



Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy Konikallion tuulivoimahanke, melumallinnus ympäristönvaikutusarviointia varten

Asiakas: Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy

Projektinumero: 101016612-008





Projektiviite

101016612-008

Asiakas

Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy

**Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy Konikallion tuulivoimahanke,
melumallinnus ympäristönvaikutusarviointia varten**



Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Ympäristömelu.....	7
1.2	Tuulivoimamelu.....	8
1.3	Vertailuohjeavot.....	10
1.4	Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	11
2	Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	12
2.1	Digitaal kartta-aineisto	12
2.2	Mallinnettu tuulivoimalamalli	12
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit.....	13
2.4	Melumallinnuksen laskentaparametrit	14
2.5	Pientaajuisten melun laskenta	17
3	Melumallinnustulokset	18
3.1	Melun nykytila	19
3.2	Ulkomelumallinnus	19
3.2.1	Hankevaihtoehto VE1	19
3.2.2	Hankevaihtoehto VE2	21
3.3	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa.....	22
3.4	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen.....	24
4	Vaikutusten seuranta	24
5	Lähteet	25

Liitteet

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

Liite 2. Pientaajuisten melun numeeriset tulokset ulkona

Liite 3. Pientaajuisten melun numeeriset tulokset sisällä

Liite 4. Melumallinnuskuva, hankevaihtoehto VE1



Liite 5. Melumallinnuskuva, hankevaihtoehto VE2

Liite 6. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

Kuvat ja taulukot

Kuva 1-1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.....	9
Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjeavot, LAeq	10
Taulukko 1-2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).	11
Taulukko 1-3. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq, 1 h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07.	12
Kuva 2-1. Konikallion tuulivoimaloiden sijainnit hankevaihtoehdossa VE1 ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit.....	13
Kuva 2-2. Konikallion tuulivoimaloiden sijainnit hankevaihtoehdossa VE2 ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit.....	14
Kuva 2-3. Maaston topografian korkeusvaihtelu Kivikankaan hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.	16
Taulukko 2-1. Melun leviämislaskennan parametrit	16
Kuva 2-4. Pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatit DL84% ja DL90% (Keränen et al., 2017, 2019)	18
Kuva 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 meluvyöhykkeet	20
Taulukko 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 melumallinnuksen reseptoripistetulokset	20
Kuva 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 meluvyöhykkeet	21
Taulukko 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuksen reseptoripistetulokset	22



Kuva 3-3. Pientaajuisten melulaskennan tulokset, hankevaihtoehto VE1	23
Kuva 3-4. Pientaajuisten melulaskennan tulokset, hankevaihtoehto VE2	23
Kuva 4-1.(a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta fT ja ääneksen erottuvuudesta AT. (b) Amplitudimoduloidun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta fm ja modulaatiosyvyydestä Dm. (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta Ron ja tasoerosta DL (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykinnän sanktiomenettelyä.....	25



Tiivistelmä

Ilmatar Energy Oy:n hankeyhtiö Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy suunnittelee Konikallion tuulipuiston rakentamista Ikaalisten kaupungin ja Hämeenkyrön kunnan alueille. Hankealue sijaitsee noin 10 km Ikaalisten keskustasta lounaaseen ja noin 12 km Hämeenkyrön keskustajamasta luoteeseen.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön ja tämä tekninen melumallinnusraportti on valmisteltu Konikallion tuulivoimapuiston ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten.

Mallinnus suoritettiin voimalamallille Siemens-Gamesa SG-170 6,6MW, jonka äänipäästön A-painotetuksi arvoksi L_{WA} on esitetty valmistajan dokumentaatiossa 106,0 dB. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä Konikallion alueella on hankevaihtoehdossa VE1 15 voimalaa sekä hankevaihtoehdossa VE2 11 voimalaa. Äänipäästön varmuusarvona käytetään $K = +2$ dB.

YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvoja ei ylitetä kummassakaan hankevaihtoehdossa. Lähimmissä reseptoripisteissä alitetaan myös 35 dB:n keskiäänitaso L_{Aeq} , vaikka laskennassa on käytetty +2 dB:n varmuusarvoa. Hankevaihtoehdossa VE1 Vatulanharju-Ulvaanharju Natura-alueesta jää 40 dB:n keskiäänitason L_{Aeq} vyöhykkeen sisälle pieni osa alueen keski-osan luonnonsuojelualueesta ja 45 dB:n vyöhyke on Natura-alueen rajalla. Hankevaihtoehdossa VE2 vastaavat arvot Natura-alueella ovat 5 dB alhaisemmat kuin hankevaihtoehdossa VE1.

