



HAARASUONKANKAAN TUULIPUISTO KY

Vaarinkankaan tuulivoimahanke

Melumallinnus ympäristövaikutusten arviointiselostusta varten, tekninen raportti

02.09.2024

TAALERI
Energia



POHJAN VOIMA

efterklang:

PART OF AFRY

Copyright © AFRY Finland Oy

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

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101021081-003.

Kuvien pohjakartat ja -ilmakuvat: Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineisto, avoin data 2024, ellei toisin mainita.

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Haarasuonkankaan Tuulipuisto Ky

Pohjan Voima Oy

Tomi Mäkipelto

050 370 4092

tomi.makipelto@pohjanvoima.fi

Taaleri Energia Oy

Pauli Maaninka

050 527 5550

pauli.maaninka@taaleri.com

YVA-konsultti:

AFRY Finland Oy

www.afry.com

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	5
TERMIT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Ympäristömelu	7
1.2 Tuulivoimamelu	7
1.3 Tuulivoimamelun ohjeavot YM 1107/2015	9
1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	9
2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT	10
2.1 Mallinnusohjeistus	10
2.2 Digitaaliskartta-aineisto	11
2.3 Tuulivoimalamalli.....	12
2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	13
2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit.....	13
2.6 Pienitaajuuden melun laskenta	15
3 MALLINNUSTULOKSET	16
3.1 Ulkomelumallinnus.....	16
3.1.1 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE1	16
3.1.2 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE1 yhteismeluvaikutus (Haarasuonkangas, Ukonkangas, Turkkiselkä ja Susisuo).....	18
3.1.3 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE2	19
3.1.4 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE2 yhteismeluvaikutus (Haarasuonkangas, Ukonkangas, Turkkiselkä ja Susisuo).....	21
3.2 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	22
3.3 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	29
4 LÄHDELUETTELO.....	29

LIITTEET JA KUVAT

Liite 1 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit melumallinnuksen ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa

Liite 2 Pienitaajuuden melun numeeriset laskentatulokset

Liite 3 Melumallinnuskartta – Hankevaihtoehto 1

Liite 4 Melumallinnuskartta – Hankevaihtoehto 2

Liite 5 Melumallinnuskartta – Hankevaihtoehto 1 Yhteisvaikutus

Liite 6 Melumallinnuskartta – Hankevaihtoehto 2 Yhteisvaikutus

Liite 7 Melumallinnuksen perustiedot

TIIVISTELMÄ

Pohjan Voima Oy:n ja Taaleri Energia Oy:n omistama hankekehitysyhtiö Haarasuonkankaan Tuulipuisto Ky suunnittelee tuulivoimapuistoa Puolangan kunnan lounaisosaan. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Vaarinkankaan tuulivoimapuiston ympäristövaikutusten arviointia varten. Melumallinnuksissa otetaan huomioon myös Vaarinkankaan melun yhteisvaikutukset Ukonkankaan, Haarasuonkankaan, Turkkielän ja Susisuon tuulivoimapuistojen kanssa. Vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja, ja mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014.

Hankealueen tuulivoimaloiden rakennuspaikat ovat 1–1,5 hehtaaria voimalaa kohden eli vaihtoehdossa VE1 12–18 hehtaaria ja VE2:ssa 9–13,5 hehtaaria. Hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA) tarkastellaan kahta toteutusvaihtoehtoa. Vaihtoehdossa VE1 hankealueelle sijoittuu enintään 12 voimalaa ja vaihtoehdossa VE2 enintään 9 voimalaa.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan hankevaihtoehdoilla VE1 ja VE2 lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä.

Melun yhteisvaikutuksissa hankevaihtoehdossa VE1 ja VE2 keskiäänitaso LAeq yöajan ohjearvo 40 dB ylitystä ei esiinny lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä.

Pienitaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat hankevaihtoehdoissa VE1 ja VE2. Pienitaajuisen melun yhteisvaikutus Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkielän ja Susisuon (VE1 ja VE2) hankkeiden kanssa ylittävät sisätilan melun toimenpiderajat Vaarinkankaan hankevaihtoehdossa VE1 reseptoripisteissä R1, R2 ja R6.

Yhteisvaikutukset oheisten tuulivoimapuistojen kanssa ylittävät toimenpiderajat myös Vaarinkankaan hankevaihtoehdossa VE2 reseptoripisteessä R1. Pienitaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty suomalaisten pientalojen mukaisia ilmastieristävyyden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittaushankkeen tuloksista.

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

TERMIT JA LYHENTEET

YVA-selostuksessa on käytetty seuraavia termejä ja lyhenteitä.

Termi	Selite
dB, desibeli	Äänenvoimakkuuden yksikkö. Kymmenen desibelin nousu melutasossa tarkoittaa äänen energian kymmenkertaistumista. Melumittauksissa käytetään eri taajuuksia eri tavoin painottavia suodatuksia. Yleisin on niin sanottu A-suodatin, jonka avulla pyritään kuvaamaan tarkemmin äänen vaikutusta ihmiseen.
A-painotus	Äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen, yleensä tehollisarvona, esim. LWA.
Äänitehotaso LWA	Äänienergian tehollinen arvo (yksikkönä dB tai Watti). Ääniteho toimii mallinnusten yhtenä syöttöarvona. Yleisesti käytetään äänitehon taajuuskais-toja, joiden logaritminen summa muodostaa äänitehotason.
Melupäästön takuuarvo	Valmistajan ilmoittama tuulivoimalan tuottaman melupäästön (ääniteho-taso) takuuarvoa, jossa varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on noin 95 %. Melupäästöarvo on kaksiosainen muodostuen äänitehota-sojen keskiarvosta ja varmuusarvosta.
Varmuusarvo	Tuulivoimalan laitteiston valmistajan ilmoittamaa saman tuulivoimalatyyppin melupäästön hajonnasta johtuvan epävarmuuden huomioivaa varmuusar-voa
Oktaavikaista	Oktaavikaista käsittää kahden asetuspisteen välisen taajuusalueen. Esi-merkiksi oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 88–176 Hz.
1/3 oktaavikaista	1/3-oktaavikaista käsittää kahden asetuspisteen välisen taajuusalueen. Esimerkiksi 1/3-oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 111–140 Hz. 1/3-oktaavikaista-analyysi antaa yksityiskohtaisempaa tietoa kuin oktaavi-kaista-analyysi.
Kapeakaistaisuus	Tonaalisuudella tarkoitetaan yhden tai useamman ääneksen äänenpaineta-son ja peittoäänien tason erotusta kriittisellä kaistalla ääneksen (ääneksien) ympärillä. Melu on kapeakaistaista tai tonaalista, jos siinä on kuulohavain-noin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä ääneksiä tai ka-peakaistaisia komponentteja melulle altistuvalla alueella.
Sykintä	Melu on merkityksellisesti sykkivää eli amplitudimoduloitunutta, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä ää-nenvoimakkuuden ajallisia jaksollisia vaihteluja melulle altistuvalla alueella.
Impulssimaisuus	Melu on impulssimaista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä lyhytkestoisia ääniä (transientteja) melulle al-tistuvalla alueella.
Reseptoripiste	Melun vastaanottopiste mallinnuksessa, josta saadaan äänilähteiden melu-vaikutus (yksiköllä dB) tietylle alueelle tai rakennukselle.

1 JOHDANTO

Taaleri Energia Oy ja Pohjan Voima Oy suunnittelevat tuulivoimapuistoa Puolangan kunnan Vaarinkankaan alueelle. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Vaarinkankaan tuulivoimapuiston ympäristövaikutusten arviointia varten.

Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla (Kuva 2-2) ja koordinaatit ovat taulukoituna liitteessä 1. Yhteismelukartassa (Kuva 3-2) on esitetty myös Vaarinkankaan länsi- ja lounaispuolelle suunnitellun Haarasuonkankaan (35 voimalaa), koillispuolelle suunnitellun Ukonkankaan (15 voimalaa), eteläpuolelle suunnitellun Turkkielän (39 voimalaa) ja lounaispuolelle suunnitellun Susisuon (VE1 15 voimalaa) voimalasijoittelu sekä maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaiset asuin- ja lomarakennusten sijainnit.

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 ominaisuuksien mukaan. Normaali ympäristömelu sisältää useista kohteista peräisin olevaa yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jatkuvassa muutoksessa.

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

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

Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, 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 äänitasoa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso.

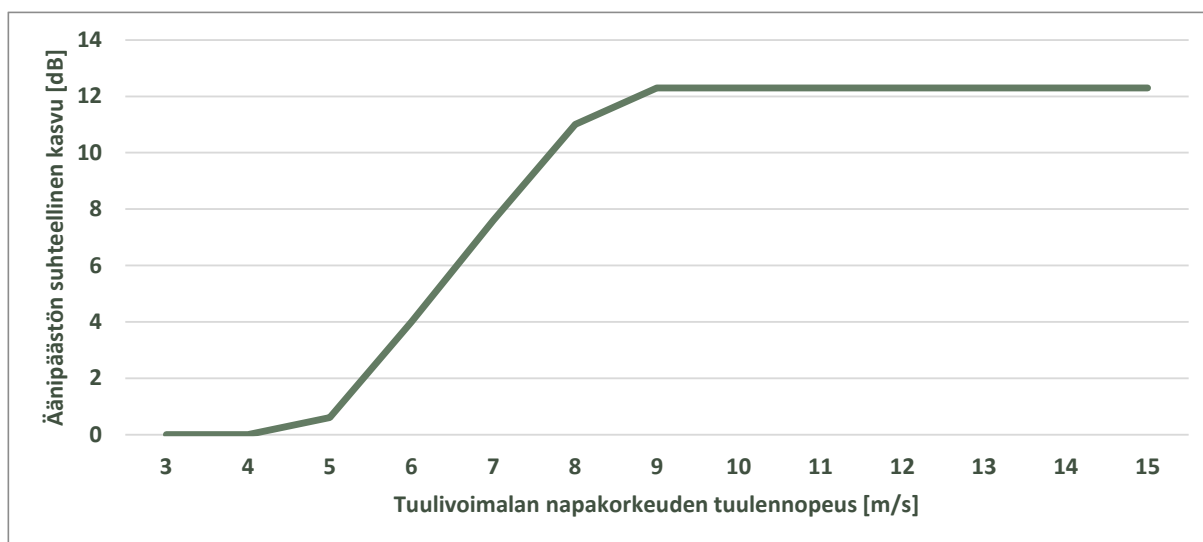
1.2 Tuulivoimamelu

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

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

suuntaavuutta ylhäältä käsin, on voimalan 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 käyntiä lähtönopeutta, 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 yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipi-kulmasäätö taasoittaa 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, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuksellisesti 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 lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaudoituksen, joka vähentää melupäästöä

niemellisteholla tällä hetkellä noin 2–4 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän jättöreunan serraatioiden tuotekehityksen takia (Arce León, C., 2017).

1.3 Tuulivoimamelun ohjearvot YM 1107/2015

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

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

Tuulivoimamelun ohjearvot	LAeq päiväajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Jos tuulivoimalan melu on impulssimaista tai kapeakaistaista melulle altistuvalla alueella, valvonnan yhteydessä saatuun mittauksilukemiseen 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 pientaajuisten melulle taajuusvälillä 20–200 Hz.

