



PROKON Wind Energy Finland Oy

Alavieskan Hangaskurunkankaan tuulivoimapuiston melumallinnus yleiskaavoitusta varten, tekninen raportti

101012920-001

pvm
11/04/2024
Projektinumero
101012920-001

Asiakas

PROKON Wind Energy Finland Oy

Alavieskan Hangaskurunkankaan tuulivoimapuiston me-
lumallinnus yleiskaavoitusta varten

Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	Ympäristömelu	5
1.2	Tuulivoimamelu	6
1.3	Vertailuohjeavot	7
1.4	Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	8
2	Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	9
2.1	Digitaal kartta-aineisto	9
2.2	Mallinnettu tuulivoimalamalli	9
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	9
2.4	Melumallinnuksen laskentaparametrit	10
2.5	Pientaajuisen melun laskenta	12
3	Mallinnustulokset	13
3.1	Ulkomelumallinnus	13
3.2	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	15
3.3	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	16
4	Vaikutusten seuranta	17
5	Lähteet	18

Liitteet

Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa

Liite 2. Melumallinnusten kartat

Liite 3. Pientaajuisen melun numeeriset tulokset ulkona ja sisätiloissa

Liite 4. Koostetaulukko, laskennan parametrit ja laskentatulokset

Kuvat ja taulukot

Kuva 1.	Hangaskurunkankaan ja Verkasalon voimalasijainnit	5
Kuva 2.	Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.	6
Taulukko 1.	Tuulivoimamelun ohjeavot, LAeq	7
Taulukko 2.	Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015)	8
Taulukko 3.	Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07	8

Kuva 3. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sijainnit.	10
Kuva 4. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m (©Maanmittauslaitos).	11
Taulukko 5. Melun leviämislaskennan parametrit.	11
Kuva 5. Keskiäänitasot LAeq pelkästään Hangaskurunkankaan voimaloilla.	13
Kuva 6. Keskiäänitasot LAeq Hangaskurunkankaan ja Verkasalon yhteisvaikutusten tapauksessa.	14
Taulukko 6. Mallinnetut ulkomelun tasot reseptoripisteissä R1-R14.	15
Kuva 7. Pienitaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R14, vain Hangaskurunkankaan voimalat.	16
Kuva 8. Pienitaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R14, Hangaskurunkankaan ja Verkasalon yhteisvaikutukset.	16
Kuva 9. (a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta fT ja ääneksen erottuvuudesta A _T . (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.	17

Yhteenveto

PROKON Wind Energy Finland Oy suunnittelee tuulipuistoa Alavieskan Hangaskurunkankaan alueelle. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Hangaskurunkankaan tuulivoimapuiston yleiskaavoitusta varten. Melumallinnuksissa otetaan huomioon Hangaskurunkankaan melun yhteisvaikutukset kohteen kaakkoispuolelle suunnitellun Verkasalon tuulipuiston (Winda Energy Oy) kanssa. Vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja, ja mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 9 voimalan hankevaihtoehtoilla lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Myös melun yhteisvaikutukset pysyvät ohjearvojen alapuolella.

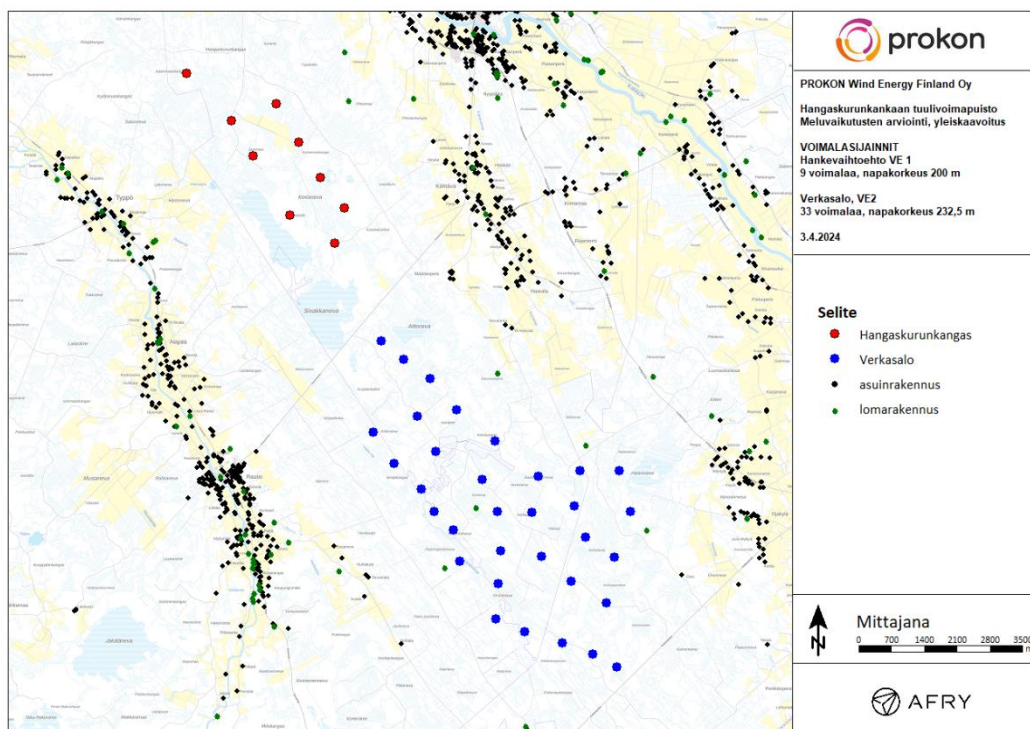
Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Pientaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty suomalaisten pientalojen mukaisia ilmääänieristävyyden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittaus Hankkeen tuloksista.

Vaikutusten seuranta voidaan tarvittaessa suorittaa melumittauksin, joista ohjeistetaan YM:n oppaissa 3-4/2014. Ohjeiden lisäksi suositellaan huomioimaan uusien kotimaisten tutkimustulosten tiedot mittaus tulosten analyysissä.

1 Johdanto

PROKON Wind Energy Finland Oy suunnittelee tuulipuistoa Alavieskan kunnan Hangaskurunkankaan alueelle. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Hangaskurunkankaan tuulivoimapuiston yleiskaavoitusta varten.

Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla (Kuva 1) ja koordinaatit on taulukoituna liitteessä 1. Karttapohjalla on esitetty myös Hangaskurunkankaan kaakkoispuolelle suunnitellun Verkasalon tuulipuiston (Winda Energy Oy) voimalasijoittelu VE2 (33 voimalaa) sekä maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaiset asuin- ja lomarakennusten sijainnit.



Kuva 1. Hangaskurunkankaan ja Verkasalon voimalasijainnit.

1.1 Ympäristömelu

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

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

Ympäristömelu koostuu ihmisen toiminnan aiheuttamasta melusta, joka vaihtelee ajan ja paikan mukaan. Äänen 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.

