



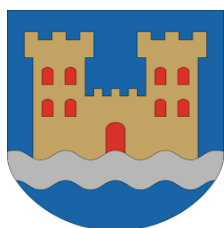
KAJAANIN KAUPUNKI

KIVIKANKAAN TUULIVOIMAPUISTON OSAYLEIS- KAAVA

Melumallinnus kaavaselostusta varten, tekninen raportti

09.05.2025

afterklang: | 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 101011971-004.

Kuvien pohjakartat ja -ilmakuvat: Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineisto, avoin data 2025, ellei toisin mainita.

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Kajaanin kaupunki:

Kaavasuunnittelija

Minna Väyrynen

minna.vayrynen(at)kajaani.fi

p. +358 40 131 9437

Ympäristönsuojelutarkastaja

Tarja Laatikainen

tarja.laatikainen(at)kajaani.fi

p. +358 44 421 4397

Hankkeesta vastaava:

ABO Energy Suomi Oy

Projektijohtaja

Minna-Maria Ketonen

minna-maria.ketonen(at)aboenergy.fi

p. +358 50 434 8365

Metsähallitus

Ympäristöasiantuntija

Olli-Matti Tervaniemi

olli-matti.tervaniemi(at)metsa.fi

p. +358 40 195 6934

Kaavaa laativa konsultti:

AFRY Finland Oy

Ismo Vendelin, YKS-611

ismo.vendelin(at)afry.com

p. +358 50 326 3557

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	6
TERMIT JA LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Ympäristömelu	9
1.2 Tuulivoimamelu	9
1.3 Tuulivoimamelun ohjearvot YM 1107/2015	11
1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	11
2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT	12
2.1 Mallinnusohjeistus	12
2.2 Digitaalikartta-aineisto	13
2.3 Tuulivoimalamalli.....	13
2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	13
2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit.....	15
2.6 Pienitaajuisen melun laskenta	17
3 MALLINNUSTULOKSET	18
3.1 Ulkomelumallinnus.....	18
3.1.1 Kivikangas 1	18
3.1.2 Yhteismeluvaikutus (Kivikangas 2, Kukkokangas, Sivakkalehto, Katajamäki)	20
3.2 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	22
3.3 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	25
4 LÄHDELUETTELO.....	27

LIITTEET JA KUVAT

Liite 1 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit melumallinnuksen ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa

Liite 2 Pienitaajuisen melun numeeriset laskentatulokset

Liite 3 Melumallinnuskartta – Kivikangas 1

Liite 4 Melumallinnuskartta – Kivikangas 1 yhteismeluvaikutus

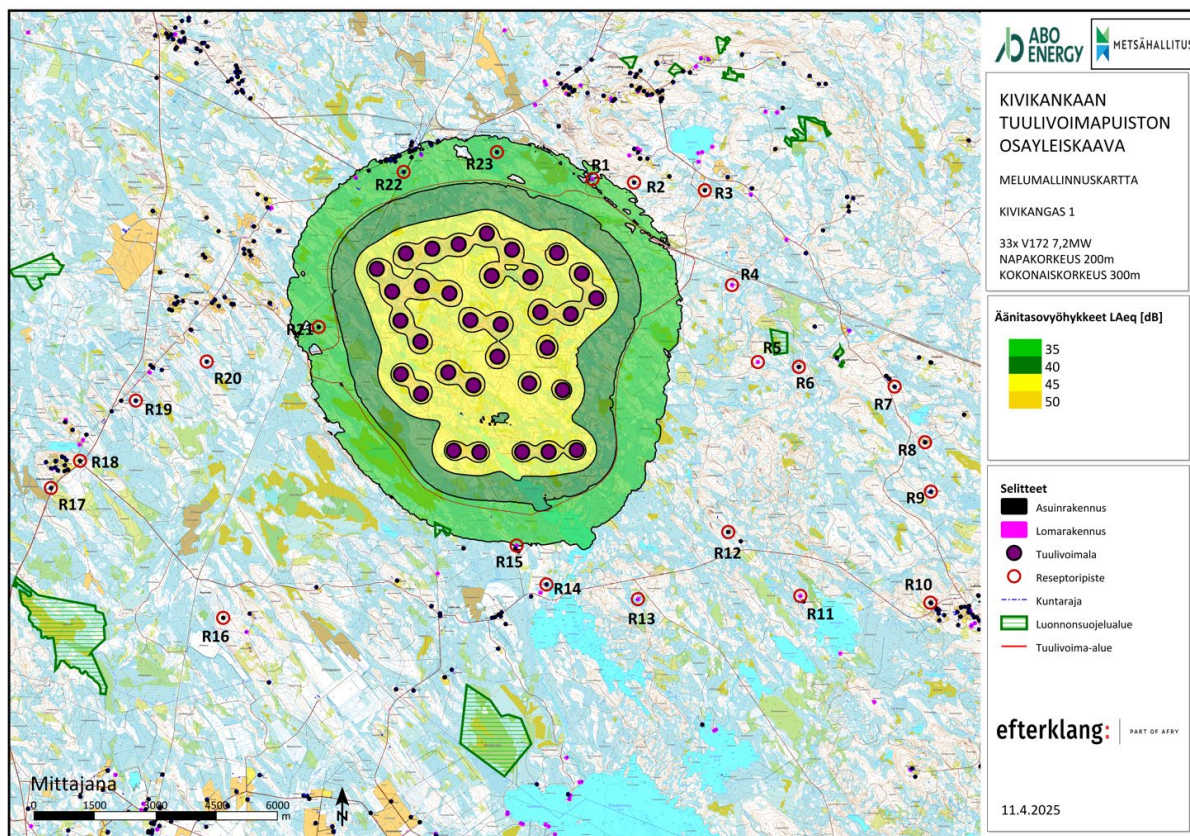
Liite 5 Melumallinnuksen perustiedot

TIIVISTELMÄ

ABO Energy Suomi Oy suunnittelee yhteistyössä Metsähallituksen kanssa tuulivoimapuiston rakentamista Kajaanin kaupunkiin Murtomäen ja Lehtovaaran eteläpuolelle lähelle Sonkajärven kunnanrajaa. Tuulivoimapuistoalueelle suunnitellaan enintään 33 tuulivoimalan rakentamista. Kunkin tuulivoimalan yksikköteho on enintään 10 MW ja tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus enimmillään 300 metriä. Kaava-alueen pinta-ala on noin 52,6 km².

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Kivikankaan tuulivoimapuiston osayleiskaavoitusta varten. Melumallinnuksissa otetaan huomioon myös Kivikankaan melun yhteisvaikutukset Kivikangas 2:n, Sivakkalehdon, Kukkokankaan ja Katajamäen tuulivoimapuistojen kanssa. Vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja, ja mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitaso LAeq yöajan ohjearvo 40 dB ylitystä ei esiinny reseptoripisteissä.



Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella lähimpien asuin- ja lomarakennusten sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Pientaajuisen melun yhteisvaikutus Kivikangas 2:n, Sivakkalehdon, Kukkokankaan ja Katajamäen hankkeiden kanssa eivät ylitä sisätilan melun toimenpiderajoja. Pientaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty suomalaisten

pientalojen mukaisia ilmaäänieristävyyden 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 mittaus tulosten analyyseissä.

TERMIT JA LYHENTEET

Tässä raportissa on käytetty seuraavia termejä ja lyhenteitä.

Termi	Selite
dB, desibeli	Äänenvoimakkuuden yksikkö. Kymmenen desibelin nousu melutasossa tarkoittaa äänen energian kymmenkertaistumista. Melumittauksissa käytetään eri taajuuksia eri tavoin painottavia suodatuksia. Yleisin on niin sanottu A-suodatin, jonka avulla pyritään kuvaamaan tarkemmin äänen vaikutusta ihmiseen.
A-painotus	Äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen, yleensä tehollisarvona, esim. LWA.
Äänitehotaso LWA	Äänienergian tehollinen arvo (yksikkönä dB tai Watti). Ääniteho toimii mallinnusten yhtenä syöttöarvona. Yleisesti käytetään äänitehon 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 äänitehotasojen keskiarvosta ja varmuusarvosta.
Varmuusarvo	Tuulivoimalan laitteiston valmistajan ilmoittamaa saman tuulivoimalatyyppin melupäästön hajonnasta johtuvan epävarmuuden huomioivaa varmuusarvoa
Oktaavikaista	Oktaavikaista käsittää kahden asetuspuheen välisen taajuusalueen. Esimerkiksi oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 88–176 Hz.
1/3 oktaavikaista	1/3-oktaavikaista käsittää kahden asetuspuheen välisen taajuusalueen. Esimerkiksi 1/3-oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 111–140 Hz. 1/3-oktaavikaista-analyysi antaa yksityiskohtaisempaa tietoa kuin oktaavikaista-analyysi.
Kapeakaistaisuus	Melu on kapeakaistaista, kun melun ääni sisältää kuulohavainnolle selvästi erotettavia haitallisia lisä-ääneksiä tai tonaalisia komponentteja.
Sykintä	Melu on merkityksellisesti sykkivää eli amplitudimoduloitunutta, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänenvoimakkuuden ajallisia jaksollisia vaihteluja melulle altistuvalla alueella.
Impulssimaisuus	Melu on impulssimaista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä lyhytkestoisia äänihuippuja (transientteja) melulle altistuvalla alueella.
Reseptoripiste	Melun vastaanottopiste mallinnuksessa, josta saadaan äänilähteiden meluvaikutus (yksiköllä dB) tietyllä alueella tai rakennukselle.
LWA,d	Melumallinnuksessa käytettävä teknisen spesifikaation IEC TS 61400-14 mukainen turbiinin melupäästön tunnusarvo.