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

Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB (25 dB)
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB
huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-
muut kokoontumistilat	40 dB	-

Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB	-

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

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

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

2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT

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

2.1 Mallinnusohjeistus

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

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

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5–8000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuustarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

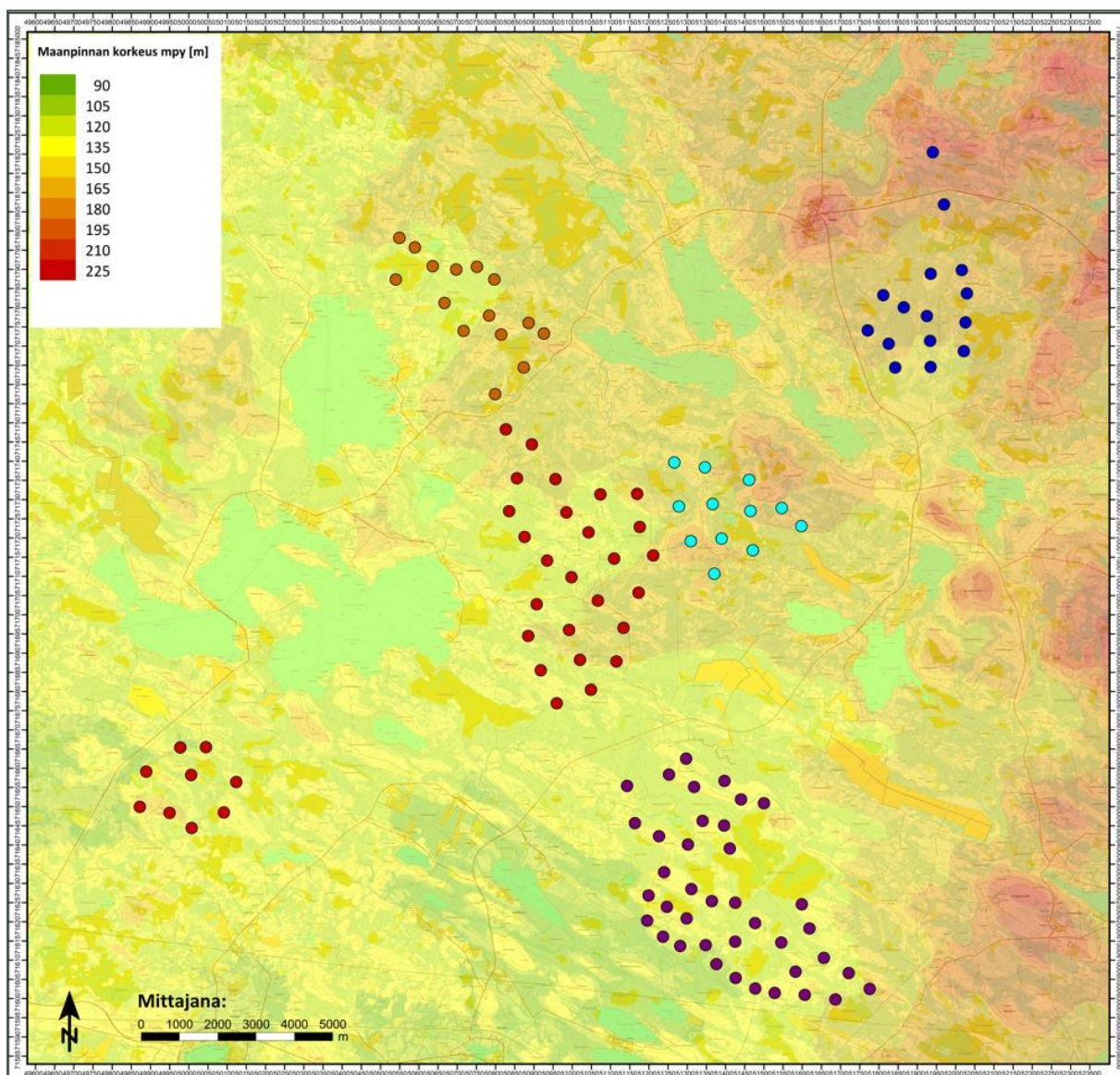
Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa

erillisinä huomioon. Lisäksi pienitaajuisten äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin (Jakobsen, J. 2012). Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Pienitaajuisten melun tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneristävyydellä.

2.2 Digitaalikartta-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0,5 m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten paikkatiedot sekä niiden käyttötarkoitus siten kuin se on esitetty Maanmittauslaitoksen aineistossa. Maa-alueille akustinen kovuuskerroin on ohjeen mukaisesti 0,4 ja vesialueille 0.

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 2-1) ja liitteessä 1 esitetyt maaston korkeudet).



Kuva 2-1. Alueen topografiakartta, jossa on näkyvissä Vaarinkankaan VE1 tuulivoimalat (Turkoosi), Haarasuonkankaan (Punainen), Ukonkankaan (Sininen), Turkkielän (Viinipunainen) ja Susisuon VE1 (Ruskea) tuulivoimalat, mpy [m].

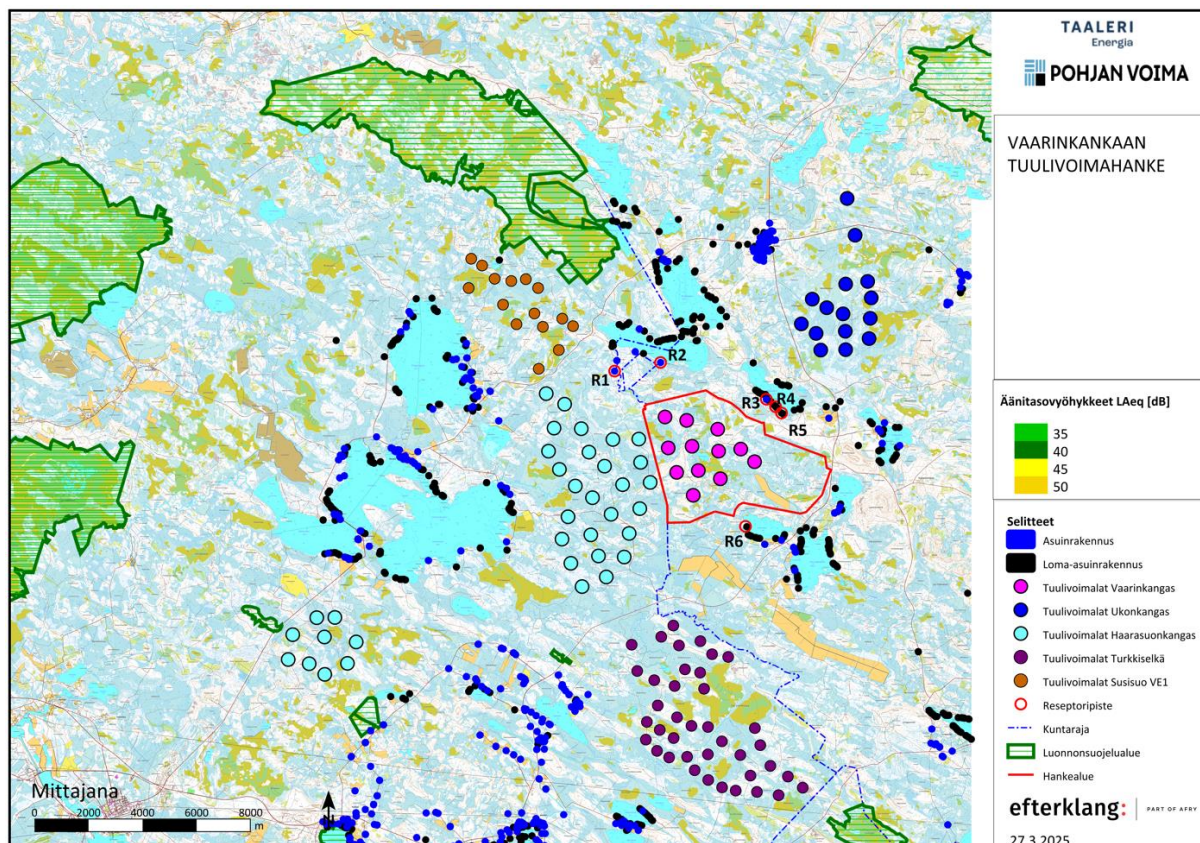
2.3 Tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin yhdelle voimalamallille, jolle käytettiin Vestas V172 7,2 MW:n kokoluokan ja serraatioksiin mukaista äänipäästötasoa 106,9 dB sekä + 2 dB:n varmuusarvoa K (ks. YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Pistemäisen äänilähteen kokonaisäänipäästön tunnusarvo LWA,d melumallissa on siten 108,9 dB.

Vaarinkankaan mallinnetun voimalan napakorkeudeksi on valittu 200 m ja kokonaiskorkeuden ylärajaksi 300 m. Haarasuonkankaan napakorkeudeksi on valittu 180 m ja kokonaiskorkeuden ylärajaksi 270 m. Ukonkankaan napakorkeudeksi on valittu 200 m ja kokonaiskorkeuden ylärajaksi 320 m. Turkkielän napakorkeudeksi on valittu 190 m ja kokonaiskorkeuden ylärajaksi 280. Susisuon napakorkeudeksi on valittu 220 m ja kokonaiskorkeuden ylärajaksi 320. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakamaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3 Hz–10 000 Hz lisättynä yllä mainituilla korjauksilla sekä varmuusarvolla.

2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden (VE1) sekä lähimpien asuin- ja lomarakennusten sijainnit. Lomarakenukset on kuvattu kartalla sinisellä pisteellä ja asuinrakennukset mustalla pisteellä. Lähialueen asuin- ja lomarakennuksista määriteltiin kuusi vertailurakennusta, ns. reseptoripisteet R1-R6, joiden kohdalle tarkasteltiin tarkemmin keskiääni- (LAeq) ja pienitaajuisen melun tasoja. Reseptoripisteiden kohdalle laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijaintoja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



Kuva 2-2. Yhteismelumallinnusalue. Vaarinkankaan voimaloiden sijainnit (pinkit pisteet), Haarasuonkankaan voimaloiden sijainnit (turkoosit pisteet), Ukonkankaan voimaloiden sijainnit (siniset pisteet), Turkkiselän voimaloiden sijainnit (viininpunaiset pisteet), Susisuo voimaloiden sijainnit (ruskeat pisteet) ja reseptoripisteet (punaiset ympyrät).

2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v 9.1, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä. Mallinnusalgorithmiina käytettiin standardia ISO 9613-2, jonka parametrisointi 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 suuntaan.

Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitason käyrät

5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-1) ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

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

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

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

Taulukko 2-1. 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. Pientaajuinen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84 %:n ja 90 %:n persentiilit (Keränen et al., 2017, 2019a)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto ja maastotietokanta (© MML, 2024), topografian pystyresoluutiona on 0,5 m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkko-laskennan 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 0,1 m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.3
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 6,3 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Häiritsevyysskorjaukset	ks. luku 2.1
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.2 Kuva 2-1 (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5 m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4 m) korkeudella seuraten digitaalikartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen ko- vuus	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 ja 50 dB

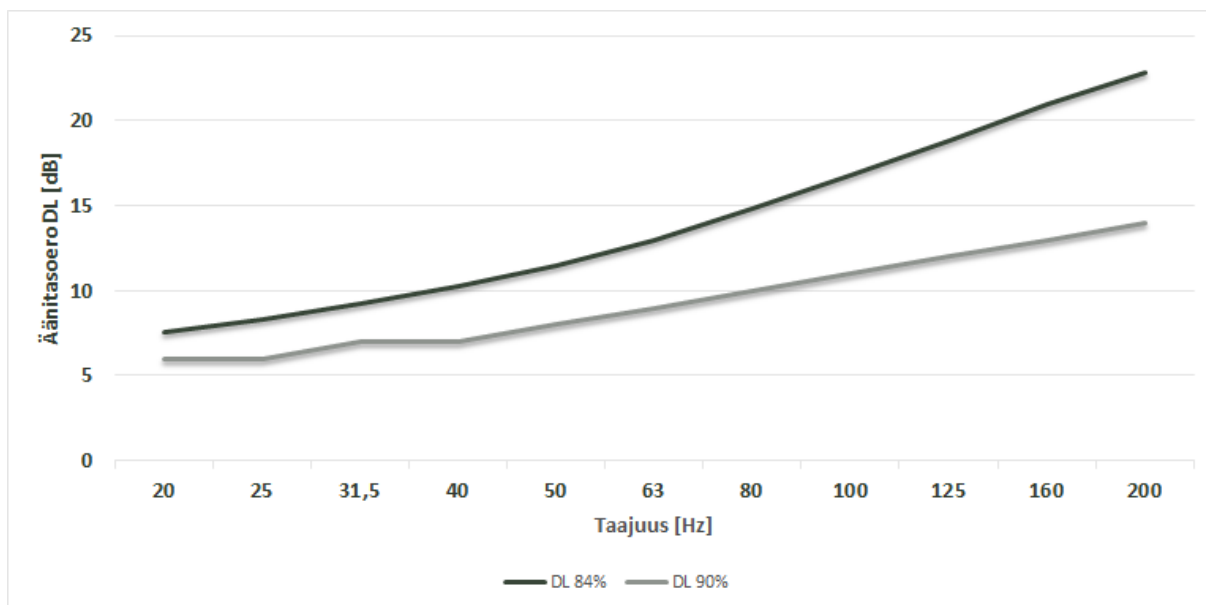
2.6 Pienitaajuisen melun laskenta

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

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

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

Pientaajuisen melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyysarvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia. Pientalojen ilmaäänieristävyysarvojen tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin persentiiliarvona DL84% ja DL90% (Keränen et al., 2017, 2019a). Persentiilit kuvaavat arvoa, jolla tietty (x)% ylittää äänitasoeron arvon eli mitä suurempi persentiili niin sen heikompi on julkisivurakenteiden äänieristävyys. Tässä laskennassa hyödynnettiin vähimmäisarvon estimaattia DL84% asuinrakennuksille ja vähimmäisarvon estimaattia DL90% loma-asuinrakennuksille.