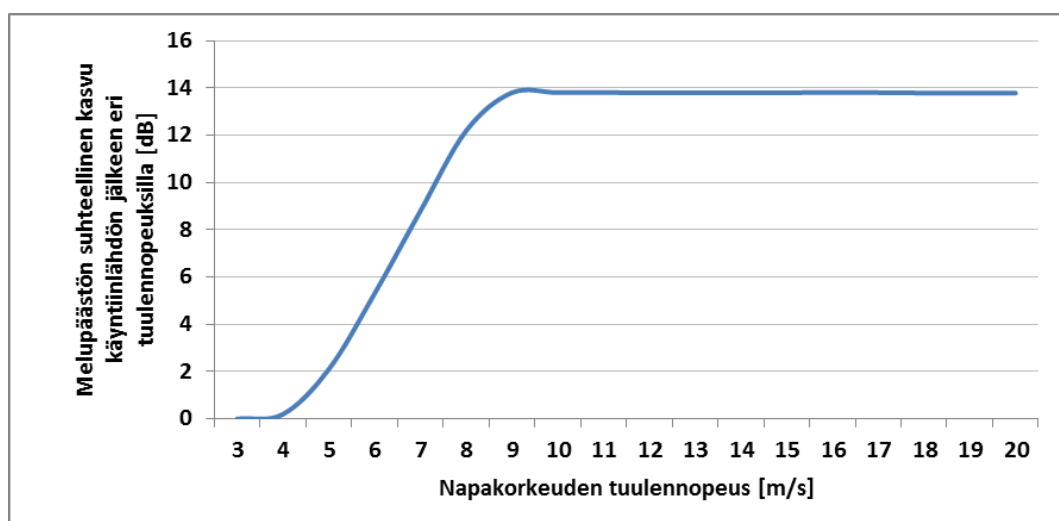
Melun ekvivalenttitaso, minkä symboli on L_{eq} ja A-taajuuspainotettuna L_{Aeq} , tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso.

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 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 ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin, on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4-6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä (Oerlemans, S. Schepers, J.G., 2009).

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



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

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

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, vuodenaajasta 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 12,5 m/s modernin voimalan napakorkeudella 200 m (G.P. van den Berg, 2006).

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaudoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2-4 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän jättöreunan serraatioiden tuotekehityksen johdosta (Arce León, C., 2017).

1.3 Vertailuohjeavot

Valtioneuvosto asetus 1107/2015 tuulivoimamelun ohjeavoista tuli voimaan 1.9.2015. Oheisessa taulukossa on esitetty uuden asetuksen mukaiset keskiäänitason ohjeavot LA_{eq} tuulivoimamelulle päivällä ja yöllä.

Taulukko 1. Tuulivoimamelun ohjeavot, LA_{eq}

Tuulivoimamelun ohjeavot	LA_{eq} päiväajalle (klo 7–22)	LA_{eq} yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

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

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason ohjeavot määritetään A-taajuuspainotettuna keskiäänitasona LA_{eq} erikseen yhden vuorokauden päiväajan ja yöajan osalta. Kyse ei ole hetkellisistä enimmäisäänitasoista. Kunkin vuorokauden päiväajan 15 tunnin (klo 7–22) keskimääräisen ulkomelutason (LA_{eq}) tulee pysyä annetun päiväajan ohjeavon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LA_{eq}) tulee pysyä annetun yöajan ohjeavon mukaisena. (Ympäristöministeriö, 2016). Melumallinnuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita,

vaan melun leviämislaskennan tulosvertailu tehdään vain yöajan alempaan 40 dB:n 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 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,1h (klo 22–7) mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

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

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

2 Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

Laskennan lähtötiedot on koottu tilaajan lähettämästä aineistosta (vain koordinaatit ja kokonaiskorkeus), Maanmittauslaitoksen digitaalikärttä-aineistosta, sekä kirjallisuudesta.

2.1 Digitaalikärttä-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaalikärtälle, 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 ja vesialueille 0.

2.2 Mallinnettu tuulivoimalamalli

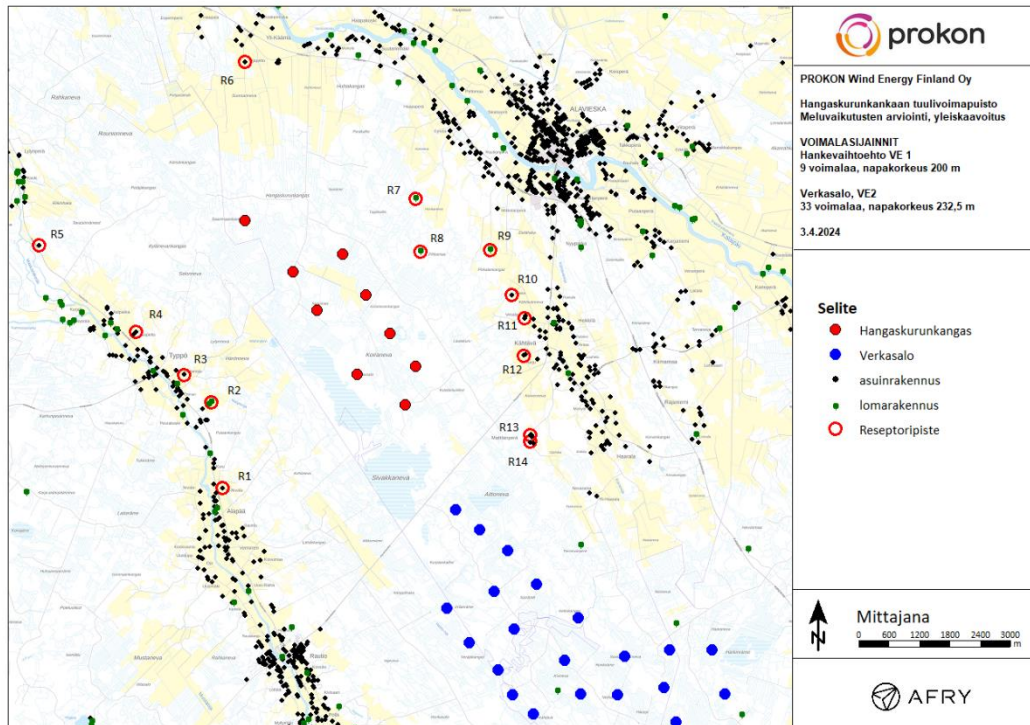
Mallinnus suoritettiin yhdelle geneeriselle 8 MW:n voimalamallille, jolle käytettiin Vestas V150 4,2 MW:n kokoluokan ja normaalisiiven mukaista äänipäästötasoa 108 dB lisätynä +2 dB:n varmuusarvolla K (ks. YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Pistemäisen äänilähteen kokonaisäänipäästön tunnusarvo LWA,d melumallissa on siten 110 dB. Äänipäästötason arvioidaan olevan siten varsin konservatiivinen ja malli ilman siiven jättöreunan serraatioita.

Mallinnetun voimalan napakorkeudeksi on valittu 200 m, joka on kaavan sallima voimaloiden kokonaiskorkeuden 300 m yläraja. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakaumaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3 Hz – 10 000 Hz.

Verkasalon voimaloiden sijainnit, napakorkeus ja äänipäästön lähtötiedot on saatu hankkeen YVA-arvioinnin melu- ja varjostusmallinnusraportista (11.10.2023, FCG). Sen perusteella voimaloiden napakorkeus on 232,5 m ja voimalatyyppi Nordex N175 6,8 MW, jonka äänipäästötaso on 106,9 + 2 dB(A).

2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sekä asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainnista vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



Kuva 3. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sijainnit.