YM:n ohjeen mukaisen pientaajuisten (20-200Hz) melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoista DL84% sekä DL90% ja äänipäästön varmuusarvosta. Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta, että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus toimenpiderajan alittamiseksi olisi vain noin 6 dB taajuusalueella 100 Hz hankevaihtoehdossa VE1, joka voidaan saavuttaa kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella.

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin teknisillä ratkaisulla. Rakentamisen jälkeisiä



meluvaikutuksia voidaan tarvittaessa seurata mittauksin, joista ohjeistetaan mm. ympäristöministeriön oppaissa YM OH 3-4/2014 sekä Anojanssi -tutkimushankkeen tuloksena syntyneissä korjauskäyrissä.



1 Johdanto

Ilmatar Energy Oy:n hankeyhtiö Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy suunnittelee Konikallion tuulipuiston rakentamista Ikaalisten kaupungin ja Hämeenkyrön kunnan alueille. Hankealue sijaitsee noin 10 km Ikaalisten keskustasta lounaaseen ja noin 12 km Hämeenkyrön keskustajamasta luoteeseen.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Tämä tekninen melumallinnusraportti on valmisteltu Konikallion tuulivoimapuiston ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten. Hankkeen ympäristövaikutusarvioinnissa melua käsitellään omana kappaleenaan, jossa käydään läpi hankkeen meluvaikutukset ihmisiin ja ympäröivään luontoon. Hankkeen melumallinnuksessa tarkastellaan kahden toteutusvaihtoehdon (VE1, VE2) melun leviämistä alueen ympäristöön.

1.1 Ympäristömelu

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

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

Ympäristömelu koostuu ihmisen toiminnan aiheuttamasta melusta, joka vaihtelee ajan ja paikan mukaan. Äänen voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle käytetään referenssipainetta 20 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, häiritsevyyys sekä kiusallisuus. Nämä tekijät



on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen.

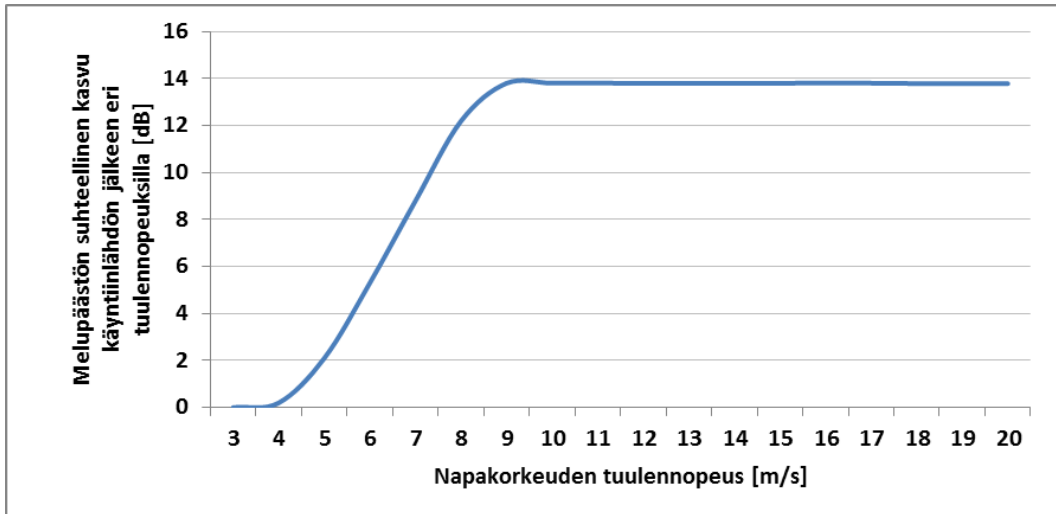
Melun ekvivalenttitaso, minkä symboli on L_{eq} ja A-taajuuspainotettuna L_{Aeq} , tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasoa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso.