Kuva 2-3. Äänitasoeron DL vähimmäisarvon estimaatit 84 %:n ja 90 % persentileille Turun AMK:n julkaisujen mukaan.

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

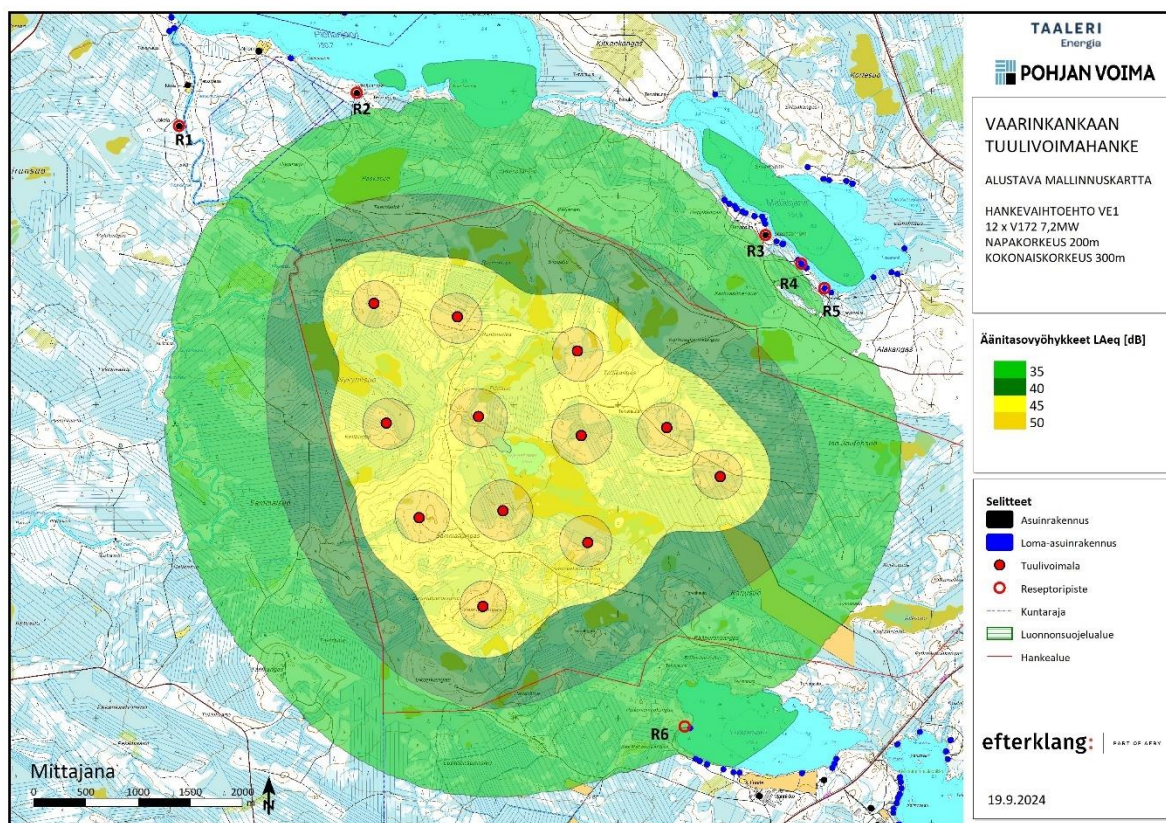
3 MALLINNUSTULOKSET

Melun leviäminen on esitetty kappaleessa 3.1 suurempina kuvina. Pientaajuisten melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.2 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteessä 2.

3.1 Ulkomelumallinnus

3.1.1 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE1

Hankevaihtoehtoon VE1 melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Vaarinkankaan hankealueen 12:lle suunnitellulle voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 3-1. Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE1 melumallinnuskartta, keskiäänitaso LAeq.

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoristelaskennan perusteella (Taulukko 3-1) korkein keskiäänitaso LAeq 36,6 dB saavutetaan reseptoripisteessä R3, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty loma-asuinrakennus. Yöajan ohjearvoja 40 dB alitetaan kaikissa reseptoripisteissä.

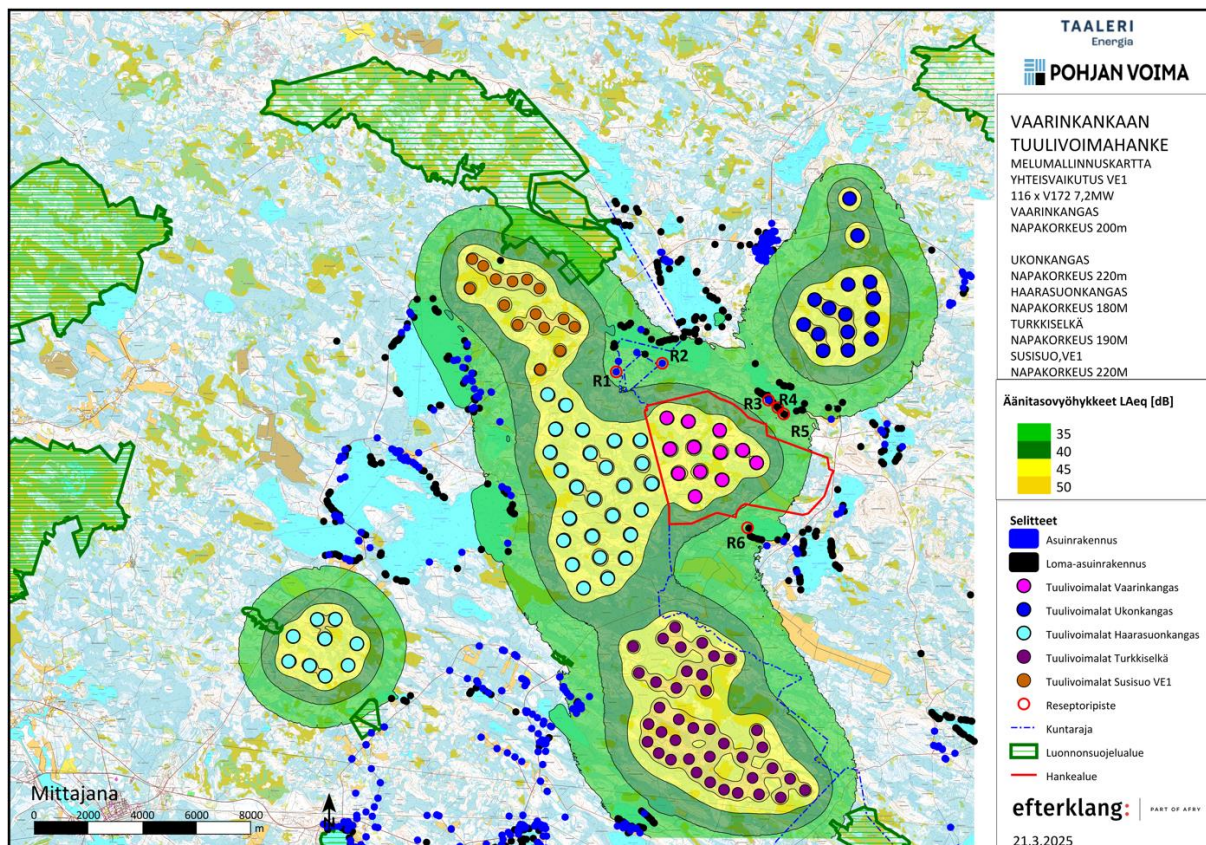
Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

Taulukko 3-1. Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE1 melumallinnuksen reseptoripistetulokset.

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	32,6 dB	R4	loma-asuinrakennus	36,4 dB
R2	asuinrakennus	35,1 dB	R5	loma-asuinrakennus	36,3 dB
R3	asuinrakennus	36,6 dB	R6	loma-asuinrakennus	36,5 dB

3.1.2 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE1 yhteismeluvaikutus (Haarasuonkangas, Ukonkangas, Turkkiselmä ja Susisuo)

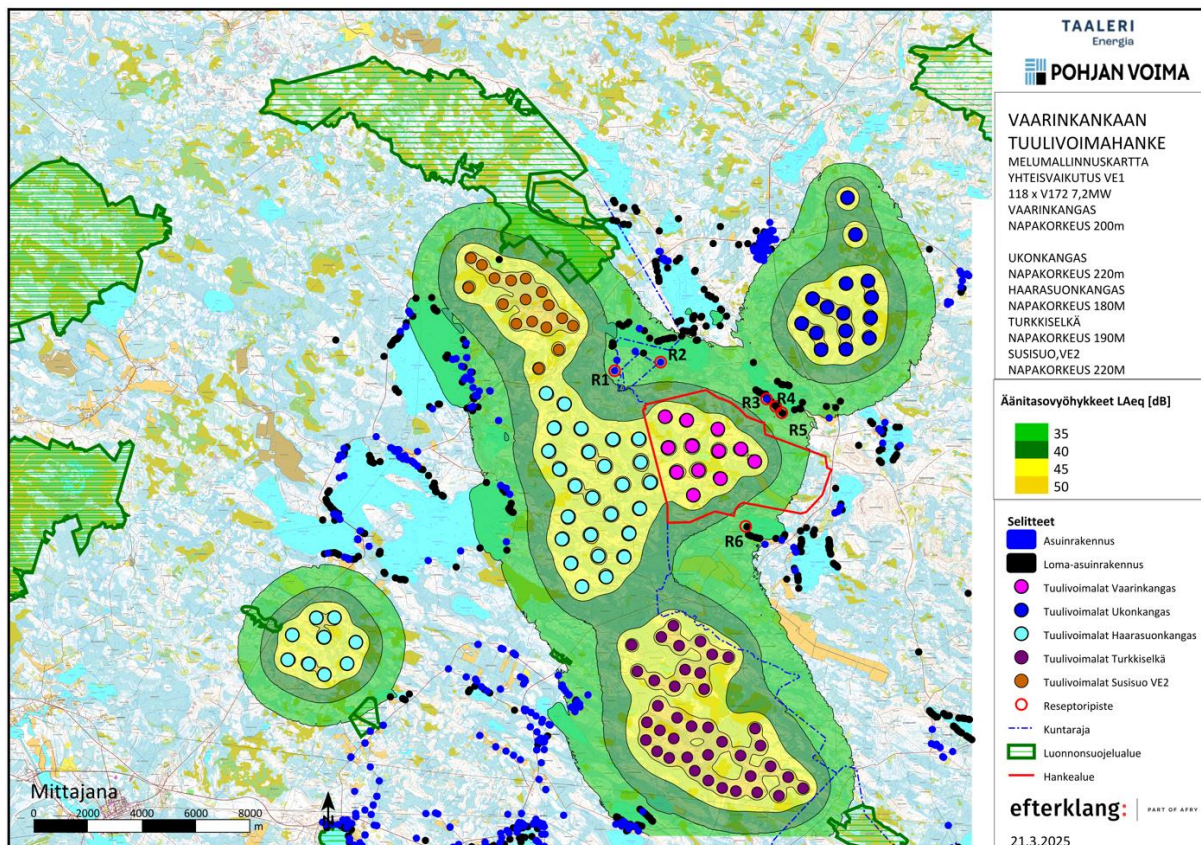
Vaarinkankaan hankevaihtoehtoon VE1 yhteismelumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Vaarinkankaan hankealueen 12:lle suunnitellulle voimalalle sekä viereisten tuulipuistojen yhteisvaikutukselle (Haarasuonkangas, Ukonkangas, Turkkiselmä ja Susisuo). Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 3-2. Vaarinkankaan hankevaihtoehtoon VE1 melumallinnuskartta sekä yhteisvaikutus Haarasuonkankaan, Turkkiselän, Ukonkankaan ja Susisuon (VE1) tuulivoimaloiden kanssa, keskiäänitaso LAeq.