2.4 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v 9.0, missä änilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä raytracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina käytettiin standardia ISO 9613-2, jonka parametriseointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

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

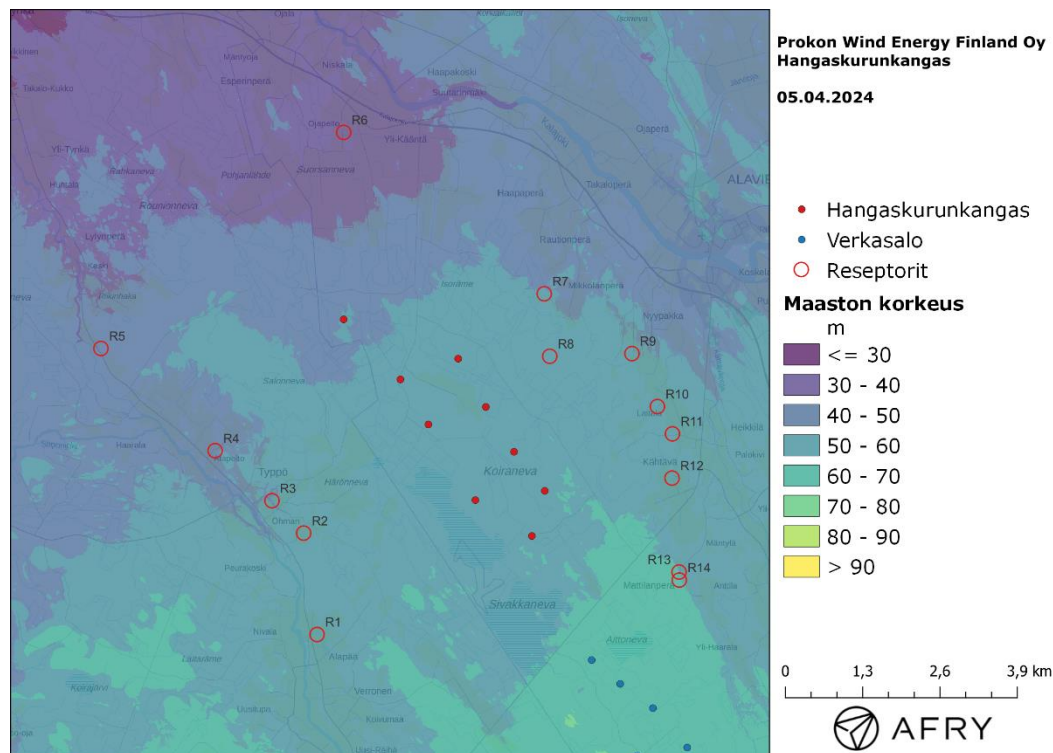
Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 4 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

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

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoitetaan myös pienempää äänen leviämismuutosta.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa LWA/LWA,d joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättyä 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.

Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja altistuvan kohteen maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta reseptoripisteeseen päin laskevasti katsotaan sellaiseksi, että sillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin (+2 dB lisäys äänipäästöön LWA). Tässä tapauksessa lisäystä ei tehdä, sillä 60 m korkeuserovaatimus ei täyty yhdenkään tuulivoimalan ja reseptoripisteen välillä 3 km:iin asti (ks. Kuva 4 ja liitteessä 1 esitetyt maaston korkeudet).



Kuva 4. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m (©Maanmittauslaitos).

Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa. Parametrit ovat ohjeen YM OH 2/2014 mukaisia ympäristövaikutusarvioinnin ja kaa-voituksen hankevaiheessa.

Taulukko 4. 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 Pientaajuuden melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84 %:n ja 90 %:n persenttiilit (Keränen et al., 2017, 2019)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto ja maastotietokanta (© MML, 2021), topografian pystyresoluutiona on 0,5 m.

Lähtötieto	Parametrit
	Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkkolaskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Tuulennopeus	n.12,5 m/s 200 m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10m: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)
Häiritsevyysskorjaukset	ks. luku 4.
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5 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	35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.5 Pientaajuisen melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu lasketaan erillisenä taulukkolaskentana YM:n ohjeen mukaisilla laskentaparametreilla. Pientaajuisen melun leviämismallin laskentaan käytettiin voimalan painottamattomia äänipäästön tunnusarvon 1/3 oktaavikaistatietoja L_w taajuusvälillä 20-200Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.9)

Pientaajuisen melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmastieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia. Pientalojen ilmastieristävyyden 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% lomaa-asuinrakennuksille (ks. liite 4, jossa vähimmäisarvon estimaattiarvot on esitetty).

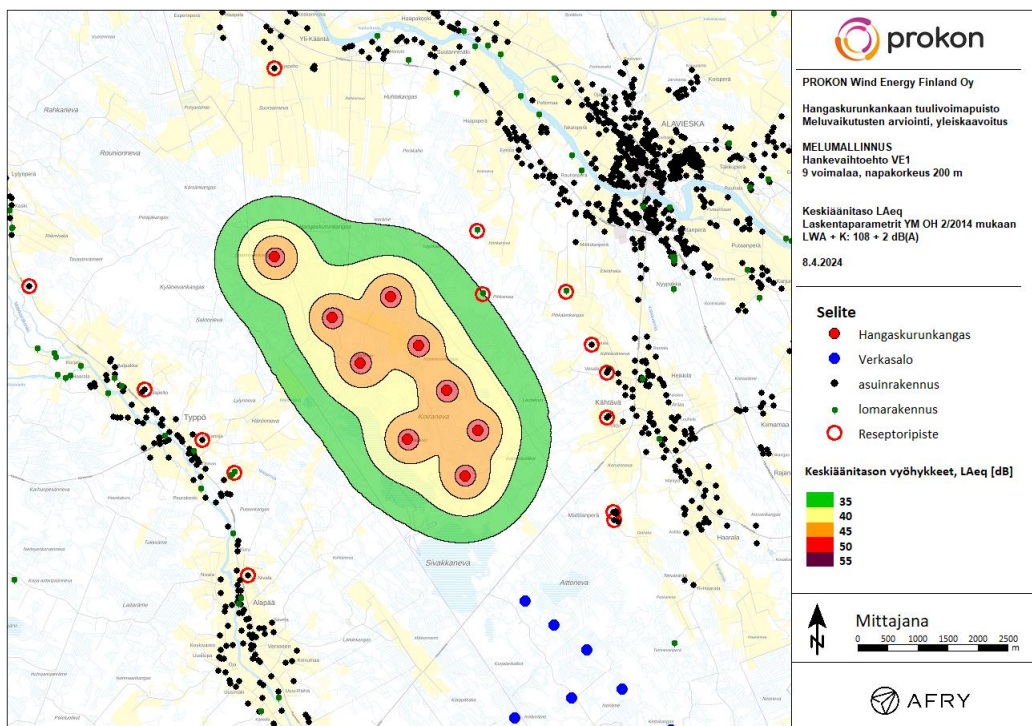
Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa LAeq ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä pientaajuisen melun tulokset alittavat VNa 1107 sekä STM:n asuinrakennuksen toimenpiderajat. Tätä tukevat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