1 JOHDANTO

ABO Energy Suomi Oy suunnittelee yhteistyössä Metsähallituksen kanssa tuulivoimapuiston rakentamista Kajaanin kaupunkiin Murtomäen ja Lehtovaaran eteläpuolelle lähelle Sonkajärven kunnanrajaa. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Kivikankaan tuulivoimapuiston osayleiskaavoitusta varten.

Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla (Kuva 2-1) ja koordinaatit ovat taulukoituna liitteessä 1. Yhteismelukartassa (Kuva 3-2) on esitetty myös Kivikankaan länsi- ja luoteispuolelle suunnitellun Katajanmäen ja Kukkokankaan sekä kaakkoispuolelle suunnitellun Kivikangas 2:n ja Sivakkalehdon 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 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 μPa (mikropascal) 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 herkkyyys 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.

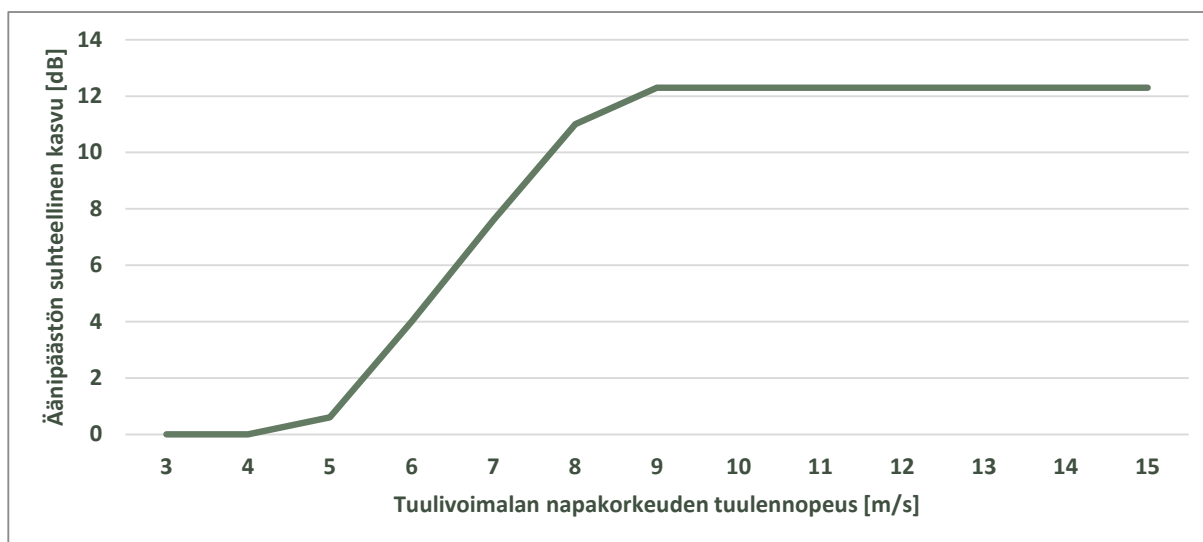
1.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten 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 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 tuulennopeuteen 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 tasoiääntä 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 ilmakehän turbulenssin vaihtelut eri vuorokauden aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla (Bolin, K, 2012). Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12,5 m/s modernin voimalan napakorkeudella 200 m (G.P. van den Berg, 2006).

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaudoituksen, joka vähentää melupäästöä

nimellisteholla 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 mittaustulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista asetuksen 3 §:ssä säädettyihin arvoihin.

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason ohjearvot määritetään A-taajuuspainotettuna keskiäänitasona LAeq erikseen yhden vuorokauden päiväajan ja yöajan osalta. Kyse ei ole hetkellisistä enimmäisäänitasoista. Kunkin vuorokauden päiväajan 15 tunnin (klo 7–22) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun päiväajan ohjearvon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun yöajan ohjearvon mukaisena. (Ympäristöministeriö, 2016). Melumallinnuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita, vaan melun leviämislaskennan tulosvertailu tehdään vain yöajan alempaan 40 dB:n ohjearvoon nähden.

1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetus 545/2015 asettaa sisätilojen äänitasoille toimenpiderajat erityisesti yöajan äänitasoille nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa sekä 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 äänen- vahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-

Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
muut kokoontumistilat	40 dB	-
asiakkaiden vastaanottotilat ja toimisto-huoneet	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. Pienitaajuuden sisämelun tunnin keskiäänitason Leq, 1h toimenpiderajat taajuuksvälillä 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 LWA,d. 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 ympäristöolosuhtearvoja.

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

2.2 Digitaalikartta-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle (Kuva 2-2), 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).

2.3 Tuulivoimalamalli

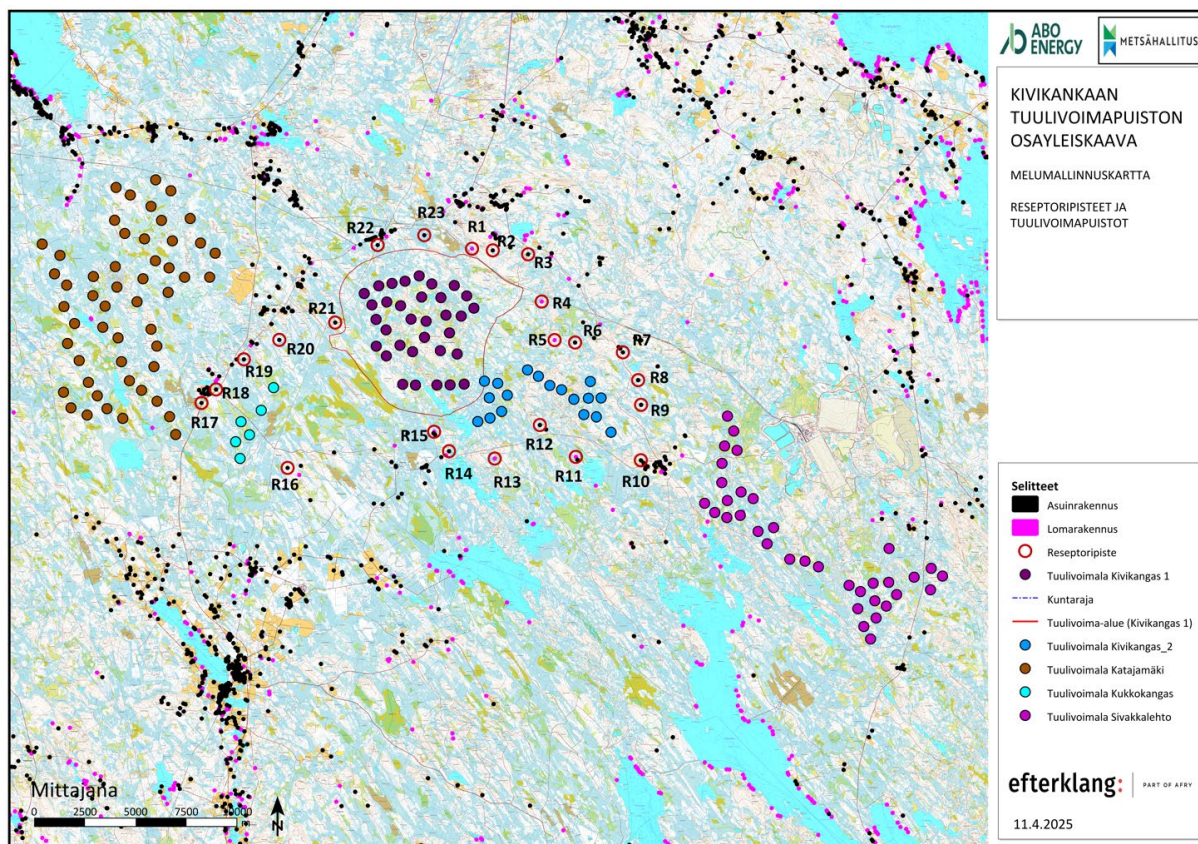
Mallinnus suoritettiin yhdelle voimalamallille, jolle käytettiin Vestas V172 7,2 MW:n kokoluokan ja serraatiosiiiven mukaista äänipäästötasoa 107,8 dB sekä + 2 dB:n varmuusarvoa K (ks. YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Pistemäisen äänilähteen kokonaisäänipäästön tunnusarvo LWA,d melumallissa on siten 109,8 dB.

Kivikangas 1, Kivikangas 2, Kukkokankaan, Sivakkalehdon ja Katajamäen mallinnetun voimalan napakorkeudeksi on valittu 200 m ja kokonaiskorkeuden ylärajaksi 300 m. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakautamaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3 Hz–10 000 Hz lisättynä yllä mainituilla korjauksilla sekä varmuusarvolla.