Taulukko 3-2. Vaarinkankaan hankevaihtoehtoon VE1 yhteismelumallinnuksen reseptoripistetulokset (Susisuo VE1).

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	39,2 dB	R4	loma-asuinrakennus	37,6 dB
R2	asuinrakennus	37,4 dB	R5	loma-asuinrakennus	36,9 dB
R3	asuinrakennus	37,3 dB	R6	loma-asuinrakennus	37,1 dB



Kuva 3-3 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE1 melumallinnuskartta sekä yhteisvaikutus Haarasuonkankaan, Turkkiselän, Ukonkankaan ja Susisuo (VE2) tuulivoimaloiden kanssa, keskiäänitaso LAeq.

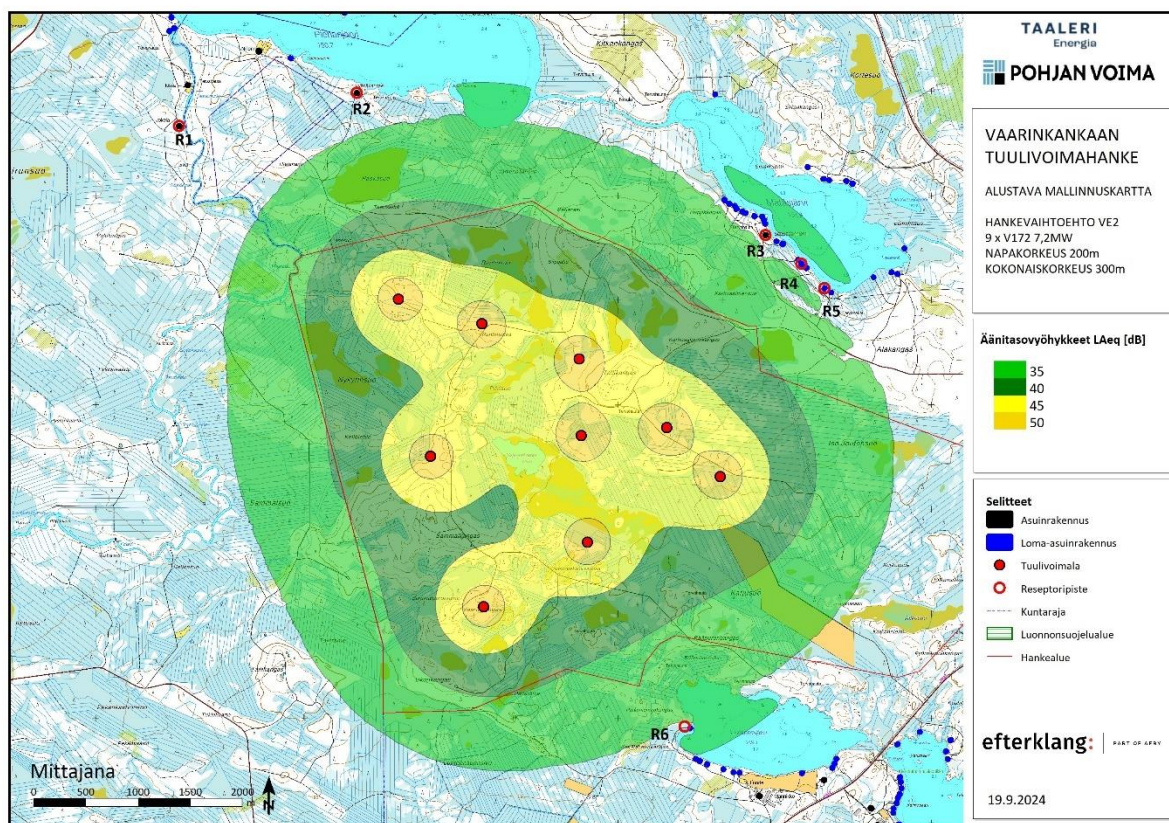
Taulukko 3-3 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE1 yhteismelumallinnuksen reseptoripistetulokset (Susisuo VE2).

Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset
R1	asuinrakennus	Keskiäänitaso LAeq 39,4 dB	R4	loma-asuinrakennus	37,6 dB
R2	asuinrakennus	37,5 dB	R5	loma-asuinrakennus	36,9 dB
R3	asuinrakennus	37,3 dB	R6	loma-asuinrakennus	37,1 dB

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja lomarakennuksiin asti, kun otetaan huomioon yhteismeluvaikutukset lähimpien tuulivoimapuistojen kanssa vaihtoehdossa VE1. Reseptoripistelaskennan perusteella (Taulukko 3-2 ja Taulukko 3-3) korkein keskiäänitaso LAeq 39,2 ja 39,4 dB saavutetaan reseptoripisteessä R1, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus.

3.1.3 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE2

Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE2 melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Vaarinkankaan hankealueen 9:lle suunnitellulle voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 3-4. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuskartta, keskiäänitaso LAeq.

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti vaihtoehdossa VE2. Reseptoristelaskennan perusteella (Taulukko 3-4) korkein keskiäänitaso LAeq 36,1 dB saavutetaan reseptoripisteessä R3, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus. Yöajan ohjearvoja 40 dB alitetaan kaikissa reseptoripisteissä.

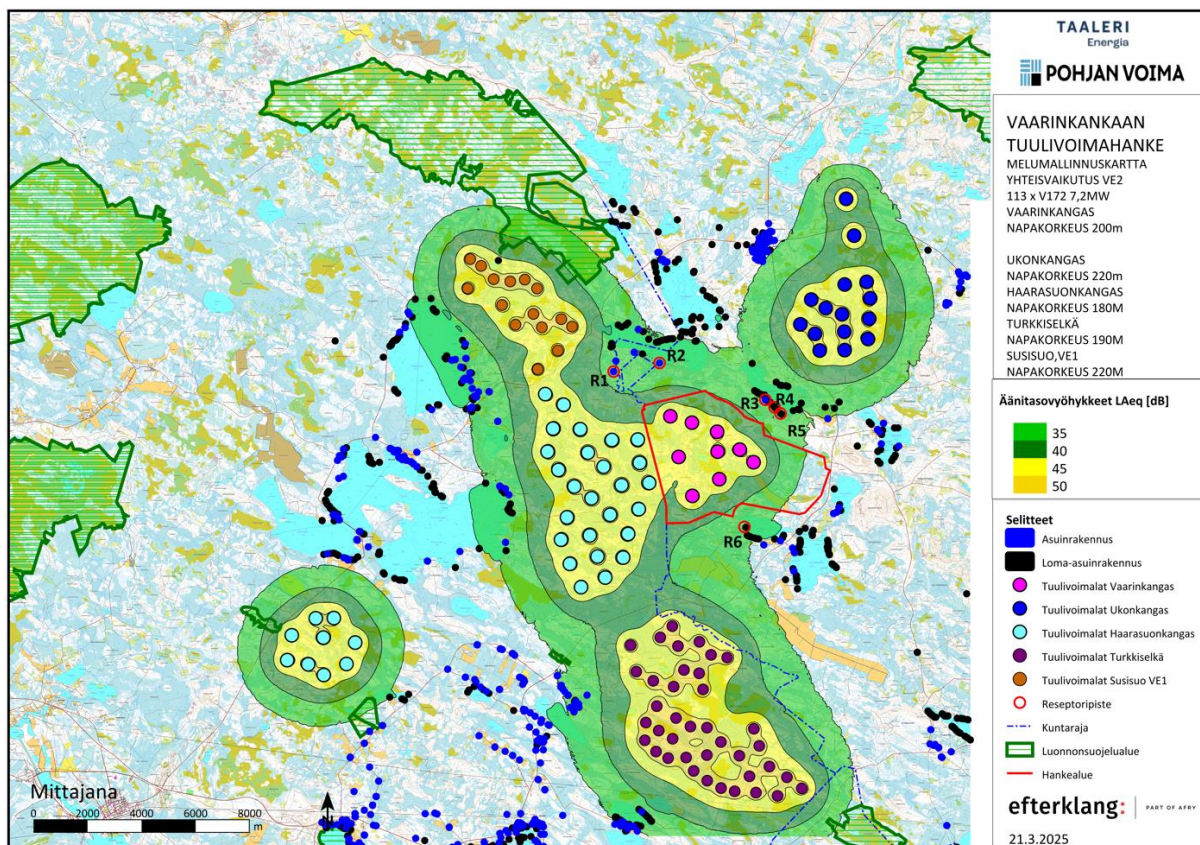
Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

Taulukko 3-4. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuksen reseptoripistetulokset.

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	31,0 dB	R4	loma-asuinrakennus	35,9 dB
R2	asuinrakennus	34,0 dB	R5	loma-asuinrakennus	35,9 dB
R3	asuinrakennus	36,1 dB	R6	asuinrakennus	35,6 dB

3.1.4 Vaarinkankaan hankevaihtoehto VE2 yhteismeluvaikutus (Haarasuonkangas, Ukonkangas, Turkkiselmä ja Susisuo)

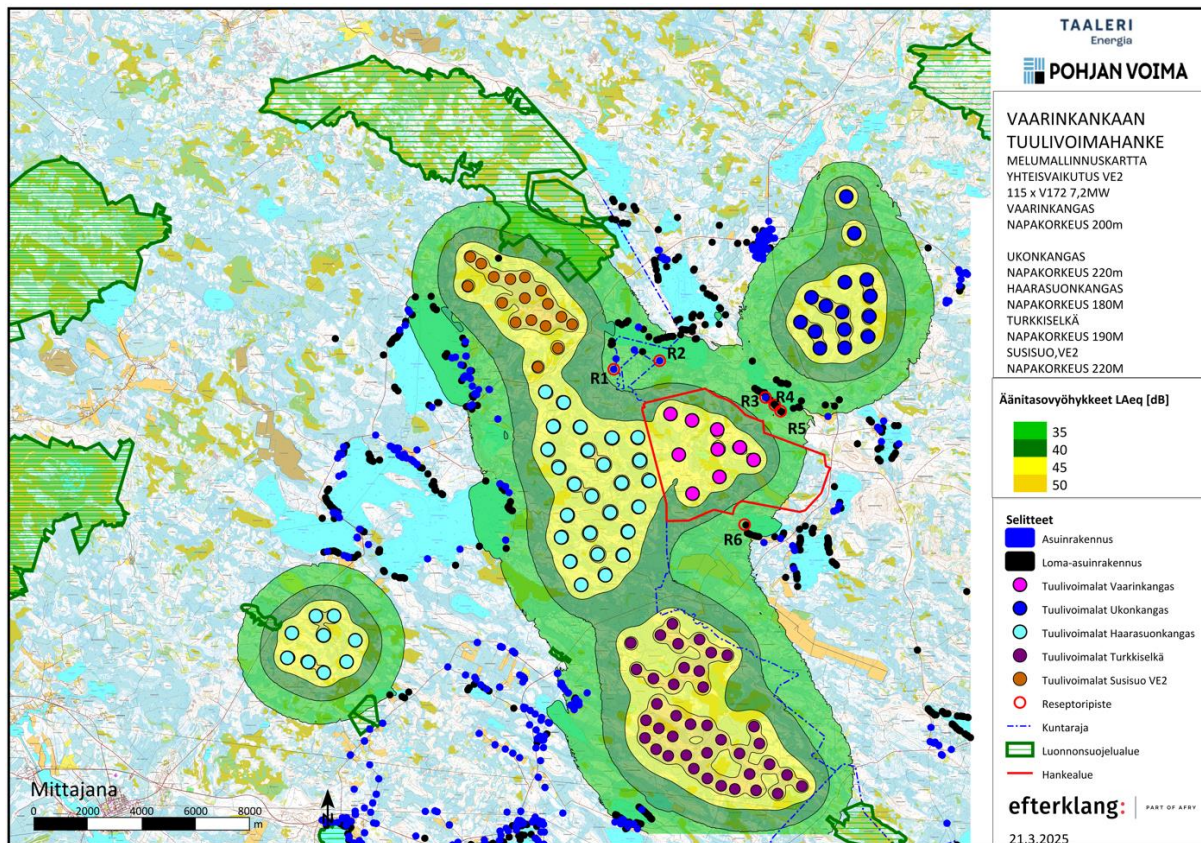
Vaarinkankaan hankevaihtoehtoon VE2 yhteismelumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Vaarinkankaan hankealueen 9:lle suunnitellulle voimalalle sekä viereisten tuulipuistojen yhteisvaikutukselle (Haarasuonkangas, Ukonkangas, Turkkiselmä ja Susisuo). Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 3-5. Vaarinkankaan hankevaihtoehtoon VE2 melumallinnuskartta sekä yhteisvaikutus Haarasuonkankaan, Turkkiselän, Ukonkankaan ja Susisuon (VE1) tuulivoimaloiden kanssa, keskiäänitaso LAeq.