3 Mallinnustulokset

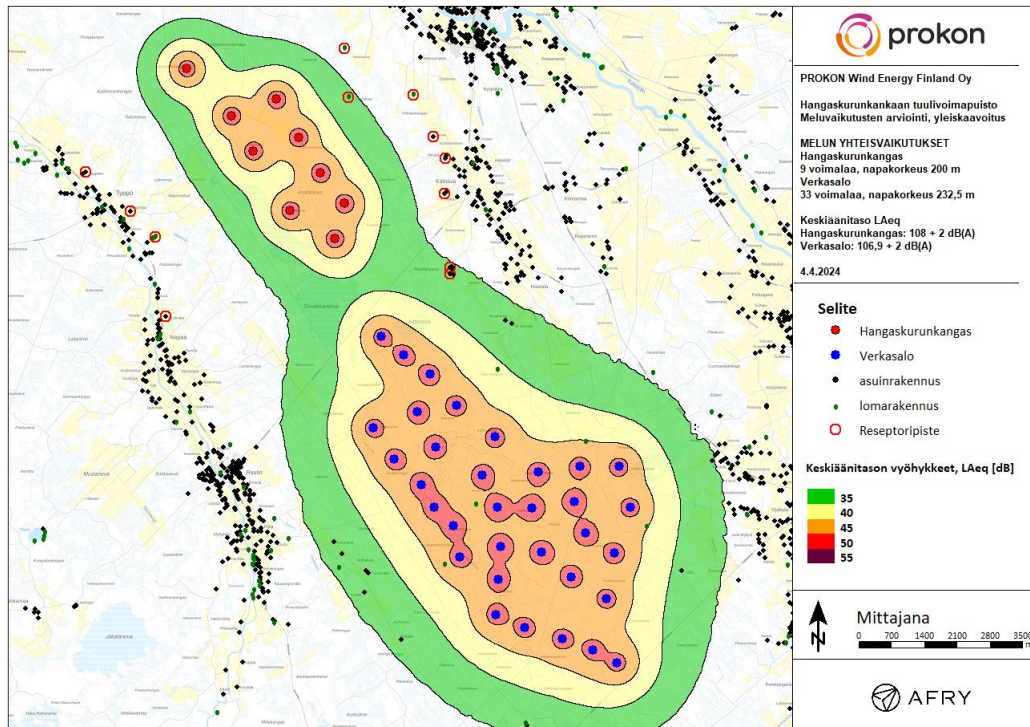
Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty kappaleessa 3.1 sekä suurempina kuvina liitteessä 2. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin liitteessä 3.

3.1 Ulkomelumallinnus

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat sekä Hangaskurunkankaan alueen 9 suunnitellulle voimalalle (Kuva 5) että yhteisvaikutustilanteelle Verkasalon 33 voimalan kanssa (Kuva 6). Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 5. Keskiäänitasot LAeq pelkästään Hangaskurunkankaan voimaloilla.



Kuva 6. Keskiäänitasot LAeq Hangaskurunkankaan ja Verkasalon yhteisvaikutusten tapauksessa.

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu kummassakaan tapauksessa lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoristelaskennan perusteella (Taulukko 5) korkein keskiäänitaso LAeq 36 dB saavutetaan reseptoripisteessä R8, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty loma-asuinrakennus, joka alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona. Kun huomioidaan Verkasalon yhteisvaikutus, 36 dB:n keskiäänitaso saavutetaan myös reseptoripisteissä R13 ja R14, mutta silloinkin 40 dB alittuu kaikissa pisteissä. Yöajan ohjearvoja 40 dB ulottuu mallinnuksen perusteella Kalajoen kaupungin puolelle.

Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

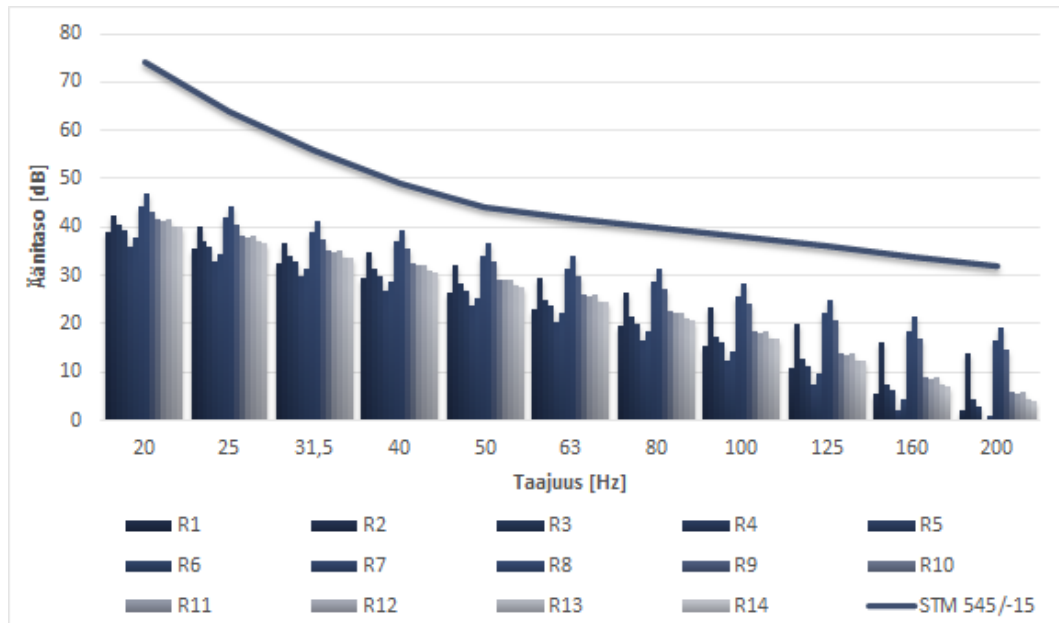
Taulukko 5. Mallinnetut ulkomelun tasot reseptoripisteissä R1-R14.

Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	LAeq Hangaskurunkangas / Yhteisvaikutukset	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	LAeq Hangaskurunkangas / Yhteisvaikutukset
R1	asuinrakennus	24 dB / 28 dB	R8	loma-asuinrakennus	36 dB / 36 dB
R2	lomarakennus	28 dB / 29 dB	R9	loma-asuinrakennus	29 dB / 30 dB
R3	asuinrakennus	27 dB / 28 dB	R10	asuinrakennus	29 dB / 31 dB
R4	asuinrakennus	25 dB / 26 dB	R11	asuinrakennus	29 dB / 31 dB
R5	asuinrakennus	18 dB / 20 dB	R12	asuinrakennus	30 dB / 33 dB
R6	asuinrakennus	23 dB / 24 dB	R13	asuinrakennus	27 dB / 36 dB
R7	lomarakennus	32 dB / 32 dB	R14	asuinrakennus	27 dB / 36 dB

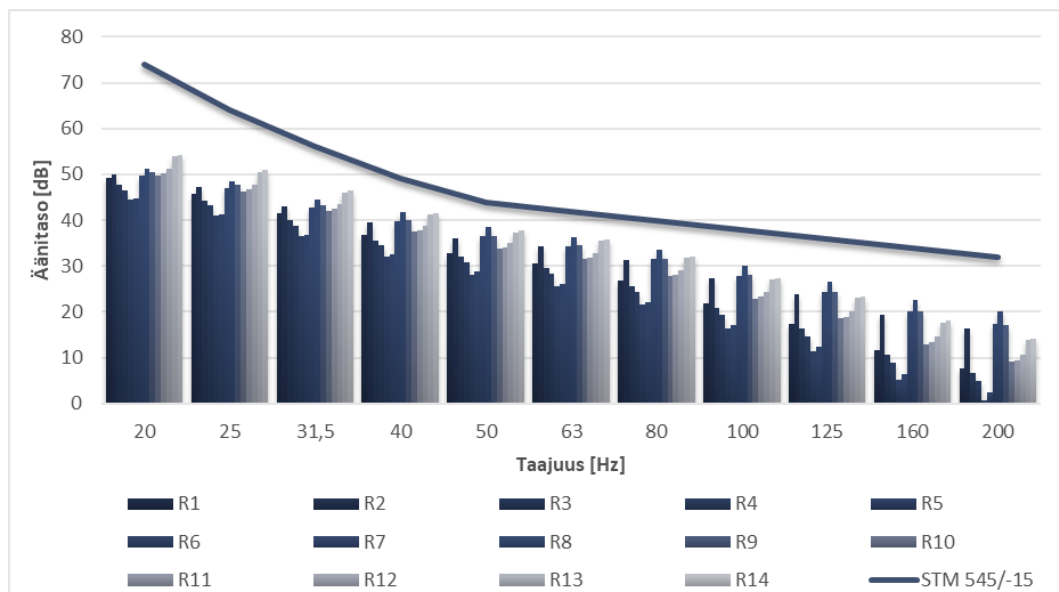
3.2 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

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). Mallinnetut pientaajuisten melujen tasot Hangaskurunkankaan voimaloilla ja Verkasalon yhteisvaikutuksilla on havainnollistettu kuvissa (Kuva 7 ja Kuva 8).

Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvosta DL84% ja DL90% sekä äänipäästön varmuusarvosta K. Suurimmat arvot ulkona pelkäs-tään Hangaskurunkankaan voimaloilla (ks. liite 3) saavutetaan reseptoripisteessä R8, jonka pientaajuisen sisämelun laskennassa käytetään myös alempaa julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoa DL90% rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella (loma-asuinrakennus). Kun otetaan huomioon yhteisvaikutukset Verkasalon voimaloiden kanssa, korkeimmat ulkomelun tasot saavutetaan reseptoripisteissä R13 ja R14.



Kuva 7. Pienitaajuisten melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R14, vain Hangaskurunkankaan voimalat.



Kuva 8. Pienitaajuisten melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R14, Hangaskurunkankaan ja Verkasalon yhteisvaikutukset.

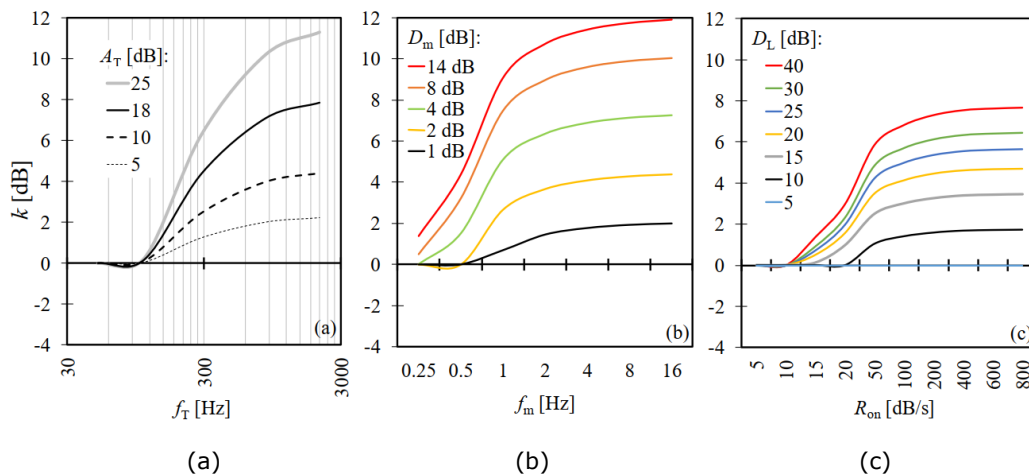
3.3 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaudoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 2-4 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017).

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

4 Vaikutusten seuranta

Rakentamisen jälkeisiä meluvaikutuksia voidaan tarvittaessa seurata mittauksin, joista ohjeistetaan myös ympäristöministeriön oppaissa YM OH 3-4/2014. Ohjeen julkaisemisen jälkeen on kuitenkin saatu runsaasti uutta tietoa koskien mm. sanktiomenettelyjä esim. Anojanssi -tutkimushankkeesta (Keränen et al., 2019). Mahdollisen valvonnan yhteydessä tehtävien melumittaustulosten analyyseissa suositellaan hyödynnettävien ko. tuloksia (ks. kuvat 6 (a)-(c) alla).



Kuva 9. (a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta f_T ja ääneksen erottuvuudesta A_T . (b) Amplitudimoduloitun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta f_m ja modulaatiosyvyydestä D_m . (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta R_{on} ja tasoerosta D_L (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykinnän sanktiomenettelyä.

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

5 Lähteet

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

Vestas DMS 0079-5298_01. V162-5.6MW Third octave noise emission. Vestas Power Solutions, 2019.

Yhteenvedo 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. Ympäristöministeriö, Helsinki 2016.

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

Hangaskurunkankaan voimaloiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
HK 1	362925	7116909	50,6	200 m
HK 2	363880	7115898	53,1	200 m
HK 3	364350	7115141	55,8	200 m
HK 7	365140	7113868	58,2	200 m
HK 5	365316	7115435	55,7	200 m
HK 6	365790	7114681	56,8	200 m
HK 8	366307	7114024	59,0	200 m
HK 4	364851	7116247	54,7	200 m
HK 9	366091	7113264	58,9	200 m

Verkasalon voimaloiden koordinaatit (VE2, 33 voimalaa)

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
V01	372136	7104203	81,6	232,5 m
V02	371622	7104479	80,7	232,5 m
V03	370957	7104711	79,8	232,5 m
V04	370157	7104947	72,6	232,5 m
V05	369541	7105227	71,4	232,5 m
V06	371914	7105569	74,2	232,5 m
V07	369591	7105980	70,8	232,5 m
V08	371150	7106037	75,8	232,5 m
V09	368764	7106453	69,8	232,5 m
V10	372083	7106541	68,7	232,5 m
V11	370521	7106556	74,1	232,5 m
V12	369636	7106678	75,5	232,5 m
V13	371464	7106967	71,3	232,5 m
V14	368628	7107123	69,1	232,5 m
V15	370306	7107506	67,8	232,5 m
V16	368227	7107519	68,1	232,5 m
V17	369568	7107523	70,4	232,5 m
V18	372422	7107527	68,7	232,5 m
V19	371227	7107652	68,0	232,5 m
V20	367939	7108000	67,0	232,5 m
V21	369253	7108202	65,1	232,5 m
V22	370442	7108273	64,5	232,5 m
V23	372176	7108397	63,5	232,5 m