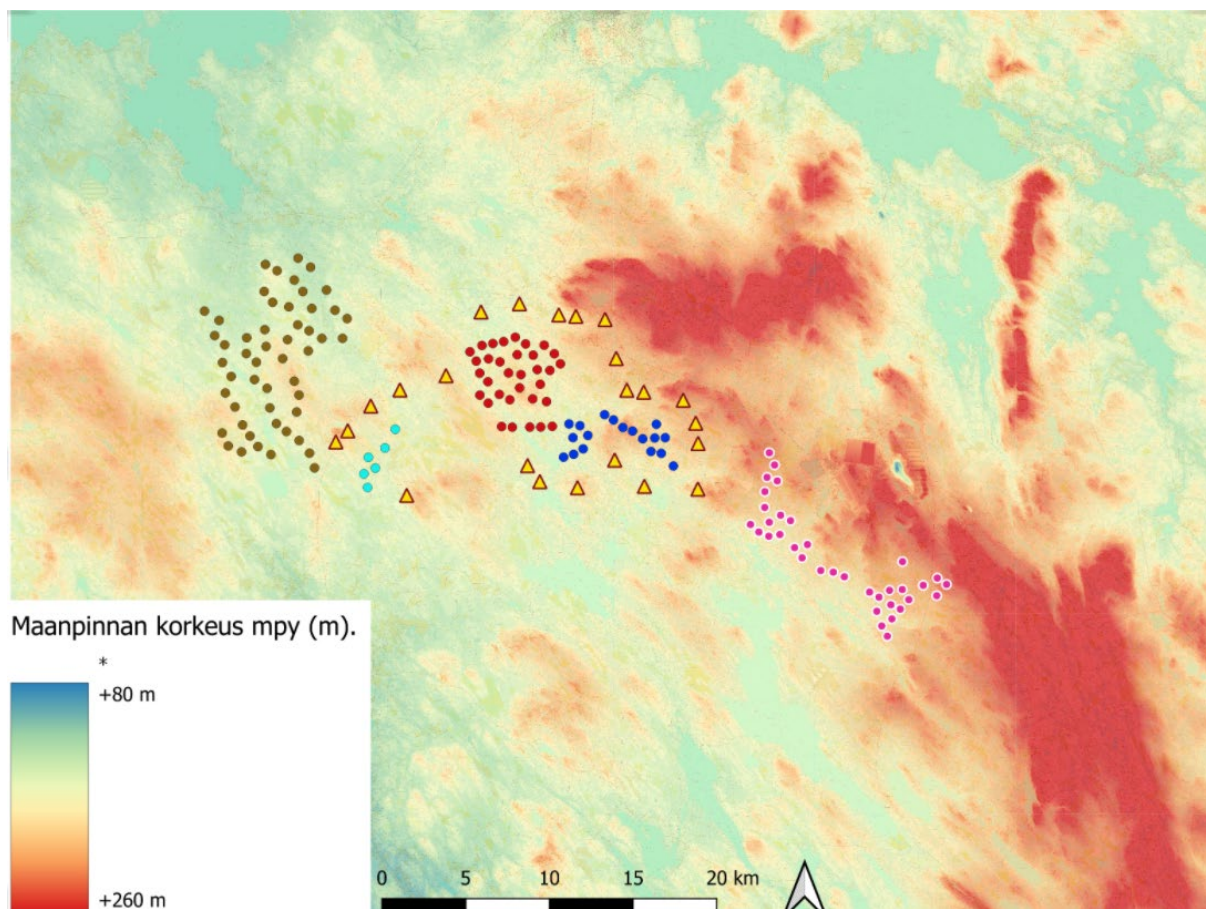
2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien asuin- ja lomarakennusten sijainnit. Lomarakennukset on kuvattu kartalla punaisella pisteellä ja asuinrakennukset mustalla pisteellä. Lähialueen asuin- ja lomarakennuksista määriteltiin kaksikymmentäkolme vertailurakennusta, ns. reseptoripisteet R1-R23, joiden kohdalle tarkasteltiin tarkemmin keskiääni- (LAeq) ja pienitaajuisen melun tasoja. Reseptoripisteiden

kohdalle laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



Kuva 2-1. Melumallinnusalue, Kivikankaan voimaloiden sijainnit (viininpunaiset pisteet), lähiympäristön tuulivoimapaistot ja reseptoripisteet (punaiset ympyrät).



Kuva 2-2. Alueen topografiakartta, jossa on näkyvissä reseptoripisteet (kolmiot) sekä Kivikangas 1:n (punaiset pisteet), Kivikangas 2:n (siniset pisteet), Kukkokankaan (turkoosi pisteet), Katajamäen (ruskeat pisteet) ja Sivakkalehdon (pinkin pisteet) tuulivoimalat, mpy [m].

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 parametrusointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö 1/3 oktaavikaistan resoluutiolla, äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Mallinnus laskee tilanteen aina myötätuuliolosuhteeseen joka 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 luokarvoltaan 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. Pientaajuisen 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, 2025), topografian pystyresoluutiona on 0,5 m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkkolaskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Tuulennopeus	n.12,5 m/s 200 m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10 m: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	Laskentapistet viisi kertaa viiden metrin (5x5 m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4 m) korkeudella seuraten digitaaliskartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5 sekä 4.1.9)

Lähtötieto	Parametrit
Laskentavyöhykkeet, LAeq	35 dB, 40 dB, 45 dB ja 50 dB

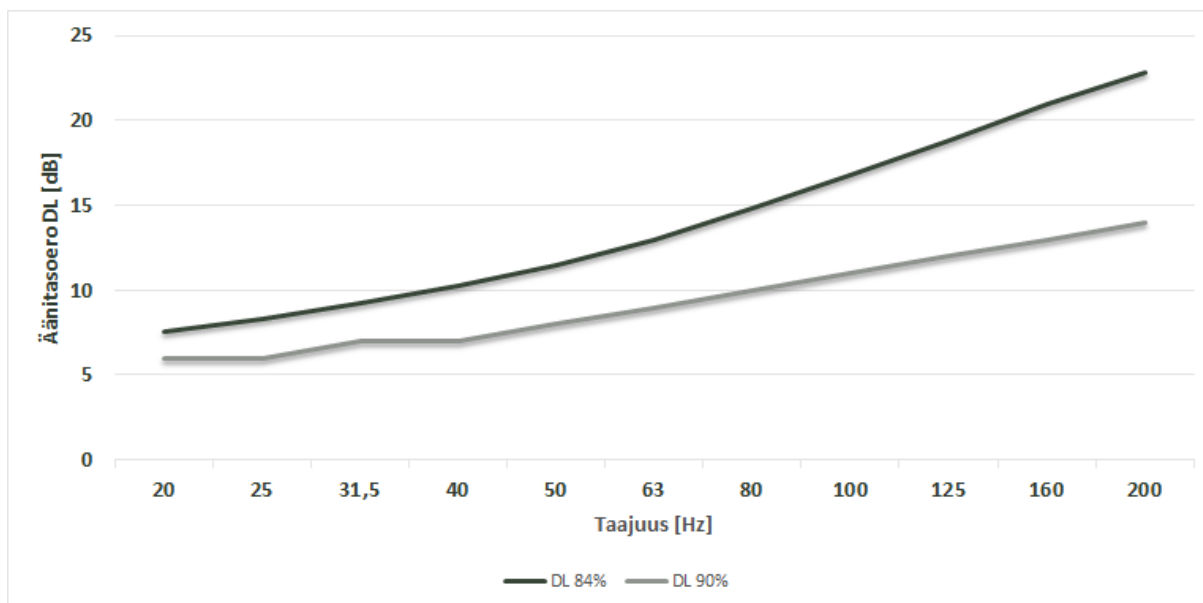
2.6 Pienitaajuisen melun laskenta

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 Leq,1h mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaismelutason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä pienitaajuisen sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan ääneneristyksen 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 ilmaäänieristyksen 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 ilmaäänieristävyiden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia. Pientalojen ilmaäänieristävyiden 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 pientaajuisen 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.

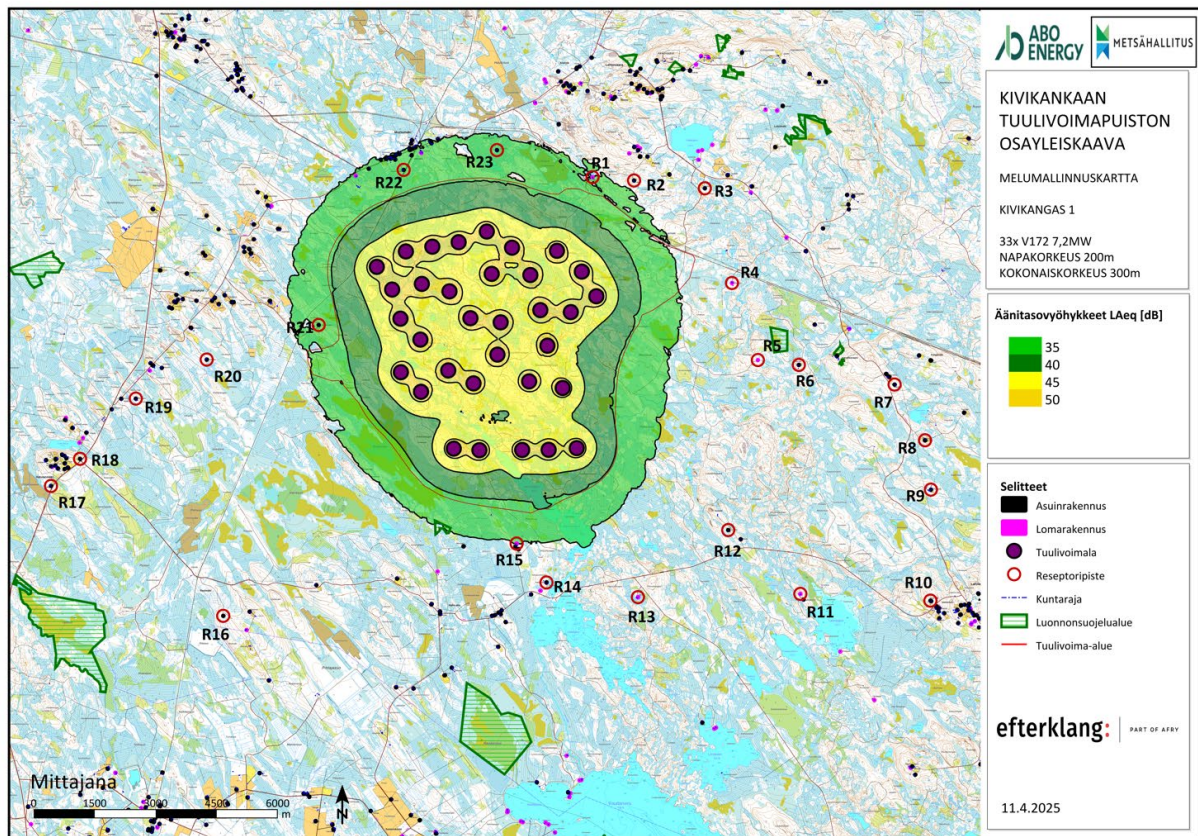
3 MALLINNUSTULOKSET

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

3.1 Ulkomelumallinnus

3.1.1 Kivikangas 1

Kivikankaan melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Kivikankaan hankealueen 33: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. Kivikangas 1 melumallinnuskartta, keskiäänitaso LAeq.