Taulukko 3-5. Vaarinkankaan hankevaihtoehtoon VE2 yhteismelumallinnuksen reseptoripistetulokset (Susisuo VE1).

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	38,9 dB	R4	loma-asuinrakennus	37,4 dB
R2	asuinrakennus	36,9 dB	R5	loma-asuinrakennus	36,9 dB
R3	asuinrakennus	37,2 dB	R6	loma-asuinrakennus	36,5 dB



Kuva 3-6. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuskartta sekä yhteisvaikutus Haarassuonkankaan, Turkkiselän, Ukonkankaan ja Susisuon (VE2) tuulivoimaloiden kanssa, keskiäänitaso LAeq.

Taulukko 3-6. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE2 yhteismelumallinnuksen reseptoripistetulokset (Susisuo VE2).

Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Tulokset Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Tulokset Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	39,1 dB	R4	loma-asuinrakennus	37,4 dB
R2	asuinrakennus	37,0 dB	R5	loma-asuinrakennus	36,9 dB
R3	asuinrakennus	37,2 dB	R6	loma-asuinrakennus	36,5 dB

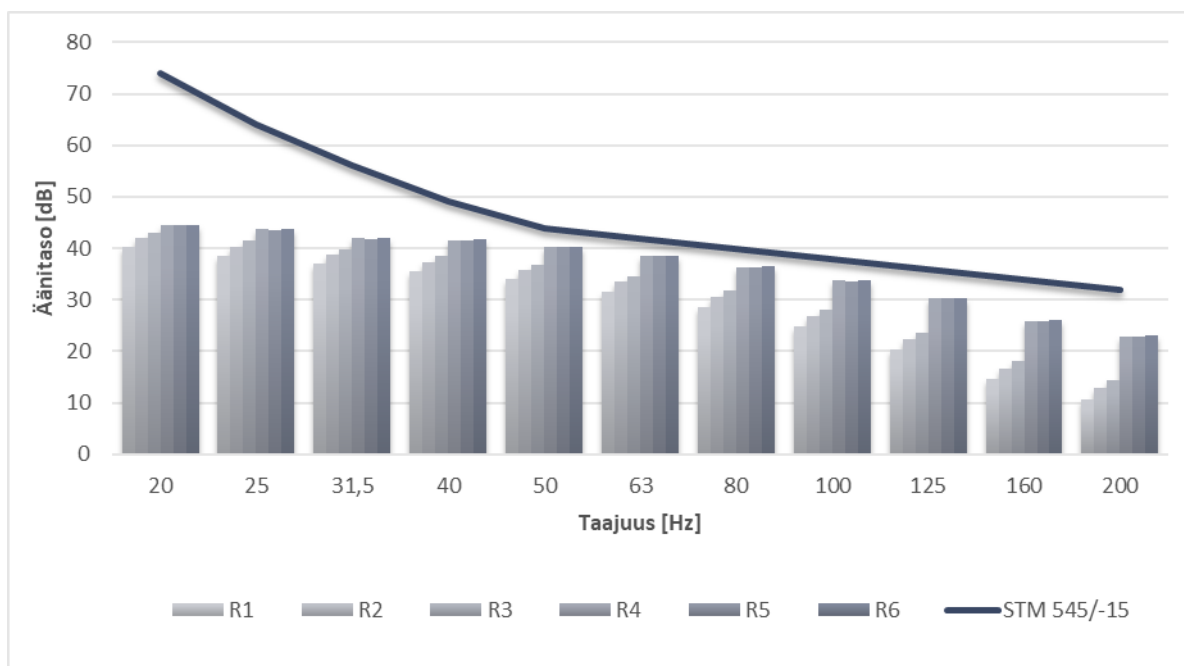
Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja lomarakennuksiin asti, kun ottaa huomioon yhteismeluvaikutukset lähimpien tuulivoimaluostojen kanssa Vaarinkankaan vaihtoehdossa VE2. Reseptoripistelaskennan perusteella (Taulukko 3-5 ja Taulukko 3-6) korkeimmat keskiäänitasot LAeq 38,9 ja 39,1 dB saavutetaan reseptoripisteessä R1, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus.

3.2 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

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

tasot Vaarinkankaan voimaloille hankevaihtoehdoissa VE1 ja VE2 on havainnollistettu seuraavissa kuvissa (Kuva 3-7 ja Kuva 3-8). Yhteisvaikutuksista Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkiselän ja Susisuon hankkeiden kanssa on esitetty omat pienitaajuisen melun tuloskuvaajat (Kuva 3-9, Kuva 3-10, Kuva 3-11 ja Kuva 3-12).

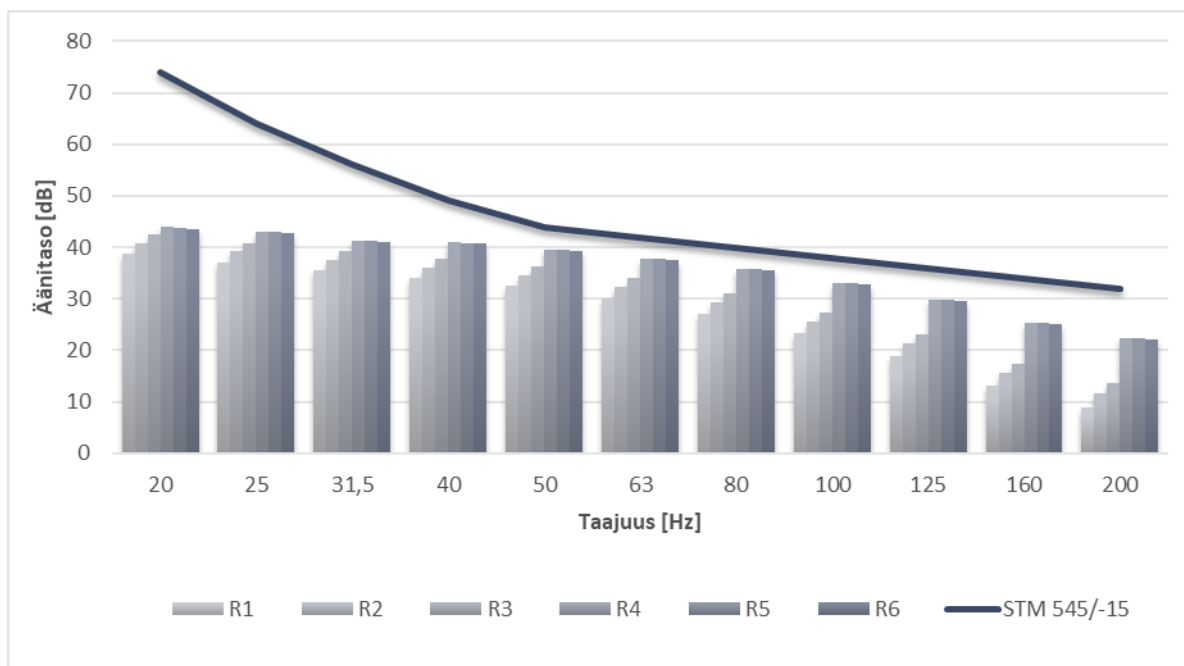
Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetus 545/2015 asettaa sisätilojen äänitasoille toimenpiderajat erityisesti yöajan äänitasoille nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa sekä pienitaajuisen melulle taajausvälillä 20–200 Hz (STM asetus 545/2015).



Kuva 3-7. Hankevaihtoehdon VE1 pienitaajuisen melulaskennan tuloskuvaaja.

Taulukko 3-7. Hankevaihtoehdon VE1 pientaajuisen (20–200 Hz) melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015. Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista. Taulukon lukujen yksikkö on desibeli (dB).

Reseptori (Taajuus, Hz)	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-33,8	-25,4	-19,0	-13,5	-10,1	-10,3	-11,3	-13,1	-15,6	-19,4	-21,4
R2	-32,0	-23,6	-17,2	-11,7	-8,3	-8,5	-9,5	-11,1	-13,6	-17,2	-19,1
R3	-30,9	-22,5	-16,1	-10,6	-7,1	-7,3	-8,3	-9,9	-12,3	-15,9	-17,7
R4	-29,5	-20,3	-14,1	-7,4	-3,8	-3,5	-3,6	-4,3	-5,7	-8,1	-9,1
R5	-29,5	-20,4	-14,1	-7,5	-3,8	-3,6	-3,7	-4,4	-5,7	-8,2	-9,2
R6	-29,4	-20,3	-14,0	-7,3	-3,7	-3,4	-3,6	-4,2	-5,6	-8,0	-9,0

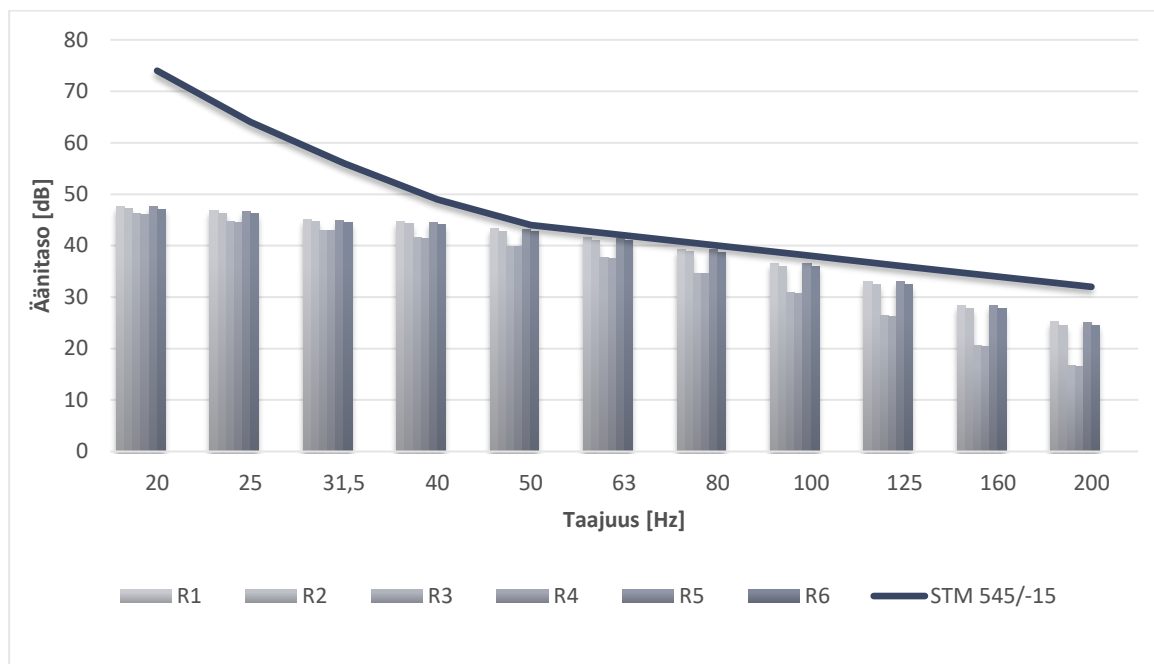


Kuva 3-8. Hankevaihtoehdon VE2 pienitaajuaisen melulaskennan tulokuvaaja.