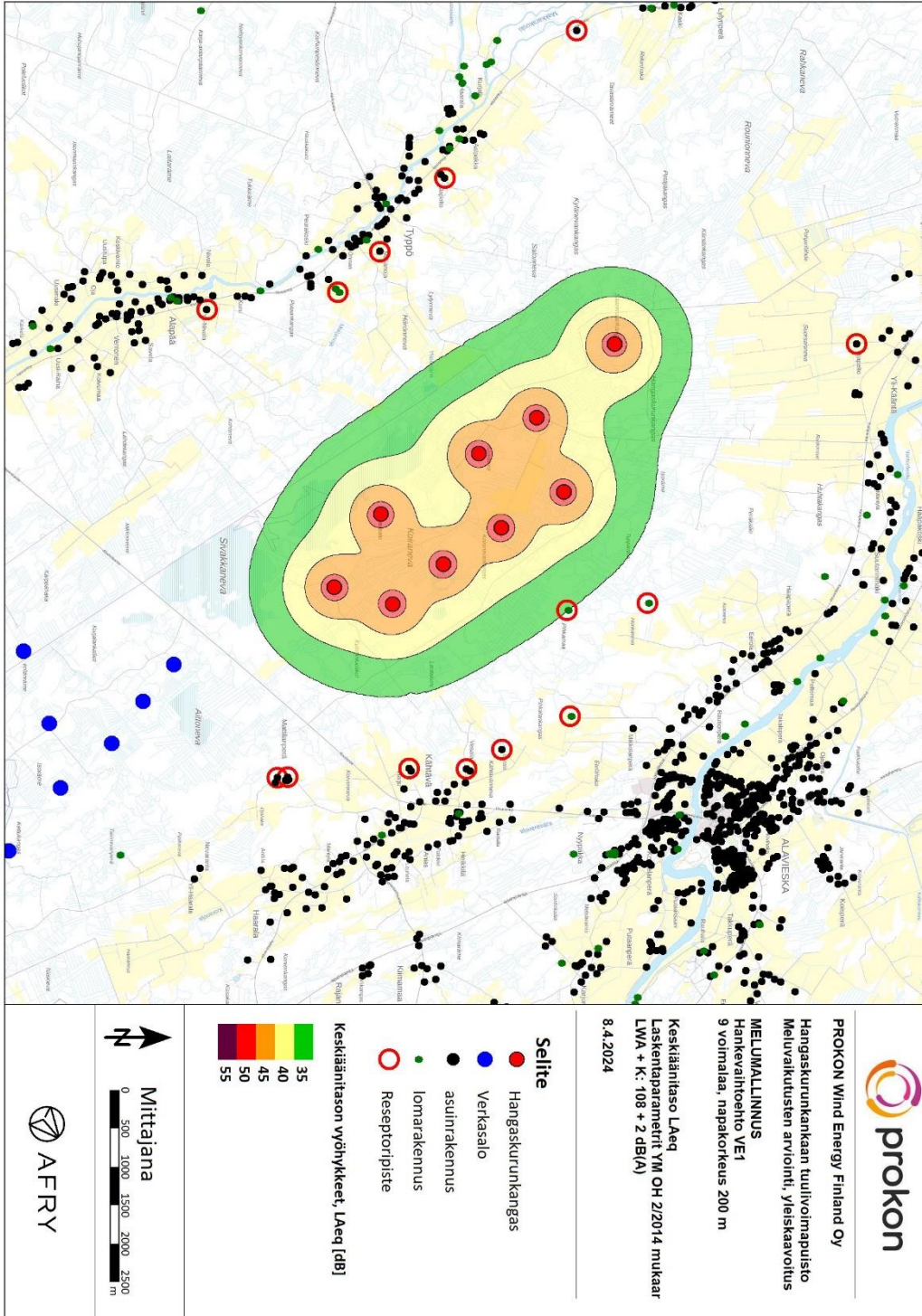
No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
V24	371335	7108402	65,6	232,5 m
V25	367367	7108547	67,9	232,5 m
V26	368250	7108818	64,9	232,5 m
V27	369525	7109029	62,7	232,5 m
V28	366924	7109225	67,0	232,5 m
V29	367862	7109559	67,7	232,5 m
V30	368702	7109705	64,4	232,5 m
V31	368126	7110369	63,4	232,5 m
V32	367574	7110777	63,1	232,5 m
V33	367096	7111177	62,5	232,5 m

Reseptoripisteiden R1-R14 koordinaatit

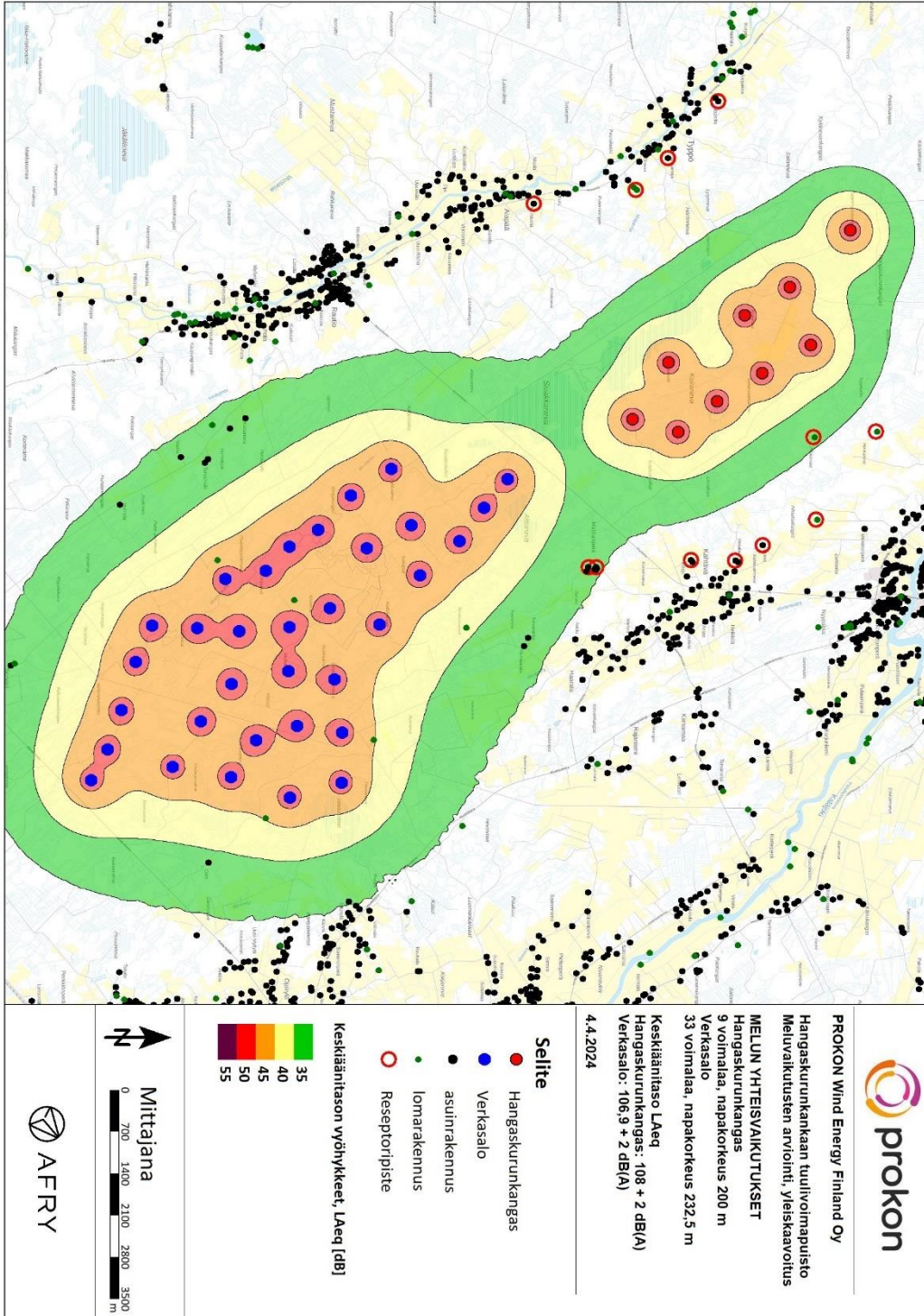
No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
R1	362478,0	7111606,5	54,3	4 m
R2	362253,1	7113312,5	51,7	4 m
R3	361720,4	7113857,3	50,4	4 m
R4	360763,8	7114699,6	48,8	4 m
R5	358843,7	7116419,1	42,9	4 m
R6	362926,1	7120053,8	38,6	4 m
R7	366297,8	7117338,9	51,4	4 m
R8	366390,9	7116288,2	54,2	4 m
R9	367773,0	7116333,0	50,7	4 m
R10	368201,1	7115442,1	52,7	4 m
R11	368453,74	7114983,31	53,3	4 m
R12	368447,33	7114237,92	55,6	4 m
R13	368564,63	7112658,07	60,4	4 m
R14	368568,87	7112522,64	61,0	4 m