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoripistelaskennan perusteella (Taulukko 3-1) korkein keskiäänitaso LAeq 35,2 dB saavutetaan reseptoripisteessä R21, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus. Yöajan ohjearvoja 40 dB alitetaan kaikissa reseptoripisteissä.

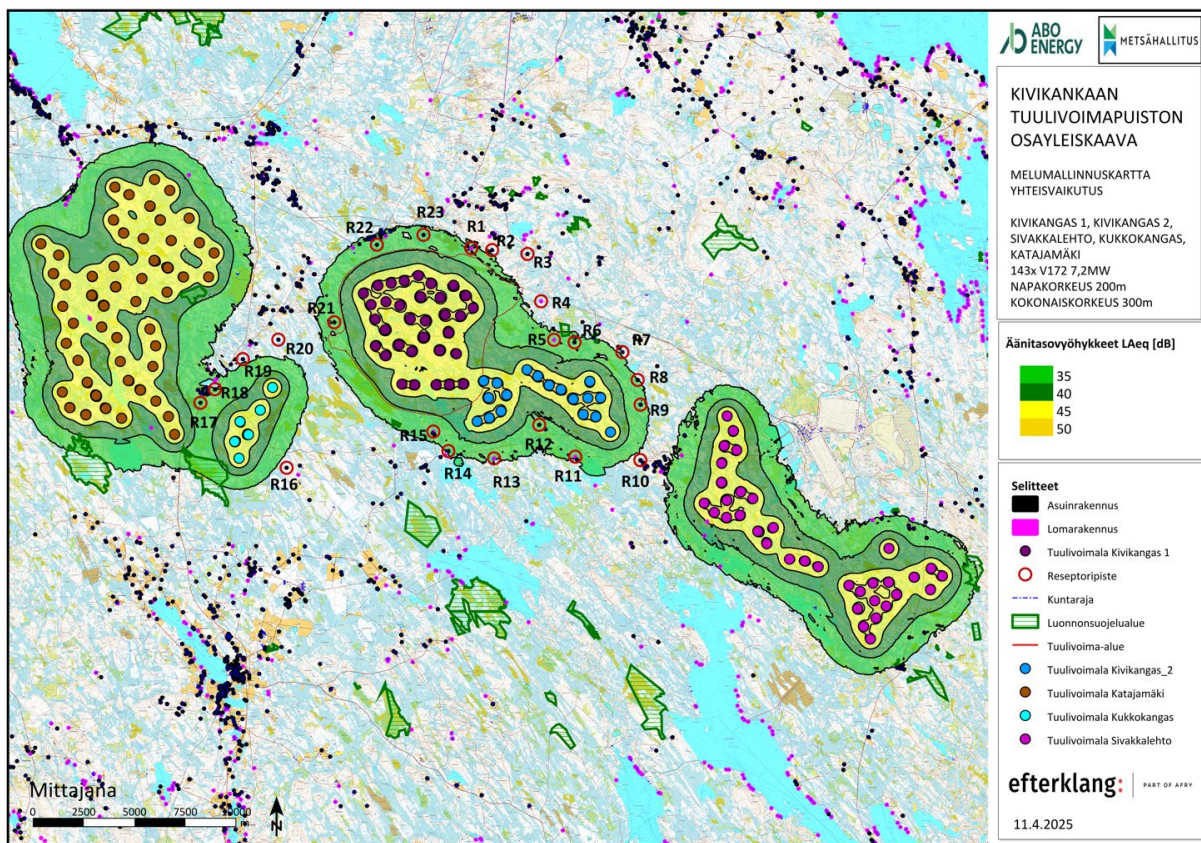
Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

Taulukko 3-1. Kivikangas 1 melumallinnuksen ulkomelun reseptoripistetulokset.

Reseptori- piste	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset	Reseptori- piste	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset
Nimi	MML.2025	Keskiäänit- taso LAeq	Nimi	MML.2025	Keskiäänit- taso LAeq
R1	Lomarakennus	33,0	R13	Lomarakennus	26,4
R2	Asuinrakennus	31,8	R14	Asuinrakennus	29,0
R3	Asuinrakennus	28,2	R15	Lomarakennus	32,6
R4	Lomarakennus	28,5	R16	Asuinrakennus	15,9
R5	Lomarakennus	25,5	R17	Asuinrakennus	11,2
R6	Asuinrakennus	23,0	R18	Asuinrakennus	18,7
R7	Asuinrakennus	17,5	R19	Asuinrakennus	22,8
R8	Asuinrakennus	14,8	R20	Asuinrakennus	25,3
R9	Asuinrakennus	11,2	R21	Asuinrakennus	35,2
R10	Asuinrakennus	7,1	R22	Asuinrakennus	34,6
R11	Lomarakennus	19,5	R23	Asuinrakennus	34,0
R12	Asuinrakennus	23,8			

3.1.2 Yhteismeluvaikutus (Kivikangas 2, Kukkokangas, Sivakkalehto, Katajamäki)

Yhteismelumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavassa kuvassa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartta Kivikangas 1:n hankealueen 33:lle suunnitellulle voimalalle sekä viereisten tuulipuistojen yhteisvaikutukselle (Kivikangas 2, Kukkokangas, Sivakkalehto, Katajamäki). 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. Kivikangas 1 melumallinnuskartta sekä yhteisvaikutus Kivikangas 2, Kukkokangas, Sivakkalehto, Katajamäki tuulivoimaloiden kanssa, keskiäänitaso LAeq.

Taulukko 3-2. Kivikangas 1 yhteismelumallinnuksen ulkomelun reseptoripistetulokset.

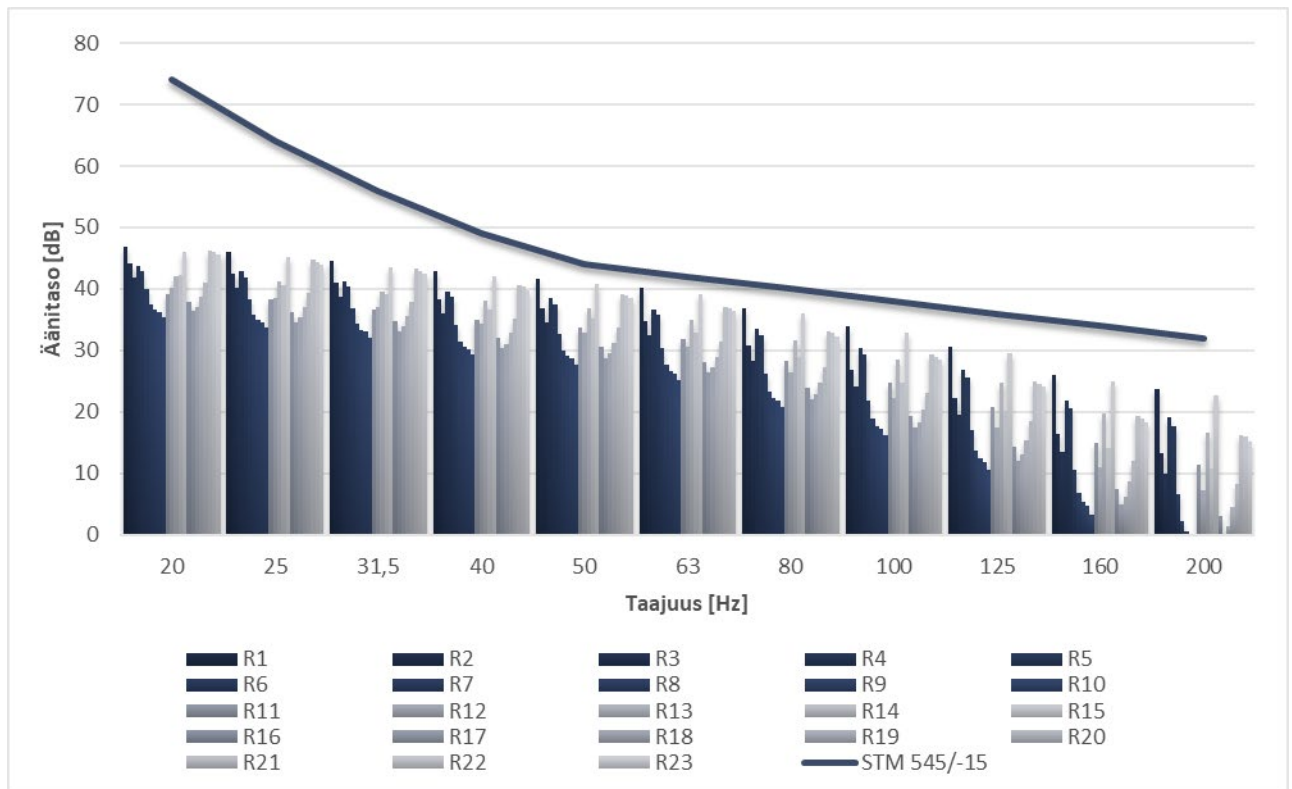
Reseptori- piste	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset	Reseptori- piste	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset
Nimi	MML.2025	keskiäänitaso LAeq	Nimi	MML.2025	keskiäänitaso LAeq
R1	Lomarakennus	33,2	R13	Lomarakennus	33,7
R2	Asuinrakennus	32,2	R14	Asuinrakennus	33,3
R3	Asuinrakennus	29,5	R15	Lomarakennus	34,8
R4	Lomarakennus	31,4	R16	Asuinrakennus	31,9
R5	Lomarakennus	34,5	R17	Asuinrakennus	35,5
R6	Asuinrakennus	34	R18	Asuinrakennus	33,5
R7	Asuinrakennus	32,2	R19	Asuinrakennus	32,3
R8	Asuinrakennus	33,1	R20	Asuinrakennus	30,8
R9	Asuinrakennus	33,6	R21	Asuinrakennus	35,6
R10	Asuinrakennus	31,5	R22	Asuinrakennus	34,8
R11	Lomarakennus	33,8	R23	Asuinrakennus	34,1
R12	Asuinrakennus	36,5			