Taulukko 3-8. Hankevaihtoehdon VE2 pientaajuaisen (20–200 Hz) melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015. Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista. Taulukon lukujen yksikkö on desibeli (dB).

Reseptori (Taajuus, Hz)	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-35,3	-26,9	-20,5	-15,0	-11,6	-11,8	-12,8	-14,6	-17,1	-20,9	-23,0
R2	-33,2	-24,8	-18,4	-12,9	-9,4	-9,7	-10,6	-12,3	-14,7	-18,4	-20,2
R3	-31,6	-23,1	-16,8	-11,2	-7,8	-8,0	-8,9	-10,6	-12,9	-16,5	-18,3
R4	-30,1	-21,0	-14,7	-8,1	-4,4	-4,1	-4,2	-4,9	-6,2	-8,6	-9,6
R5	-30,2	-21,0	-14,8	-8,1	-4,5	-4,2	-4,3	-4,9	-6,3	-8,7	-9,7
R6	-30,4	-21,2	-15,0	-8,3	-4,7	-4,4	-4,5	-5,2	-6,5	-9,0	-9,9

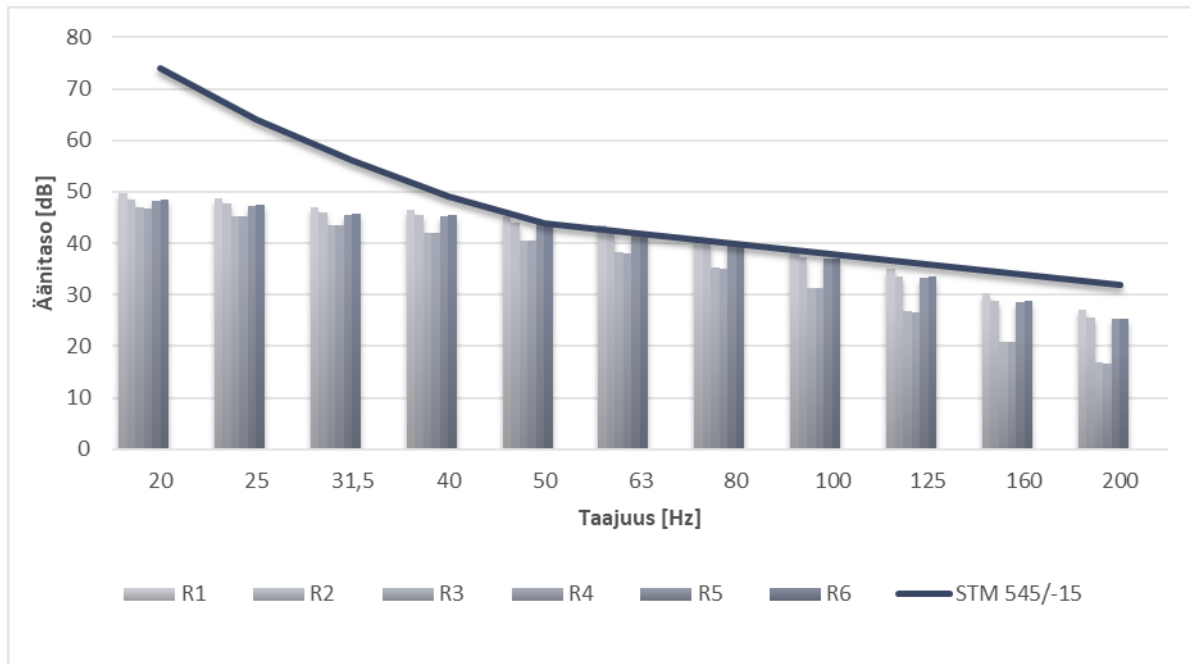
Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat Vaarinkankaan hankevaihtoehdoilla, VE1 ja VE2. Suurimmat arvot ulkona saavutetaan reseptoripisteissä R4, R5 ja R6, jonka pientaajuaisen sisämelun laskennassa käytetään julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoa DL90% rakennuksien käyttötarkoituksen perusteella (loma-asuinrakennus R4, R5 ja R6).



Kuva 3-9. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE1 pienitaajuisen melulaskennan tulokuva yhteisvaikutus Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkielän ja Susisuon (VE1) tuulivoimaloiden kanssa.

Taulukko 3-9. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE1 pientaajuisen (20–200 Hz) melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 yhteisvaikutuksessa Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkielän ja Susisuon (VE1) tuulivoimaloiden kanssa. Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista. Taulukon lukujen yksikkö on desibeli (dB).

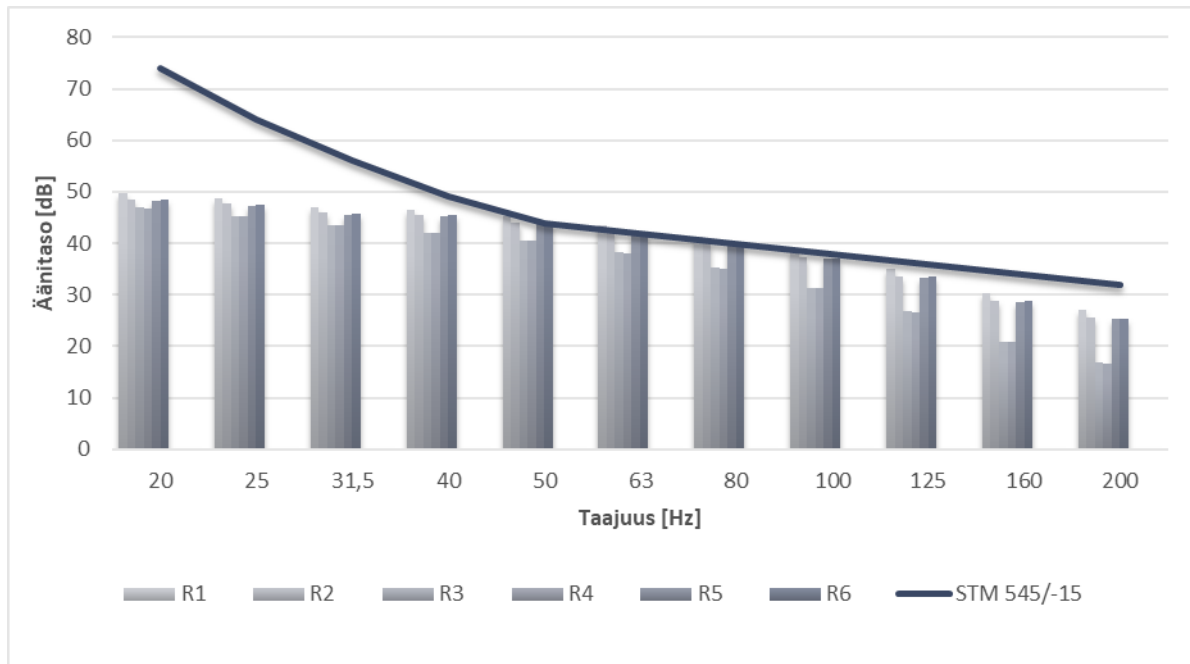
Reseptori (Taajuus, Hz)	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-24,5	-15,4	-9,2	-2,6	1,1	1,3	1,1	0,3	-1,2	-3,8	-5,0
R2	-25,5	-16,4	-10,2	-3,6	0,0	0,2	-0,1	-0,9	-2,5	-5,2	-6,6
R3	-27,2	-18,8	-12,4	-6,9	-3,5	-3,8	-4,8	-6,6	-9,2	-13,1	-15,2
R4	-27,3	-18,9	-12,5	-7,0	-3,6	-3,9	-5,0	-6,8	-9,3	-13,2	-15,3
R5	-25,8	-16,7	-10,4	-3,8	-0,2	0,0	-0,3	-1,1	-2,7	-5,4	-6,7
R6	-25,5	-16,4	-10,2	-3,6	0,0	0,2	0,0	-0,9	-2,5	-5,3	-6,6



Kuva 3-10. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE1 pienitaajuisten melulaskennan tuloskuvaaja yhteisvaikutus Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkielän ja Susisuon (VE2) tuulivoimaloiden kanssa.

Taulukko 3-10. Hankevaihtoehdon 1 pientaajuisten (20–200 Hz) melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 yhteisvaikutuksessa Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkielän ja Susisuon (VE2) tuulivoimaloiden kanssa. Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista. Taulukon lukujen yksikkö on desibeli (dB).

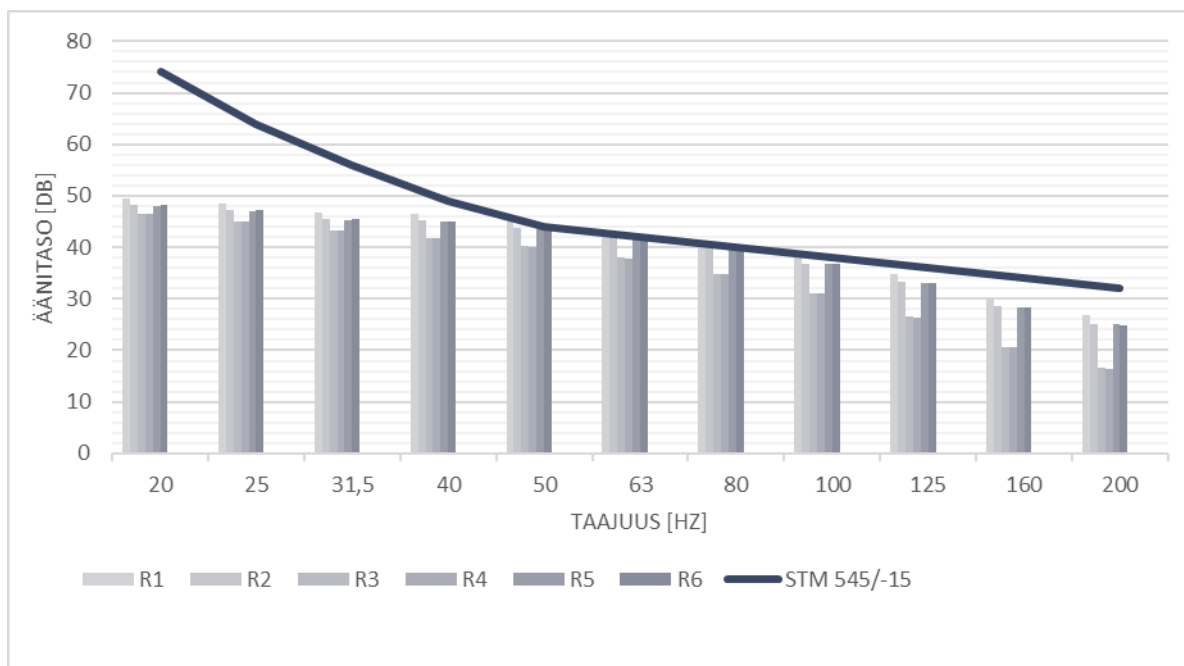
Reseptori (Taajuus, Hz)	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-24,4	-15,3	-9,0	-2,4	1,2	1,5	1,3	0,5	-1,0	-3,6	-4,8
R2	-25,4	-16,3	-10,1	-3,5	0,1	0,3	0,1	-0,8	-2,4	-5,1	-6,5
R3	-27,1	-18,7	-12,4	-6,9	-3,5	-3,8	-4,8	-6,6	-9,2	-13,1	-15,2
R4	-27,2	-18,8	-12,5	-7,0	-3,6	-3,9	-4,9	-6,8	-9,3	-13,2	-15,3
R5	-25,7	-16,7	-10,4	-3,8	-0,2	0,0	-0,2	-1,1	-2,7	-5,4	-6,7
R6	-25,5	-16,4	-10,2	-3,6	0,0	0,2	0,0	-0,9	-2,5	-5,2	-6,6



Kuva 3-11. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE2 pienitaajuisten melulaskennan tulokuva yhteisvaikutus Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkiselän ja Susisuon (VE1) tuulivoimaloiden kanssa.