Liite 2. Melumallinnusten tuloskartat

Keskiaänitasot LAeq pelkästään Hangaskurunkankaan voimaloilla



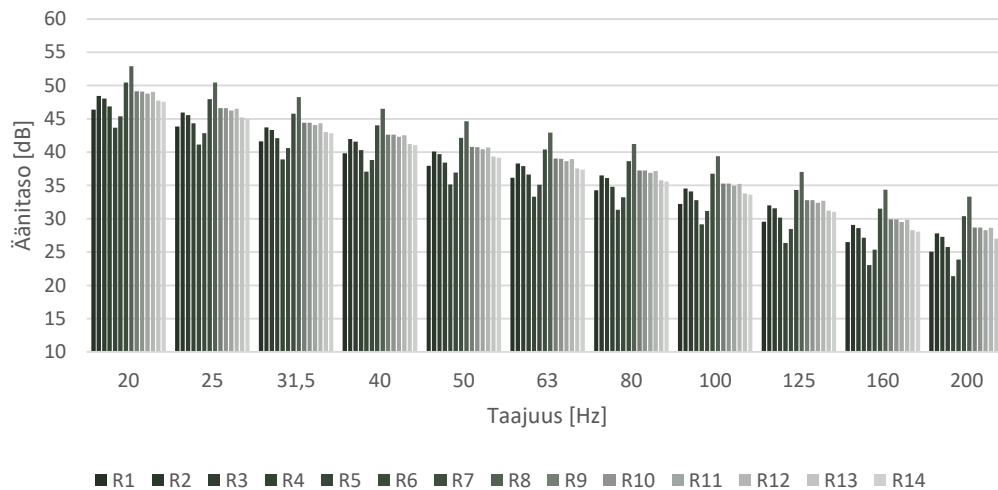
Keskiäänitasot LAeq Hangaskurunkankaan ja Verkasalon yhteisvaikutusten tapauksessa



Liite 3. Pientaajuisen melun numeeriset tulokset

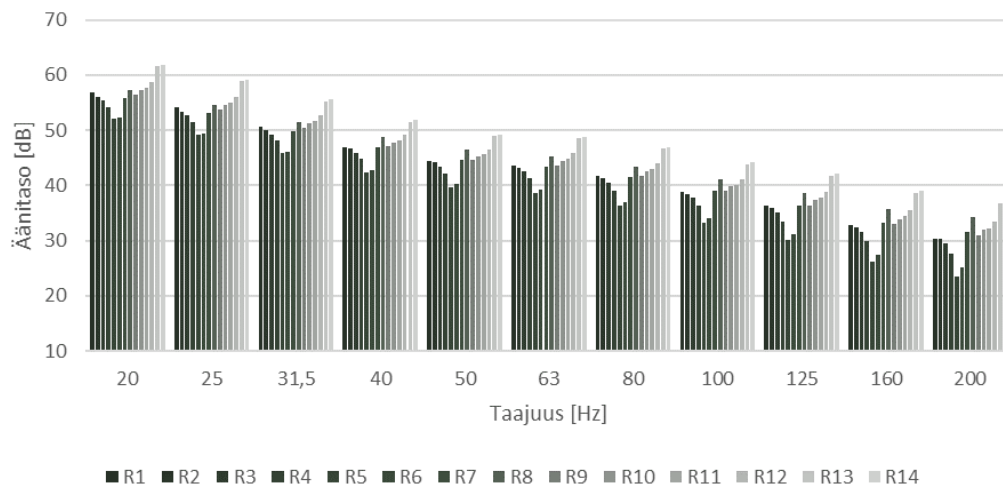
Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona [dB], Hangaskurunkankaan voimalat

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



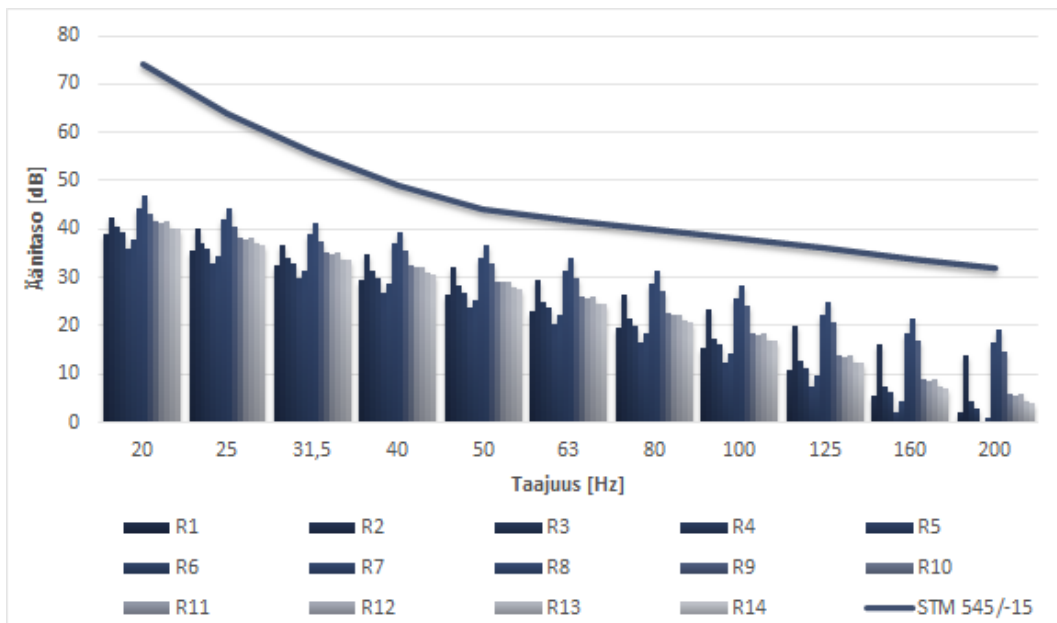
Pientaajuisten melulaskennan tulokset ulkona [dB], Hangaskurunkankaan ja Verkasalon yhteisvaikutukset

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	56,9	54,1	50,6	47,0	44,4	43,7	41,7	38,8	36,3	32,7	30,4
R2	56,1	53,4	50,0	46,6	44,1	43,2	41,2	38,5	35,9	32,4	30,4
R3	55,4	52,6	49,3	46,0	43,5	42,5	40,5	37,7	35,1	31,6	29,5
R4	54,2	51,4	48,1	44,7	42,2	41,2	39,1	36,3	33,5	29,9	27,7
R5	52,1	49,3	45,8	42,3	39,7	38,6	36,4	33,2	30,2	26,1	23,5
R6	52,3	49,5	46,1	42,8	40,3	39,2	37,0	34,0	31,1	27,3	25,1
R7	55,8	53,0	49,9	46,9	44,6	43,4	41,5	38,9	36,4	33,1	31,5
R8	57,3	54,6	51,6	48,8	46,5	45,3	43,4	41,1	38,7	35,6	34,2
R9	56,4	53,7	50,4	47,1	44,6	43,7	41,7	39,0	36,4	33,0	31,0
R10	57,3	54,6	51,2	47,8	45,3	44,5	42,5	39,8	37,3	33,9	31,9
R11	57,8	55,1	51,7	48,2	45,6	44,9	42,9	40,2	37,7	34,4	32,3
R12	58,8	56,1	52,6	49,1	46,5	45,9	44,0	41,2	38,9	35,6	33,5
R13	61,5	58,9	55,3	51,6	48,9	48,5	46,7	43,9	41,8	38,7	36,7
R14	61,8	59,2	55,6	51,9	49,2	48,8	47,0	44,2	42,1	39,1	37,0