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja lomarakennuksiin, kun ottaa huomioon yhteismeluvaikutukset lähimpien tuulivoimapuistojen kanssa. Reseptoripistelaskennan perusteella (Taulukko 3-2) korkein keskiäänitaso LAeq 36,5 saavutetaan reseptoripisteessä R12, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus.

3.2 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 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 Kivikankaan tuulivoimaloille on havainnollistettu seuraavassa kuvassa (Kuva 3-5). Yhteisvaikutuksista Kivikangas 2, Kukkokangas, Sivakkalehto, Katajamäki hankkeiden kanssa on esitetty omat pientaajuisten melun tulostulokuvaa (Kuva 3-7).

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

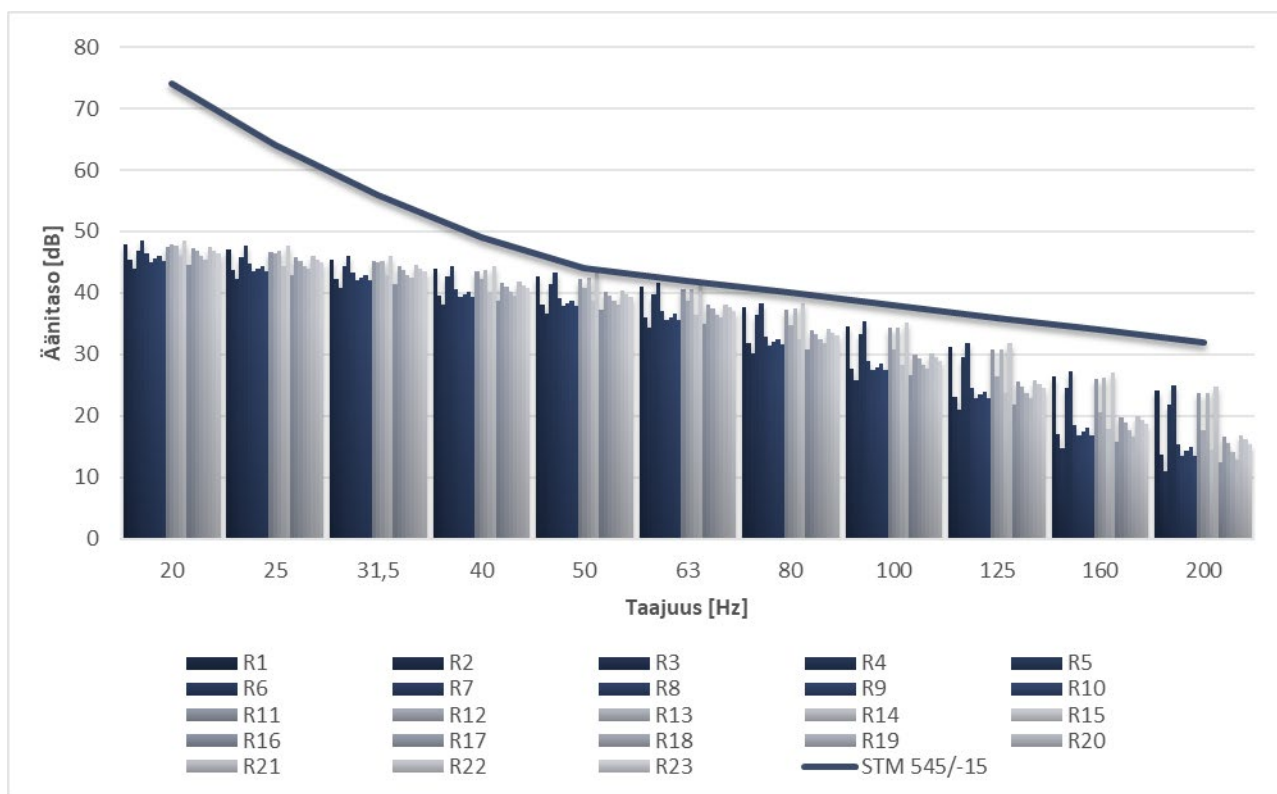


Kuva 3-3. Kivikangas 1 hankkeen pientaajuisten melulaskennan tulostulokuvaa.

Taulukko 3-3. Kivikangas 1 pientaajuisten (20–200 Hz) melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015. Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista.

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-27,1	-18,0	-11,5	-6,1	-2,3	-1,9	-3,1	-4,0	-5,4	-8,0	-8,2
R2	-30,0	-21,6	-15,0	-10,7	-7,1	-7,2	-9,3	-11,2	-13,7	-17,6	-18,8
R3	-32,2	-23,8	-17,3	-13,0	-9,4	-9,6	-11,7	-13,8	-16,5	-20,6	-22,2
R4	-30,3	-21,2	-14,7	-9,3	-5,6	-5,3	-6,6	-7,7	-9,3	-12,2	-12,9
R5	-31,2	-22,1	-15,7	-10,3	-6,5	-6,3	-7,6	-8,7	-10,4	-13,5	-14,4
R6	-34,1	-25,7	-19,2	-15,0	-11,4	-11,7	-13,9	-16,1	-18,9	-23,4	-25,3
R7	-36,5	-28,2	-21,7	-17,5	-14,0	-14,4	-16,7	-19,2	-22,3	-27,3	-29,8
R8	-37,4	-29,1	-22,6	-18,4	-14,9	-15,4	-17,7	-20,3	-23,5	-28,7	-31,5
R9	-37,8	-29,5	-23,0	-18,8	-15,3	-15,8	-18,2	-20,8	-24,1	-29,3	-32,2
R10	-38,6	-30,3	-23,9	-19,7	-16,3	-16,8	-19,2	-21,9	-25,4	-30,8	-34,0
R11	-34,8	-25,8	-19,4	-14,1	-10,4	-10,2	-11,7	-13,2	-15,3	-18,9	-20,6
R12	-33,8	-25,5	-19,0	-14,7	-11,1	-11,4	-13,6	-15,8	-18,6	-23,0	-24,8
R13	-31,9	-22,8	-16,4	-11,0	-7,2	-7,0	-8,3	-9,5	-11,3	-14,4	-15,3
R14	-31,7	-23,3	-16,8	-12,5	-8,9	-9,1	-11,1	-13,2	-15,8	-19,8	-21,3
R15	-28,0	-18,9	-12,4	-7,0	-3,2	-2,9	-4,1	-5,0	-6,4	-9,1	-9,4
R16	-36,1	-27,8	-21,2	-17,0	-13,5	-13,9	-16,1	-18,6	-21,7	-26,5	-28,9
R17	-37,6	-29,4	-22,9	-18,7	-15,2	-15,7	-18,0	-20,6	-23,9	-29,1	-32,0
R18	-36,9	-28,6	-22,1	-17,9	-14,4	-14,8	-17,1	-19,7	-22,9	-27,9	-30,6
R19	-35,3	-27,0	-20,5	-16,2	-12,7	-13,0	-15,2	-17,6	-20,6	-25,3	-27,5
R20	-33,1	-24,7	-18,2	-13,9	-10,3	-10,6	-12,7	-14,9	-17,6	-21,9	-23,6
R21	-27,7	-19,3	-12,7	-8,4	-4,8	-4,9	-6,9	-8,7	-11,1	-14,8	-15,7
R22	-28,0	-19,6	-13,0	-8,7	-5,1	-5,2	-7,2	-9,1	-11,4	-15,1	-16,1
R23	-28,5	-20,0	-13,5	-9,1	-5,5	-5,7	-7,6	-9,6	-11,9	-15,7	-16,7

Pientaajuismelun laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat Kivikangas 1 hankkeessa. Suurimmat arvot ulkona saavutetaan reseptoripisteissä R1, R4, R15 ja R21, jonka pientaajuisten sisämelun laskennassa käytetään julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoa DL84% ja DL90% rakennuksien käyttötarkoituksen perusteella (asuinrakennus R21, loma-asuinrakennus R1, R4 ja R15).