Taulukko 3-11. Hankevaihtoehdon VE2 pientaajuisten (20–200 Hz) melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 yhteisvaikutuksessa Haarasuonkankaan Ukonkankaan, Turkkiselän ja Susisuon (VE1) tuulivoimaloiden kanssa. Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista. Taulukon lukujen yksikkö on desibeli (dB).

Reseptori (Taajuus, Hz)	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-24,8	-15,6	-9,4	-2,8	0,8	1,1	0,9	0,1	-1,4	-4,1	-5,3
R2	-25,9	-16,8	-10,5	-4,0	-0,4	-0,2	-0,4	-1,3	-2,9	-5,7	-7,0
R3	-27,4	-19,0	-12,7	-7,2	-3,8	-4,1	-5,1	-6,9	-9,5	-13,4	-15,5
R4	-27,5	-19,1	-12,8	-7,3	-3,9	-4,2	-5,2	-7,0	-9,6	-13,5	-15,6
R5	-26,0	-16,9	-10,7	-4,1	-0,5	-0,3	-0,5	-1,4	-2,9	-5,6	-6,9
R6	-25,9	-16,8	-10,6	-4,0	-0,4	-0,2	-0,4	-1,3	-2,9	-5,7	-7,1



Kuva 3-12. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE2 pienitaajuisten melulaskennan tuloksuvaaja yhteisvaikutus Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkielän ja Susisuon (VE2) tuulivoimaloiden kanssa.

Taulukko 3-12. Vaarinkankaan hankevaihtoehdon VE2 pientaajuisten (20–200 Hz) melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 yhteisvaikutuksessa Haarasuonkankaan Ukonkankaan, Turkkielän ja Susisuon (VE2) tuulivoimaloiden kanssa. Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista. Taulukon lukujen yksikkö on desibeli (dB).

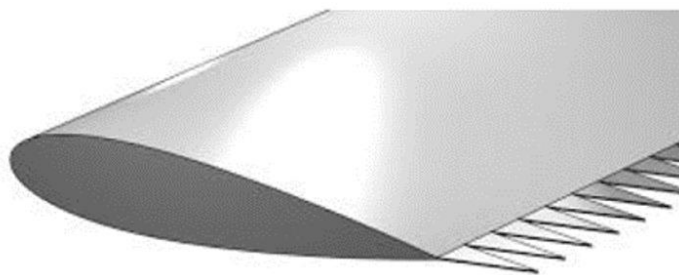
Reseptori (Taajuus, Hz)	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-24,6	-15,5	-9,2	-2,6	1,0	1,2	1,0	0,3	-1,3	-3,9	-5,1
R2	-25,8	-16,7	-10,4	-3,8	-0,2	0,0	-0,3	-1,1	-2,8	-5,5	-6,9
R3	-27,4	-19,0	-12,6	-7,1	-3,7	-4,0	-5,1	-6,9	-9,5	-13,4	-15,4
R4	-27,5	-19,1	-12,8	-7,3	-3,9	-4,2	-5,2	-7,0	-9,6	-13,5	-15,6
R5	-26,0	-16,9	-10,7	-4,1	-0,5	-0,3	-0,5	-1,3	-2,9	-5,6	-6,9
R6	-25,9	-16,8	-10,5	-3,9	-0,3	-0,2	-0,4	-1,3	-2,9	-5,7	-7,1

Yhteismeluvaikutus Haarasuonkankaan, Ukonkankaan, Turkkielän ja Susisuon (VE1 ja VE2) hankkeiden kanssa ylittävät sisämelun toimenpiderajat Vaarinkankaan hankevaihtoehdossa VE1 reseptoripisteissä R1, R2 ja R6. Yhteismeluvaikutukset oheisten tuulivoimapaistojen kanssa ylittävät toimenpiderajat myös Vaarinkankaan hankevaihtoehdossa VE2 reseptoripisteessä R1.

Suurimmat arvot ulkona saavutetaan reseptoripisteissä R1, R2, R5 ja R6, joiden pientaajuisten sisämelun laskennassa käytetään julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoa DL84% ja DL90% rakennuksien käyttötarkoituksen perusteella (asuinrakennukset R1 ja R2, loma-asuinrakennukset R5 ja R6).

3.3 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä lapatyypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden lapamallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaudoituksen (Kuva 3-13), jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 2–4 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017). Kyseinen melupäästön vähentämismenetelmä on otettu huomioon tämän tuulivoimahankkeen melumallintamisessa.



Kuva 3-13. Havainnollistus tuulivoimalan lavan jättöreunan sahalaudoituksesta (Martinez et al., 2019).

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säästöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, -suunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi myös voimalan äänipäästöä.

4 LÄHDELUETTELO

Suluissa oleva päivämäärä nettilähteiden perässä kertoo, milloin lähteeseen on viitattu.

Marttunen, M., Grönlund, S., Hokkanen, J., Jantunen, J., Karjalainen, T. P., Luodemäki, S., Mustajoki, J., Neste, J., Saarikoski, H., Vallius, E., Vartia, M., Vehmas, A. & Vienonen, S. 2015. Hyviä käytäntöjä ympäristövaikutusten arvioinnissa. Imperiahankkeen yhteenveto. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 39/2015. (19.9.2024)

Pölönen, I. & Perho, J. 2018. YVA-oikeus. Uudistunut ympäristövaikutusten arviointimenettely. Edita Publishing Oy, Keuruu. (19.9.2024)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

STMa 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.

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

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

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

Ympäristöministeriö 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Ohje I 1995.

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

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

Ympäristöministeriö 2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.

Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit melumallinnuksen ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa
Tuulivoimaloiden koordinaatit, hankevaihtoehto VE1

No	Nimi	X	Y	Z (m)	Napakorkeus (m)
1	TV1	512663,4	7173967,2	152,1	200
2	TV2	513463,2	7173840,6	165,0	200
3	TV3	512781,6	7172822,0	154,4	200
4	TV4	513707,6	7171068,7	170,6	200
5	TV5	513094,3	7171917,7	178,0	200
6	TV6	513662,5	7172883,5	163,8	200
7	TV7	514612,6	7173513,9	171,8	200
8	TV8	513896,3	7171984,9	161,3	200
9	TV9	515465,3	7172778,5	177,6	200
10	TV10	514647,2	7172703,0	169,3	200
11	TV11	515977,1	7172310,6	167,2	200
12	TV12	514710,7	7171680,1	162,3	200

Tuulivoimaloiden koordinaatit, hankevaihtoehto VE2

No	Nimi	X	Y	Z (m)	Napakorkeus (m)
1	TV1	512898,5	7174008,8	159,9	200
2	TV2	513696,1	7173774,3	166,6	200
3	TV3	514627,6	7173436,9	172,4	200
4	TV4	514707,8	7171684,2	162,3	200
5	TV5	513205,9	7172506,7	160,4	200
6	TV6	515465,3	7172778,5	177,6	200
7	TV7	514647,2	7172703,0	169,3	200
8	TV8	515977,1	7172310,6	167,2	200
9	TV9	513712,4	7171067,0	170,1	200

Haarasuonkankaan tuulivoimaloiden koordinaatit

No	Nimi	X	Y	Z (m)	H (m)
1	TV1	500072,8	7164442,8	149,4	180
2	TV2	499496,9	7164837,9	156,2	180
3	TV3	500913,0	7164850,0	150,9	180
4	TV4	498720,2	7164993,2	149,5	180
5	TV5	499777,3	7166541,0	139,5	180
6	TV6	501236,5	7165641,8	142,2	180
7	TV7	500446,4	7166550,0	135,8	180
8	TV8	509594,5	7167692,5	143,1	180
9	TV9	510488,91	7168045,95	147,8	180
10	TV10	509178,99	7168551,8	148,3	180
11	TV11	510201,47	7168824,67	150,3	180
12	TV12	511153,76	7168784,46	149,9	180
13	TV13	508851,8	7169447,49	149,4	180
14	TV14	511336,26	7169658,26	156,6	180
15	TV15	509918,03	7169603,6	150,4	180
16	TV16	509073	7170275	147,9	180
17	TV17	510668,2	7170368,12	152,3	180
18	TV18	511731	7170576	164,5	180
19	TV19	509979,73	7170978,61	145,9	180
20	TV20	511093,3	7171463,46	146,6	180
21	TV21	509345,57	7171412,04	142,4	180
22	TV22	512113,07	7171544,92	158,9	180
23	TV23	508756	7172027	142,5	180
24	TV24	510425,64	7172147,64	146,6	180
25	TV25	509848,52	7172666,45	151,8	180
26	TV26	511760,71	7172288,97	146,4	180
27	TV27	508354,01	7172700,04	143,8	180
28	TV28	511693,84	7173149,91	154,4	180
29	TV29	509563,99	7173532,19	151,8	180
30	TV30	508948,39	7174438,86	157,3	180
31	TV31	508269,19	7174830,2	157,2	180
32	TV32	500060,47	7165826,39	145,8	180
33	TV33	498888,5	7165912,58	141	180
34	TV34	508557,38	7173554,58	150,6	180
35	TV35	510734,55	7173135,44	147,5	180

Ukonkankaan tuulivoimaloiden koordinaatit

No	Nimi	X	Y	Z (m)	H (m)
1	TV1	519403,51	7182050,57	209,6	220
2	TV2	517707,47	7177408,65	170,3	220
3	TV3	519697,68	7180690,06	187,8	220
4	TV4	518112,43	7178325,82	171,7	220
5	TV5	519348,64	7178883,33	170,4	220
6	TV6	519346,64	7176456,44	163,6	220
7	TV7	520161,81	7178980,59	179,6	220
8	TV8	518647,59	7178009,42	168,5	220
9	TV9	520293,43	7178373,87	171,7	220
10	TV10	520257,01	7177617,31	168,3	220
11	TV11	518253,43	7177059,87	167,2	220
12	TV12	518425,08	7176440,52	163,3	220
13	TV13	519334,87	7177137,89	164,9	220
14	TV14	519250,93	7177783,27	167,1	220
15	TV15	520214,01	7176867,84	165,7	220

Turkkiselkä tuulivoimaloiden koordinaatit

No	Nimi	X	Y	Z (m)	H (m)
1	TV1	514775,0	7160262,0	139,9	190
2	TV2	514263,0	7160536,0	136,0	190
3	TV3	513760,0	7160896,0	133,6	190
4	TV4	515280,0	7160145,0	143,6	190
5	TV5	516065,0	7160095,0	149,1	190
6	TV6	516865,0	7159975,0	151,4	190
7	TV7	515825,0	7160698,0	146,5	190
8	TV8	517211,0	7160663,0	146,5	190
9	TV9	517760,0	7160250,0	154,0	190
10	TV10	516564,0	7161059,0	145,2	190
11	TV11	515452,0	7161459,0	141,0	190
12	TV12	514251,0	7161482,0	139,2	190
13	TV13	514769,0	7161965,0	140,1	190
14	TV14	516188,0	7161825,0	141,7	190
15	TV15	515988,0	7162455,0	143,8	190
16	TV16	515001,0	7165088,0	143,4	190
17	TV17	514403,0	7165188,0	144,2	190
18	TV18	513180,0	7165515,0	144,0	190
19	TV19	512525,0	7165835,0	141,0	190

20	TV20	512970,0	7166250,0	145,2	190
21	TV21	513972,0	7165671,0	143,8	190
22	TV22	511955,0	7162030,0	133,7	190
23	TV23	512368,0	7161612,0	136,5	190
24	TV24	512816,0	7161369,0	135,1	190
25	TV25	513481,0	7161392,0	135,3	190
26	TV26	511991,0	7162684,0	142,1	190
27	TV27	512468,0	7162388,0	143,7	190
28	TV28	512983,0	7162087,0	141,9	190
29	TV29	513640,0	7162538,0	142,3	190
30	TV30	514252,0	7162497,0	140,1	190
31	TV31	513108,0	7162852,0	145,1	190
32	TV32	512396,0	7163292,0	144,2	190
33	TV33	512265,0	7164229,0	143,9	190
34	TV34	511634,0	7164569,0	140,1	190
35	TV35	513019,0	7164012,0	142,6	190
36	TV36	514110,0	7163911,0	145,4	190
37	TV37	513401,0	7164629,0	142,6	190
38	TV38	513961,0	7164507,0	141,7	190
39	TV39	511430,0	7165541,0	140,1	190