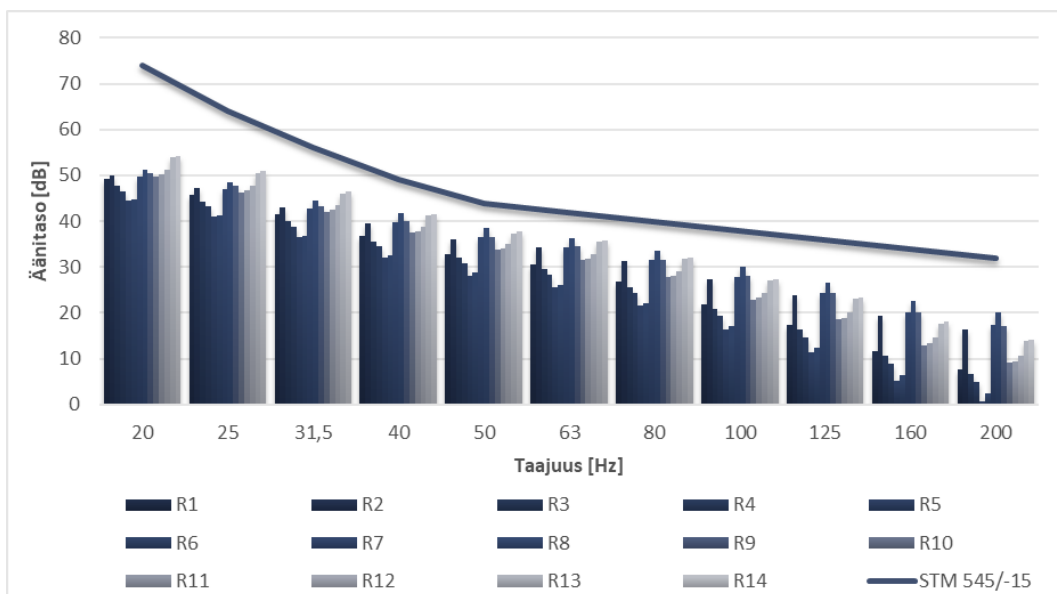
Pientaajuisen melulaskennan tulokset sisällä äänitasoeron jälkeen [dB], Hangaskurunkankaan voimat

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	38,8	35,5	32,4	29,5	26,4	23,1	19,5	15,4	10,8	5,5	2,2
R2	42,5	39,9	36,7	35,0	32,1	29,3	26,5	23,6	20,0	16,1	13,8
R3	40,5	37,2	34,1	31,3	28,2	24,9	21,3	17,3	12,8	7,6	4,5
R4	39,2	36,0	32,9	30,0	26,9	23,6	20,0	16,0	11,4	6,1	3,0
R5	36,1	32,8	29,7	26,8	23,7	20,3	16,6	12,4	7,6	2,0	-1,4
R6	37,8	34,5	31,4	28,5	25,4	22,1	18,4	14,4	9,7	4,3	1,1
R7	44,5	42,0	38,8	37,0	34,2	31,4	28,7	25,8	22,3	18,5	16,4
R8	46,9	44,4	41,3	39,5	36,7	33,9	31,2	28,4	25,0	21,3	19,3
R9	43,1	40,6	37,4	35,6	32,8	30,0	27,2	24,3	20,8	16,9	14,7
R10	41,5	38,3	35,2	32,3	29,3	26,0	22,4	18,5	14,0	8,9	5,9
R11	41,2	38,0	34,9	32,0	28,9	25,7	22,1	18,1	13,6	8,5	5,5
R12	41,4	38,2	35,1	32,3	29,2	25,9	22,4	18,4	13,9	8,9	5,9
R13	40,1	36,9	33,8	30,9	27,9	24,6	21,0	17,0	12,4	7,3	4,2
R14	40,0	36,7	33,6	30,7	27,7	24,4	20,8	16,8	12,2	7,1	4,0



Pientaajuksen melulaskennan tulokset sisällä äänitasoeron jälkeen [dB], Hangaskurunkankaan ja Verkasalon yhteisvaikutukset

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,3	45,8	41,4	36,7	32,9	30,7	26,9	22,0	17,5	11,7	7,6
R2	50,1	47,4	43,0	39,6	36,1	34,2	31,2	27,5	23,9	19,4	16,4
R3	47,8	44,3	40,1	35,7	32,0	29,5	25,7	20,9	16,3	10,6	6,7
R4	46,6	43,1	38,9	34,4	30,7	28,2	24,3	19,5	14,7	8,9	4,9
R5	44,5	41,0	36,6	32,0	28,2	25,6	21,6	16,4	11,4	5,1	0,7
R6	44,7	41,2	36,9	32,5	28,8	26,2	22,2	17,2	12,3	6,3	2,3
R7	49,8	47,0	42,9	39,9	36,6	34,4	31,5	27,9	24,4	20,1	17,5
R8	51,3	48,6	44,6	41,8	38,5	36,3	33,4	30,1	26,7	22,6	20,2
R9	50,4	47,7	43,4	40,1	36,6	34,7	31,7	28,0	24,4	20,0	17,0
R10	49,7	46,3	42,0	37,5	33,8	31,5	27,7	23,0	18,5	12,9	9,1
R11	50,2	46,8	42,5	37,9	34,1	31,9	28,1	23,4	18,9	13,4	9,5
R12	51,2	47,8	43,4	38,8	35,0	32,9	29,2	24,4	20,1	14,6	10,7
R13	53,9	50,6	46,1	41,3	37,4	35,5	31,9	27,1	23,0	17,7	13,9
R14	54,2	50,9	46,4	41,6	37,7	35,8	32,2	27,4	23,3	18,1	14,2



Liite 4. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT										
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101012920-001										
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT										
Mallinnusohjelma: SoundPlan v. 9.0					Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2					
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)										
Tuulivoimalan valmistaja: Geneerinen (Hangaskurunkangas) Nordex (Verkasalo)					Nimellisteho: 8 MW (Hangaskurunkangas) 6,8 MW (Verkasalo)					
Roottorin halkaisija: 200 m (Hangaskurunkangas) 175 m (Verkasalo)					Napakorkeus: 200 m (Hangaskurunkangas) 232,5 m (Verkasalo)					
Lukumäärä: 9 + 33 kpl					Siipityyppi: Normaali					
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB										
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Melupäästötiedot (LWA): 108,0 dB(A) (Hangaskurunkangas) 106,9 dB(A) (Verkasalo)					Varmuusarvo K : +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, 09/2021					Maanpinnan pystyresoluutio: 0,3 m / laserkeilausaineisto					
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
Vesialueet:			Maa-alueet:			Muut alueet (mitkä?)				
0			0,4			Laajat kallioalueet: 0				
PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNITASOEROT										
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
LASKENTATULOKSET										
Laskentavaihtoehdot 2 kpl										

Laskentakartat: 2 kpl	Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 35 dB, 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2 kpl	Reseptoripisteet: 14 kpl, R1-R14
Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)	
Yli 40 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl	Yli 45 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl
Pientaajuisen melun tulokset: Kaikki tulokset alle asumisterveysasetuksen	