Kuva 3-4. Kivikangas 1 hankkeen pienitaajuisen melulaskennan tulokuvaaja yhteisvaikutus Kivikangas 2, Kukkokangas, Sivakkalehto, Katajamäki tuulivoimaloiden kanssa.

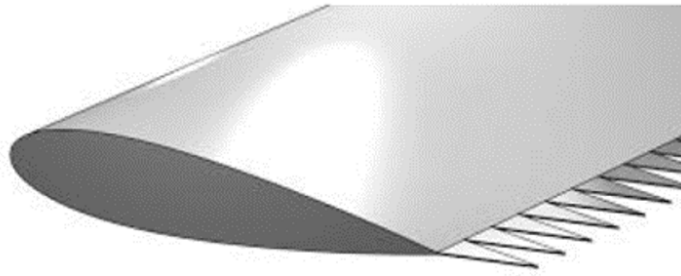
Taulukko 3-4. Kivikangas 1 pientaajuisen (20–200 Hz) melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 yhteisvaikutuksessa Kivikangas 2, Kukkokangas, Sivakkalehto, Katajamäki tuulivoimaloiden kanssa. Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista.

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-26,1	-17,0	-10,5	-5,1	-1,3	-1,1	-2,3	-3,4	-4,9	-7,6	-7,9
R2	-28,6	-20,2	-13,7	-9,4	-5,8	-6,1	-8,2	-10,3	-12,9	-16,9	-18,3
R3	-30,0	-21,7	-15,1	-10,9	-7,4	-7,7	-9,9	-12,1	-14,9	-19,3	-21,0
R4	-27,2	-18,1	-11,7	-6,3	-2,6	-2,3	-3,6	-4,8	-6,5	-9,4	-10,1
R5	-25,5	-16,4	-10,0	-4,6	-0,8	-0,5	-1,7	-2,7	-4,2	-6,8	-7,1
R6	-27,6	-19,2	-12,7	-8,4	-4,8	-5,0	-7,0	-9,1	-11,5	-15,4	-16,6
R7	-28,9	-20,6	-14,0	-9,8	-6,2	-6,4	-8,5	-10,6	-13,2	-17,2	-18,5
R8	-28,5	-20,1	-13,6	-9,3	-5,7	-5,9	-8,0	-10,1	-12,6	-16,5	-17,7
R9	-28,0	-19,6	-13,1	-8,8	-5,2	-5,4	-7,5	-9,5	-12,0	-15,9	-17,0
R10	-28,8	-20,5	-13,9	-9,7	-6,1	-6,3	-8,4	-10,5	-13,1	-17,2	-18,5
R11	-26,4	-17,3	-10,9	-5,5	-1,7	-1,4	-2,7	-3,8	-5,3	-8,0	-8,3
R12	-26,0	-17,6	-11,1	-6,7	-3,1	-3,3	-5,3	-7,2	-9,6	-13,3	-14,3
R13	-26,3	-17,2	-10,8	-5,4	-1,6	-1,3	-2,6	-3,6	-5,2	-7,9	-8,3
R14	-28,0	-19,7	-13,1	-8,8	-5,3	-5,5	-7,6	-9,7	-12,2	-16,2	-17,5
R15	-25,5	-16,4	-9,9	-4,6	-0,8	-0,5	-1,7	-2,7	-4,2	-6,9	-7,3
R16	-29,5	-21,1	-14,6	-10,4	-6,8	-7,1	-9,2	-11,4	-14,1	-18,2	-19,6
R17	-26,7	-18,3	-11,7	-7,4	-3,8	-4,0	-6,0	-8,0	-10,4	-14,2	-15,3
R18	-27,2	-18,8	-12,3	-8,0	-4,4	-4,6	-6,7	-8,7	-11,2	-15,1	-16,3
R19	-28,0	-19,6	-13,1	-8,8	-5,2	-5,5	-7,6	-9,7	-12,3	-16,4	-17,9
R20	-28,5	-20,2	-13,6	-9,4	-5,8	-6,1	-8,2	-10,4	-13,1	-17,4	-19,0
R21	-26,5	-18,1	-11,5	-7,2	-3,6	-3,8	-5,8	-7,8	-10,3	-14,2	-15,3
R22	-27,1	-18,7	-12,1	-7,8	-4,2	-4,4	-6,4	-8,5	-10,9	-14,8	-15,9
R23	-27,5	-19,1	-12,6	-8,3	-4,7	-4,9	-7,0	-9,0	-11,5	-15,4	-16,5

Yhteismeluvaikutus Kivikangas 2:n, Kukkokankaan, Katajamäen ja Sivakkalehdon hankkeiden kanssa alittavat sisämelun toimenpiderajat kaikissa reseptoripisteissä. Suurimmat arvot ulkona saavutetaan reseptoripisteissä R1, R5, R11 ja R15, jonka pientaajuisen sisämelun laskennassa käytetään julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoa DL90% rakennuksien käyttötarkoituksen perusteella (loma-asuinrakennus R1, R5, R11 ja R15).

3.3 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaoidituksen (Kuva 3-5), 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 3-5. Havainnollistus tuulivoimalan siiven jättöreunan sahalaudoituksesta (Martinez ym. 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. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Melumallinnuksen perusteella tarvetta meluoptimointiajomoodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

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

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

STMa 545/2015. Sosiaali- ja 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 ohjearvoista. 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. Yhteenveto 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

Kivikangas 1, Tuulivoimaloiden koordinaatit

No.	Nimi	x	y	z (m)	H (m)
1	TV1	527424,9	7101617,4	174,7	200,0
2	TV2	527801,1	7101060,6	172,8	200,0
3	TV3	528006,0	7100345,0	175,2	200,0
4	TV4	528139,1	7101995,6	166,8	200,0
5	TV5	528511,5	7098551,5	183,4	200,0
6	TV6	528016,8	7099031,1	181,8	200,0
7	TV7	528496,0	7099831,0	178,7	200,0
8	TV8	528532,1	7101199,0	170,8	200,0
9	TV9	528789,8	7102112,7	169,1	200,0
10	TV10	529181,0	7099074,0	176,5	200,0
11	TV11	529211,0	7101016,0	184,8	200,0
12	TV12	529316,4	7097155,2	194,9	200,0
13	TV13	529436,0	7102224,0	184,0	200,0
14	TV14	529727,0	7100356,0	204,9	200,0
15	TV15	529802,5	7098757,0	176,2	200,0
16	TV16	529947,4	7097115,7	171,7	200,0
17	TV17	530129,0	7102485,0	175,6	200,0
18	TV18	530249,0	7101446,0	191,9	200,0
19	TV19	530390,1	7099463,3	206,3	200,0
20	TV20	530470,0	7100256,0	184,7	200,0
21	TV21	530749,0	7102088,0	177,6	200,0
22	TV22	531170,0	7098806,0	195,3	200,0
23	TV23	530999,1	7097121,8	174,2	200,0
24	TV24	531445,0	7100556,0	184,8	200,0
25	TV25	531649,3	7097126,5	169,6	200,0
26	TV26	531620,0	7099681,0	192,1	200,0
27	TV27	531854,0	7102012,0	187,6	200,0
28	TV28	531995,0	7098644,0	193,4	200,0
29	TV29	532195,0	7100506,0	179,0	200,0
30	TV30	532465,0	7101500,0	187,8	200,0
31	TV31	532822,0	7100897,0	185,9	200,0
32	TV32	531199,0	7101417,0	178,5	200,0
33	TV33	532340,7	7097166,3	173,2	200,0

Katajamäki tuulivoimaloiden koordinaatit

No.	Nimi	x	y	z (m)	H (m)
1	TV1	513394,0	7098322,0	187,8	200,0
2	TV2	513847,0	7097251,0	183,5	200,0
3	TV3	514288,0	7096590,0	176,3	200,0
4	TV4	514763,0	7095958,0	168,5	200,0
5	TV5	513785,0	7095645,0	173,9	200,0
6	TV6	517845,0	7095564,0	169,3	200,0
7	TV7	517226,0	7096320,0	171,6	200,0
8	TV8	516462,0	7096860,0	174,2	200,0
9	TV9	515866,0	7097332,0	170,7	200,0
10	TV10	515475,0	7098267,0	165,7	200,0
11	TV11	517075,0	7098024,0	180,3	200,0
12	TV12	517213,0	7099034,0	198,4	200,0
13	TV13	516931,0	7099863,0	198,1	200,0
14	TV14	517144,0	7103226,0	166,4	200,0
15	TV15	517816,0	7102875,0	161,0	200,0
16	TV16	518583,0	7102417,0	153,1	200,0
17	TV17	515909,0	7106459,2	164,8	200,0
18	TV18	516931,1	7105901,0	145,2	200,0
19	TV19	517446,0	7105214,0	147,5	200,0
20	TV20	517980,0	7104206,0	148,8	200,0
21	TV21	518858,0	7105305,0	148,0	200,0
22	TV22	519364,0	7104099,0	155,3	200,0
23	TV23	520088,0	7103598,0	172,1	200,0
24	TV24	519817,0	7102420,0	157,3	200,0
25	TV25	516239,0	7101210,0	191,7	200,0
26	TV26	515249,0	7101935,0	174,9	200,0
27	TV27	516534,0	7102343,0	177,2	200,0
28	TV28	514670,0	7100997,0	170,8	200,0
29	TV29	514555,0	7099960,0	172,2	200,0
30	TV30	515309,0	7099437,0	168,3	200,0
31	TV31	514070,0	7101510,0	163,9	200,0
32	TV32	514093,0	7102453,0	153,2	200,0
33	TV33	512819,0	7099163,0	178,3	200,0
34	TV34	513168,0	7100143,0	162,4	200,0
35	TV35	512646,0	7100974,0	161,7	200,0
36	TV36	512778,1	7102030,0	158,0	200,0
37	TV37	512181,0	7102584,8	153,2	200,0
38	TV38	512622,0	7096766,4	187,6	200,0
39	TV39	512989,0	7095998,0	185,4	200,0
40	TV40	515210,0	7106831,5	165,2	200,0
41	TV41	512446,8	7103491,0	147,5	200,0
42	TV42	511575,6	7104046,0	148,3	200,0
43	TV43	518144,0	7094686,0	177,3	200,0
44	TV44	517771,0	7101673,0	169,7	200,0

