 ja R6. VE2 ylitys reseptoripisteissä R17 ja R14. Yhteismelussa ylitykset samoissa reseptoripisteissä.										