Susisuo VE1 tuulivoimaloiden koordinaatit

No	Nimi	X	Y	Z (m)	H (m)
1	TV1	507990,4	7175747,1	162,7	220,0
2	TV2	508735,2	7176443,6	162,7	220,0
3	TV3	507830,8	7177795,7	154,8	220,0
4	TV4	508862,0	7177602,5	157,3	220,0
5	TV5	508145,0	7177301,1	161,3	220,0
6	TV6	507167,6	7177396,3	148,6	220,0
7	TV7	507968,5	7178737,4	150,8	220,0
8	TV8	507513,5	7179065,3	149,0	220,0
9	TV9	506974,2	7178995,5	147,8	220,0
10	TV10	505895,1	7179571,5	148,6	220,0
11	TV11	506668,3	7178123,7	146,9	220,0
12	TV12	506359,9	7179082,1	146,0	220,0
13	TV13	505398,8	7178736,2	145,7	220,0
14	TV14	505493,5	7179821,1	151,8	220,0
15	TV15	509260,5	7177325,7	162,2	220,0

Susisuo VE2 tuulivoimaloiden koordinaatit

No	Nimi	X	Y	Z (m)	H (m)
1	TV1	507990,4	7175747,1	162,7	220,0
2	TV2	508735,2	7176443,6	162,7	220,0
3	TV3	507749,0	7177482,1	156,2	220,0
4	TV4	508862,0	7177602,5	157,3	220,0
5	TV5	508279,8	7177264,5	162,0	220,0
6	TV6	507167,6	7177396,3	148,6	220,0
7	TV7	508106,3	7178573,9	149,6	220,0
8	TV8	507513,5	7179065,3	149,0	220,0
9	TV9	506974,2	7178995,5	147,8	220,0
10	TV10	505895,1	7179571,5	148,6	220,0
11	TV11	506668,3	7178123,7	146,9	220,0
12	TV12	506359,9	7179082,1	146,0	220,0
13	TV13	505398,8	7178736,2	145,7	220,0
14	TV14	505493,5	7179821,1	151,8	220,0
15	TV15	509260,5	7177325,7	162,2	220,0
16	TV16	507510,0	7178295,5	148,5	220,0
17	TV17	508362,0	7178083,8	150,7	220,0

Reseptoripisteiden koordinaatit

Nimi	X	Y	Z (m)	Korkeus maanpinnasta (m)
R1	510798,2	7175665,1	154,7	4
R2	512498,1	7175981,9	157,0	4
R3	516410,6	7174623,4	155,8	4
R4	516755,3	7174346,6	154,8	4
R5	516975,2	7174114,3	154,9	4
R6	515687,8	7169905,8	151,9	4

Liite 2. Pienitaajuisten melun numeeriset laskentatulokset

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE1, tulokset ulkona (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	47,8	46,9	46,2	45,8	45,4	44,7	43,5	41,7	39,2	35,6	33,4
R2	49,6	48,7	48,0	47,6	47,2	46,5	45,3	43,7	41,2	37,8	35,7
R3	50,7	49,8	49,1	48,7	48,4	47,7	46,5	44,9	42,5	39,1	37,1
R4	50,5	49,7	48,9	48,6	48,2	47,5	46,4	44,7	42,3	38,9	36,9
R5	50,5	49,6	48,9	48,5	48,2	47,4	46,3	44,6	42,3	38,8	36,8
R6	50,6	49,7	49,0	48,7	48,3	47,6	46,4	44,8	42,4	39,0	37,0

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE1, tulokset sisällä (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	40,2	38,6	37,0	35,5	33,9	31,7	28,7	24,9	20,4	14,6	10,6
R2	42,0	40,4	38,8	37,3	35,7	33,5	30,5	26,9	22,4	16,8	12,9
R3	43,1	41,5	39,9	38,4	36,9	34,7	31,7	28,1	23,7	18,1	14,3
R4	44,5	43,7	41,9	41,6	40,2	38,5	36,4	33,7	30,3	25,9	22,9
R5	44,5	43,6	41,9	41,5	40,2	38,4	36,3	33,6	30,3	25,8	22,8
R6	44,6	43,7	42,0	41,7	40,3	38,6	36,4	33,8	30,4	26,0	23,0

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE2, tulokset ulkona (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	46,3	45,4	44,7	44,3	43,9	43,2	42,0	40,2	37,7	34,1	31,8
R2	48,4	47,5	46,8	46,4	46,1	45,3	44,2	42,5	40,1	36,6	34,6
R3	50,0	49,2	48,4	48,1	47,7	47,0	45,9	44,2	41,9	38,5	36,5
R4	49,9	49,0	48,3	47,9	47,6	46,9	45,8	44,1	41,8	38,4	36,4
R5	49,8	49,0	48,2	47,9	47,5	46,8	45,7	44,1	41,7	38,3	36,3
R6	49,6	48,8	48,0	47,7	47,3	46,6	45,5	43,8	41,5	38,0	36,1

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE2, tulokset sisällä (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	38,7	37,1	35,5	34,0	32,4	30,2	27,2	23,4	18,9	13,1	9,0
R2	40,8	39,2	37,6	36,1	34,6	32,3	29,4	25,7	21,3	15,6	11,8
R3	42,4	40,9	39,2	37,8	36,2	34,0	31,1	27,4	23,1	17,5	13,7
R4	43,9	43,0	41,3	40,9	39,6	37,9	35,8	33,1	29,8	25,4	22,4
R5	43,8	43,0	41,2	40,9	39,5	37,8	35,7	33,1	29,7	25,3	22,3
R6	43,6	42,8	41,0	40,7	39,3	37,6	35,5	32,8	29,5	25,0	22,1

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE1 yhteismelu (Susisuo VE1), tulokset ulkona (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	55,5	54,6	53,8	53,4	53,1	52,3	51,1	49,3	46,8	43,2	41,0
R2	54,5	53,6	52,8	52,4	52,0	51,2	49,9	48,1	45,5	41,8	39,4
R3	54,4	53,5	52,8	52,4	52,0	51,2	50,0	48,2	45,6	41,9	39,6
R4	54,3	53,4	52,7	52,3	51,9	51,1	49,8	48,0	45,5	41,8	39,5
R5	54,2	53,3	52,6	52,2	51,8	51,0	49,7	47,9	45,3	41,6	39,3
R6	54,5	53,6	52,8	52,4	52,0	51,2	50,0	48,1	45,5	41,7	39,4

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE1 yhteismelu (Susisuo VE2), tulokset ulkona (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	55,6	54,7	54,0	53,6	53,2	52,5	51,3	49,5	47,0	43,4	41,2
R2	54,6	53,7	52,9	52,5	52,1	51,3	50,1	48,2	45,6	41,9	39,5
R3	54,5	53,6	52,8	52,4	52,0	51,2	50,0	48,2	45,6	41,9	39,6
R4	54,4	53,5	52,7	52,3	51,9	51,1	49,9	48,0	45,5	41,8	39,5
R5	54,3	53,3	52,6	52,2	51,8	51,0	49,8	47,9	45,3	41,6	39,3
R6	54,5	53,6	52,8	52,4	52,0	51,2	50,0	48,1	45,5	41,8	39,4

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE1 yhteismelu (Susisuo VE1), tulokset sisällä (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,5	48,6	46,8	46,4	45,1	43,3	41,1	38,3	34,8	30,2	27,0
R2	48,5	47,6	45,8	45,4	44,0	42,2	39,9	37,1	33,5	28,8	25,4
R3	46,8	45,2	43,6	42,1	40,5	38,2	35,2	31,4	26,8	20,9	16,8
R4	46,7	45,1	43,5	42,0	40,4	38,1	35,0	31,2	26,7	20,8	16,7
R5	48,2	47,3	45,6	45,2	43,8	42,0	39,7	36,9	33,3	28,6	25,3
R6	48,5	47,6	45,8	45,4	44,0	42,2	40,0	37,1	33,5	28,7	25,4

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE1 yhteismelu (Susisuo VE2), tulokset sisällä (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,6	48,7	47,0	46,6	45,2	43,5	41,3	38,5	35,0	30,4	27,2
R2	48,6	47,7	45,9	45,5	44,1	42,3	40,1	37,2	33,6	28,9	25,5
R3	46,9	45,3	43,6	42,1	40,5	38,2	35,2	31,4	26,8	20,9	16,8
R4	46,8	45,2	43,5	42,0	40,4	38,1	35,1	31,2	26,7	20,8	16,7
R5	48,3	47,3	45,6	45,2	43,8	42,0	39,8	36,9	33,3	28,6	25,3
R6	48,5	47,6	45,8	45,4	44,0	42,2	40,0	37,1	33,5	28,8	25,4

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE2 yhteismelu (Susisuo VE1), tulokset ulkona (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	55,2	54,4	53,6	53,2	52,8	52,1	50,9	49,1	46,6	42,9	40,7
R2	54,1	53,2	52,5	52,0	51,6	50,8	49,6	47,7	45,1	41,3	39,0
R3	54,2	53,3	52,5	52,1	51,7	50,9	49,7	47,9	45,3	41,6	39,3
R4	54,1	53,2	52,4	52,0	51,6	50,8	49,6	47,8	45,2	41,5	39,2
R5	54,0	53,1	52,3	51,9	51,5	50,7	49,5	47,6	45,1	41,4	39,1
R6	54,1	53,2	52,4	52,0	51,6	50,8	49,6	47,7	45,1	41,3	38,9

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE2 yhteismelu (Susisuo VE2), tulokset ulkona (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	55,4	54,5	53,8	53,4	53,0	52,2	51,0	49,3	46,7	43,1	40,9
R2	54,2	53,3	52,6	52,2	51,8	51,0	49,7	47,9	45,2	41,5	39,1
R3	54,2	53,3	52,6	52,2	51,8	51,0	49,7	47,9	45,3	41,6	39,4
R4	54,1	53,2	52,4	52,0	51,6	50,8	49,6	47,8	45,2	41,5	39,2
R5	54,0	53,1	52,3	51,9	51,5	50,7	49,5	47,7	45,1	41,4	39,1
R6	54,1	53,2	52,5	52,1	51,7	50,8	49,6	47,7	45,1	41,3	38,9

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE2 yhteismelu (Susisuo VE1), tulokset sisällä (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,2	48,4	46,6	46,2	44,8	43,1	40,9	38,1	34,6	29,9	26,7
R2	48,1	47,2	45,5	45,0	43,6	41,8	39,6	36,7	33,1	28,3	25,0
R3	46,6	45,0	43,3	41,8	40,2	37,9	34,9	31,1	26,5	20,6	16,5
R4	46,5	44,9	43,2	41,7	40,1	37,8	34,8	31,0	26,4	20,5	16,4
R5	48,0	47,1	45,3	44,9	43,5	41,7	39,5	36,6	33,1	28,4	25,1
R6	48,1	47,2	45,4	45,0	43,6	41,8	39,6	36,7	33,1	28,3	24,9

Vaarinkangas, hankevaihtoehto VE2 yhteismelu (Susisuo VE2), tulokset sisällä (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,4	48,5	46,8	46,4	45,0	43,2	41,0	38,3	34,7	30,1	26,9
R2	48,2	47,3	45,6	45,2	43,8	42,0	39,7	36,9	33,2	28,5	25,1
R3	46,6	45,0	43,4	41,9	40,3	38,0	34,9	31,1	26,5	20,6	16,6
R4	46,5	44,9	43,2	41,7	40,1	37,8	34,8	31,0	26,4	20,5	16,4
R5	48,0	47,1	45,3	44,9	43,5	41,7	39,5	36,7	33,1	28,4	25,1
R6	48,1	47,2	45,5	45,1	43,7	41,8	39,6	36,7	33,1	28,3	24,9