45	TV45	517906,0	7106667,0	138,4	200,0
46	TV46	517160,0	7107206,0	142,7	200,0
47	TV47	515539,5	7095479,9	162,6	200,0
48	TV48	516610,1	7104302,2	158,6	200,0
49	TV49	515639,0	7104570,5	165,8	200,0
50	TV50	515136,0	7105218,8	161,4	200,0
51	TV51	515170,5	7102939,9	163,6	200,0

Sivakkalehto tuulivoimaloiden koordinaatit

No.	Nimi	x	y	z (m)	H (m)
1	TV1	545299,0	7095589,0	233,8	200,0
2	TV2	545612,0	7094859,0	220,8	200,0
3	TV3	545161,0	7094122,0	218,0	200,0
4	TV4	545774,0	7093908,0	207,2	200,0
5	TV5	545033,0	7093271,0	210,1	200,0
6	TV6	545022,0	7092324,0	193,5	200,0
7	TV7	545971,0	7091861,0	193,7	200,0
8	TV8	546567,0	7091537,0	195,0	200,0
9	TV9	545294,0	7091441,0	190,1	200,0
10	TV10	544174,0	7091308,0	190,2	200,0
11	TV11	544676,0	7090856,0	186,6	200,0
12	TV12	545268,6	7090607,2	180,4	200,0
13	TV13	545930,0	7090712,0	189,7	200,0
14	TV14	547573,0	7090111,0	200,2	200,0
15	TV15	546806,0	7089926,0	187,7	200,0
16	TV16	548368,0	7088558,0	192,3	200,0
17	TV17	549117,0	7088464,0	199,9	200,0
18	TV18	549779,0	7088188,0	191,9	200,0
19	TV19	551284,0	7087274,0	192,9	200,0
20	TV20	551847,0	7086968,0	194,8	200,0
21	TV21	551717,0	7086127,0	187,1	200,0
22	TV22	552474,0	7087378,0	212,2	200,0
23	TV23	553238,0	7087424,0	218,6	200,0
24	TV24	553628,7	7086820,7	212,3	200,0
25	TV25	552556,0	7086515,0	196,7	200,0
26	TV26	553119,5	7086254,1	202,6	200,0
27	TV27	552616,2	7085670,3	186,4	200,0
28	TV28	552010,5	7085248,8	189,6	200,0
29	TV29	552343,6	7084637,7	196,2	200,0
30	TV30	554489,0	7087675,0	217,9	200,0
31	TV31	555329,6	7088109,4	230,7	200,0
32	TV32	555882,9	7087731,9	239,4	200,0
33	TV33	555295,1	7087056,1	220,5	200,0
34	TV34	553254,0	7089088,0	219,7	200,0
35	TV35	547254,0	7089318,0	189,5	200,0

Kukkokangas tuulivoimaloiden koordinaatit

No.	Nimi	x	y	z (m)	H (m)
1	TV1	521360,0	7095318,0	177,6	200,0
2	TV2	521095,0	7094331,0	164,7	200,0
3	TV3	522355,0	7095878,0	172,7	200,0
4	TV4	522961,0	7096992,0	173,1	200,0
5	TV5	521311,0	7093513,0	162,5	200,0
6	TV6	521775,0	7094674,0	167,8	200,0

Kivikangas 2 tuulivoimaloiden koordinaatit

No.	Nimi	x	y	z (m)	H (m)
1	TV1	533341,1	7097311,1	169,6	200,0
2	TV2	533576,5	7096491,4	172,1	200,0
3	TV3	533012,0	7095326,1	165,6	200,0
4	TV4	533994,0	7097206,0	175,2	200,0
5	TV5	533613,4	7095498,5	169,0	200,0
6	TV6	534465,0	7096624,0	188,1	200,0
7	TV7	534185,0	7095824,0	172,8	200,0
8	TV8	535461,6	7097864,2	185,4	200,0
9	TV9	535994,7	7097547,3	191,6	200,0
10	TV10	536555,2	7097098,2	219,3	200,0
11	TV11	537132,6	7096887,0	221,1	200,0
12	TV12	537740,9	7096420,4	198,9	200,0
13	TV13	538553,1	7097292,0	193,0	200,0
14	TV14	538456,9	7096470,8	193,9	200,0
15	TV15	538230,0	7095666,0	189,5	200,0
16	TV16	539081,0	7096487,0	189,9	200,0
17	TV17	539571,0	7094800,0	187,5	200,0
18	TV18	538846,0	7095554,0	190,2	200,0

Reseptoripisteiden koordinaatit

Nimi	x	y	z (m)	korkeus maan- pinnasta (m)
R1	532727,7	7103821,0	174,9	4
R2	533749,0	7103738,0	205,6	4
R3	535489,7	7103547,3	228,1	4
R4	536158,3	7101221,4	218,9	4
R5	536793,4	7099330,1	198,3	4
R6	537800,7	7099210,1	206,9	4
R7	540154,3	7098727,7	236,0	4
R8	540904,0	7097360,4	225,7	4
R9	541048,4	7096147,8	213,3	4
R10	541035,8	7093421,5	217,1	4
R11	537838,6	7093588,4	184,4	4
R12	536065,2	7095155,9	200,8	4
R13	533845,4	7093507,9	192,8	4
R14	531595,9	7093868,6	172,9	4
R15	530862,2	7094824,6	176,1	4
R16	523649,0	7093049,0	171,7	4
R17	519413,7	7096238,0	191,9	4
R18	520128,5	7096903,6	195,0	4
R19	521499,0	7098382,7	191,6	4
R20	523242,3	7099341,3	171,7	4
R21	525995,0	7100191,3	201,0	4
R22	528084,9	7103999,2	157,3	4
R23	530378,0	7104484,2	171,8	4

Liite 2. Pienitaajuisen melun numeeriset laskentatulokset

Kivikangas 1 tulokset ulkona (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	52,9	52,0	51,5	49,9	49,7	49,1	46,9	45,0	42,6	39,0	37,8
R2	51,6	50,7	50,2	48,6	48,4	47,8	45,5	43,6	41,1	37,4	36,0
R3	49,4	48,5	47,9	46,3	46,1	45,4	43,1	41,0	38,3	34,4	32,6
R4	49,7	48,8	48,3	46,7	46,4	45,7	43,4	41,3	38,7	34,8	33,1
R5	48,8	47,9	47,3	45,7	45,5	44,7	42,4	40,3	37,6	33,5	31,6
R6	47,5	46,6	46,0	44,3	44,1	43,3	40,9	38,7	35,9	31,6	29,5
R7	45,1	44,1	43,5	41,8	41,5	40,6	38,1	35,6	32,5	27,7	25,0
R8	44,2	43,2	42,6	40,9	40,6	39,6	37,1	34,5	31,3	26,3	23,3
R9	43,8	42,8	42,2	40,5	40,2	39,2	36,6	34,0	30,7	25,7	22,6
R10	43,0	42,0	41,3	39,6	39,2	38,2	35,6	32,9	29,4	24,2	20,8
R11	45,2	44,2	43,6	41,9	41,6	40,8	38,3	35,8	32,7	28,1	25,4
R12	47,8	46,8	46,2	44,6	44,4	43,6	41,2	39,0	36,2	32,0	30,0
R13	48,1	47,2	46,6	45,0	44,8	44,0	41,7	39,5	36,7	32,6	30,7
R14	49,9	49,0	48,4	46,8	46,6	45,9	43,7	41,6	39,0	35,2	33,5
R15	52,0	51,1	50,6	49,0	48,8	48,1	45,9	44,0	41,6	37,9	36,6
R16	45,5	44,5	44,0	42,3	42,0	41,1	38,7	36,2	33,1	28,5	25,9
R17	44,0	42,9	42,3	40,6	40,3	39,3	36,8	34,2	30,9	25,9	22,8
R18	44,7	43,7	43,1	41,4	41,1	40,2	37,7	35,1	31,9	27,1	24,2
R19	46,3	45,3	44,7	43,1	42,8	42,0	39,6	37,2	34,2	29,7	27,3
R20	48,5	47,6	47,0	45,4	45,2	44,4	42,1	39,9	37,2	33,1	31,2
R21	53,9	53,0	52,5	50,9	50,7	50,1	47,9	46,1	43,7	40,2	39,1
R22	53,6	52,7	52,2	50,6	50,4	49,8	47,6	45,7	43,4	39,9	38,7
R23	53,1	52,3	51,7	50,2	50,0	49,3	47,2	45,2	42,9	39,3	38,1

Kivikangas 1 tulokset sisällä (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	46,9	46,0	44,5	42,9	41,7	40,1	36,9	34,0	30,6	26,0	23,8
R2	44,0	42,4	41,0	38,3	36,9	34,8	30,7	26,8	22,3	16,4	13,2
R3	41,8	40,2	38,7	36,0	34,6	32,4	28,3	24,2	19,5	13,4	9,8
R4	43,7	42,8	41,3	39,7	38,4	36,7	33,4	30,3	26,7	21,8	19,1
R5	42,8	41,9	40,3	38,7	37,5	35,7	32,4	29,3	25,6	20,5	17,6
R6	39,9	38,3	36,8	34,0	32,6	30,3	26,1	21,9	17,1	10,6	6,7
R7	37,5	35,8	34,3	31,5	30,0	27,6	23,3	18,8	13,7	6,7	2,2
R8	36,6	34,9	33,4	30,6	29,1	26,6	22,3	17,7	12,5	5,3	0,5
R9	36,2	34,5	33,0	30,2	28,7	26,2	21,8	17,2	11,9	4,7	-0,2
R10	35,4	33,7	32,1	29,3	27,7	25,2	20,8	16,1	10,6	3,2	-2,0
R11	39,2	38,2	36,6	34,9	33,6	31,8	28,3	24,8	20,7	15,1	11,4
R12	40,2	38,5	37,0	34,3	32,9	30,6	26,4	22,2	17,4	11,0	7,2
R13	42,1	41,2	39,6	38,0	36,8	35,0	31,7	28,5	24,7	19,6	16,7
R14	42,3	40,7	39,2	36,5	35,1	32,9	28,9	24,8	20,2	14,2	10,7
R15	46,0	45,1	43,6	42,0	40,8	39,1	35,9	33,0	29,6	24,9	22,6
R16	37,9	36,2	34,8	32,0	30,5	28,1	23,9	19,4	14,3	7,5	3,1
R17	36,4	34,6	33,1	30,3	28,8	26,3	22,0	17,4	12,1	4,9	0,0
R18	37,1	35,4	33,9	31,1	29,6	27,2	22,9	18,3	13,1	6,1	1,4
R19	38,7	37,0	35,5	32,8	31,3	29,0	24,8	20,4	15,4	8,7	4,5
R20	40,9	39,3	37,8	35,1	33,7	31,4	27,3	23,1	18,4	12,1	8,4
R21	46,3	44,7	43,3	40,6	39,2	37,1	33,1	29,3	24,9	19,2	16,3
R22	46,0	44,4	43,0	40,3	38,9	36,8	32,8	28,9	24,6	18,9	15,9
R23	45,5	44,0	42,5	39,9	38,5	36,3	32,4	28,4	24,1	18,3	15,3

Kivikangas 1 yhteismelu tulokset ulkona (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	53,9	53,0	52,5	50,9	50,7	49,9	47,7	45,6	43,1	39,4	38,1
R2	53,0	52,1	51,5	49,9	49,7	48,9	46,6	44,5	41,9	38,1	36,5
R3	51,6	50,6	50,1	48,4	48,1	47,3	44,9	42,7	39,9	35,7	33,8
R4	52,8	51,9	51,3	49,7	49,4	48,7	46,4	44,2	41,5	37,6	35,9
R5	54,5	53,6	53,0	51,4	51,2	50,5	48,3	46,3	43,8	40,2	38,9
R6	54,0	53,1	52,5	50,9	50,7	50,0	47,8	45,7	43,3	39,6	38,2
R7	52,7	51,7	51,2	49,5	49,3	48,6	46,3	44,2	41,6	37,8	36,3
R8	53,1	52,2	51,6	50,0	49,8	49,1	46,8	44,7	42,2	38,5	37,1
R9	53,6	52,7	52,1	50,5	50,3	49,6	47,3	45,3	42,8	39,1	37,8
R10	52,8	51,8	51,3	49,6	49,4	48,7	46,4	44,3	41,7	37,8	36,3
R11	53,6	52,7	52,1	50,5	50,3	49,6	47,3	45,2	42,7	39,0	37,7
R12	55,6	54,7	54,1	52,6	52,4	51,7	49,5	47,6	45,2	41,7	40,5
R13	53,7	52,8	52,2	50,6	50,4	49,7	47,4	45,4	42,8	39,1	37,7
R14	53,6	52,6	52,1	50,5	50,2	49,5	47,2	45,1	42,6	38,8	37,3
R15	54,5	53,6	53,1	51,4	51,2	50,5	48,3	46,3	43,8	40,1	38,7
R16	52,1	51,2	50,6	48,9	48,7	47,9	45,6	43,4	40,7	36,8	35,2
R17	54,9	54,0	53,5	51,9	51,7	51,0	48,8	46,8	44,4	40,8	39,5
R18	54,4	53,5	52,9	51,3	51,1	50,4	48,1	46,1	43,6	39,9	38,5
R19	53,6	52,7	52,1	50,5	50,3	49,5	47,2	45,1	42,5	38,6	36,9
R20	53,1	52,1	51,6	49,9	49,7	48,9	46,6	44,4	41,7	37,6	35,8
R21	55,1	54,2	53,7	52,1	51,9	51,2	49,0	47,0	44,5	40,8	39,5
R22	54,5	53,6	53,1	51,5	51,3	50,6	48,4	46,3	43,9	40,2	38,9

R23	54,1	53,2	52,6	51,0	50,8	50,1	47,8	45,8	43,3	39,6	38,3
------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Kivikangas 1 yhteismelu, tulokset sisällä (dB), taajuus (Hz)

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	47,9	47,0	45,5	43,9	42,7	40,9	37,7	34,6	31,1	26,4	24,1
R2	45,4	43,8	42,3	39,6	38,2	35,9	31,8	27,7	23,1	17,1	13,7
R3	44,0	42,3	40,9	38,1	36,6	34,3	30,1	25,9	21,1	14,7	11,0
R4	46,8	45,9	44,3	42,7	41,4	39,7	36,4	33,2	29,5	24,6	21,9
R5	48,5	47,6	46,0	44,4	43,2	41,5	38,3	35,3	31,8	27,2	24,9
R6	46,4	44,8	43,3	40,6	39,2	37,0	33,0	28,9	24,5	18,6	15,4
R7	45,1	43,4	42,0	39,2	37,8	35,6	31,5	27,4	22,8	16,8	13,5
R8	45,5	43,9	42,4	39,7	38,3	36,1	32,0	27,9	23,4	17,5	14,3
R9	46,0	44,4	42,9	40,2	38,8	36,6	32,5	28,5	24,0	18,1	15,0
R10	45,2	43,5	42,1	39,3	37,9	35,7	31,6	27,5	22,9	16,8	13,5
R11	47,6	46,7	45,1	43,5	42,3	40,6	37,3	34,2	30,7	26,0	23,7
R12	48,0	46,4	44,9	42,3	40,9	38,7	34,7	30,8	26,4	20,7	17,7
R13	47,7	46,8	45,2	43,6	42,4	40,7	37,4	34,4	30,8	26,1	23,7
R14	46,0	44,3	42,9	40,2	38,7	36,5	32,4	28,3	23,8	17,8	14,5
R15	48,5	47,6	46,1	44,4	43,2	41,5	38,3	35,3	31,8	27,1	24,7
R16	44,5	42,9	41,4	38,6	37,2	34,9	30,8	26,6	21,9	15,8	12,4
R17	47,3	45,7	44,3	41,6	40,2	38,0	34,0	30,0	25,6	19,8	16,7
R18	46,8	45,2	43,7	41,0	39,6	37,4	33,3	29,3	24,8	18,9	15,7
R19	46,0	44,4	42,9	40,2	38,8	36,5	32,4	28,3	23,7	17,6	14,1
R20	45,5	43,8	42,4	39,6	38,2	35,9	31,8	27,6	22,9	16,6	13,0
R21	47,5	45,9	44,5	41,8	40,4	38,2	34,2	30,2	25,7	19,8	16,7
R22	46,9	45,3	43,9	41,2	39,8	37,6	33,6	29,5	25,1	19,2	16,1
R23	46,5	44,9	43,4	40,7	39,3	37,1	33,0	29,0	24,5	18,6	15,5

Liite 5. Melumallinnuksen perustiedot

RAPORTIN TIEDOT		
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101011971-004		
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT		
Mallinnusohjelma: SoundPlan v. 9.1	Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2	
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)		
Tuulivoimalan valmistaja: Geneerinen	Nimellisteho: 7,2 MW	
Roottorin halkaisija: Mallinnuksessa vain napakorkeus	Napakorkeus: <i>Kivikangas: 200 m</i> <i>Kivikangas: 200 m</i> <i>Kukkokangas: 200 m</i> <i>Katajamäki: 200 m</i> <i>Sivakkalehto: 200 m</i>	
Kivikangas 1 lukumäärä: 33 <i>Kivikangas 2:18 kpl</i> <i>Kukkokangas: 6 kpl</i> <i>Katajamäki: 51 kpl</i> <i>Sivakkalehto:35 kpl</i>	Siipityyppi: Serraatio	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB		
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT		
Melupäästötiedot (LWA): 108,9 dB	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, 03/2025	Maanpinnan pystyresoluutio: 0,5 m / laserkeilausaineisto	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet		
Vesialueet:	Maa-alueet:	Muut alueet
0	0,4	Laajat kallioalueet: 0
PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNITASOEROT		
Julkisivurakenteen tuottaman äänitason 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 1 kpl										
Laskentakartat: 2 kpl					Laskentavyöhykkeet [dB]: 4 kpl: 35 dB, 40dB, 45dB ja 50dB					
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2 kpl					Reseptoripisteet: 23 kpl, R1-R23					
Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, 0 kpl. (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										