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 painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

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

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



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

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

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

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

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan,



tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa ha-
luttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin
vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimala-
mallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaoidituksen, joka
vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–4 dB ja tu-
levaisuudessa vieläkin enemmän jättöreunan serraatioiden (sahalaoidi-
tuksen) tuotekehityksen johdosta (Arce León, C., 2017).

1.3 Vertailuohjeavot

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

Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjeavot, LAeq

Tuulivoimamelun ohjeavot	LAeq päiväajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asu- tus, Hoitolaitokset, Leirintä- alueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalu- eet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

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

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason ohjeavot määritetään A-taa-
juuspainotettuna keskiäänitasona LAeq erikseen yhden vuorokauden
päiväajan ja yöajan osalta. Kyse ei ole hetkellisistä enimmäisäänita-
soista. Kunkin vuorokauden päiväajan 15 tunnin (klo 7–22) keskimää-
räisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun päiväajan ohjeavon
mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin
(klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun
yöajan ohjeavon mukaisena. (Ympäristöministeriö, 2016). Melumallin-
nuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita, vaan melun



leviämislaskennan tulosvertailu tehdään vain yöajan alempaan 40 dB:n ohjearvoon nähden.

1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

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

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

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

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



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

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

2 Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

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

2.1 Digitaalikartta-aineisto

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

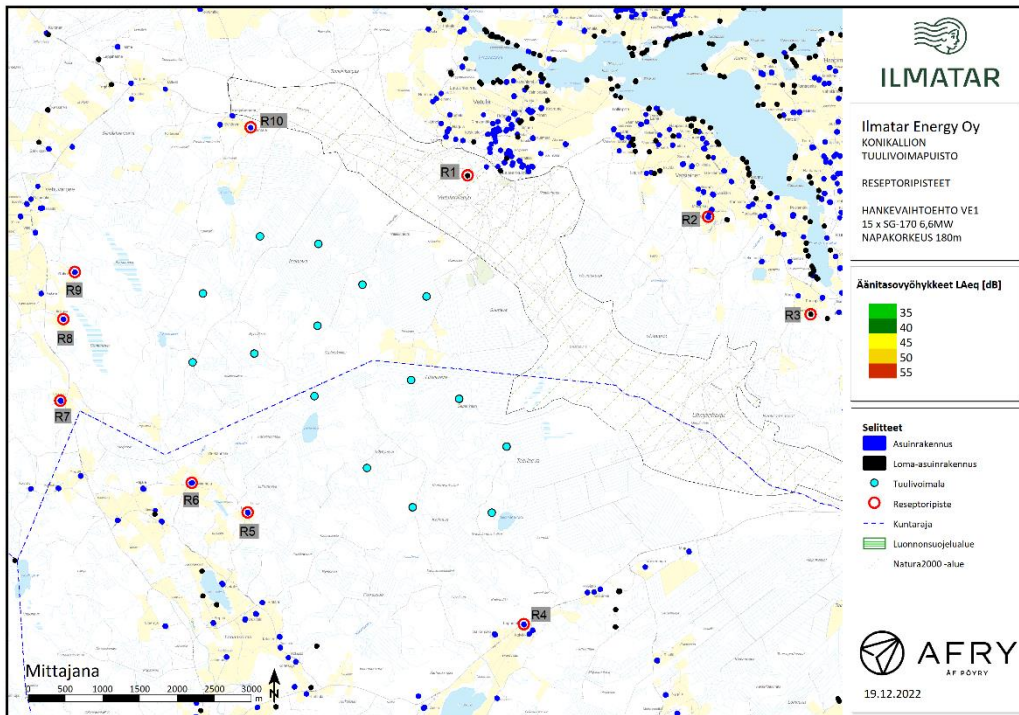
2.2 Mallinnettu tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin voimalamallille Siemens-Gamesa SG-170 6,6MW, jonka äänipäästön A-painotetuksi arvoksi L_{WA} on esitetty valmistajan dokumentaatioissa 106,0 dB. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä Konikallion alueella on hankevaihtoehdossa VE1 15 voimalaa sekä hankevaihtoehdossa VE2 11 voimalaa. Äänipäästön varmuusarvona käytetään $K = +2$ dB Ympäristöministeriön muistion YM9/5511/2016 mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2016). Siten mallinnettu A-taajuuspainotettu äänipäästö kokonaisuudessaan varmuusarvo huomioiden on 108,0 dB.

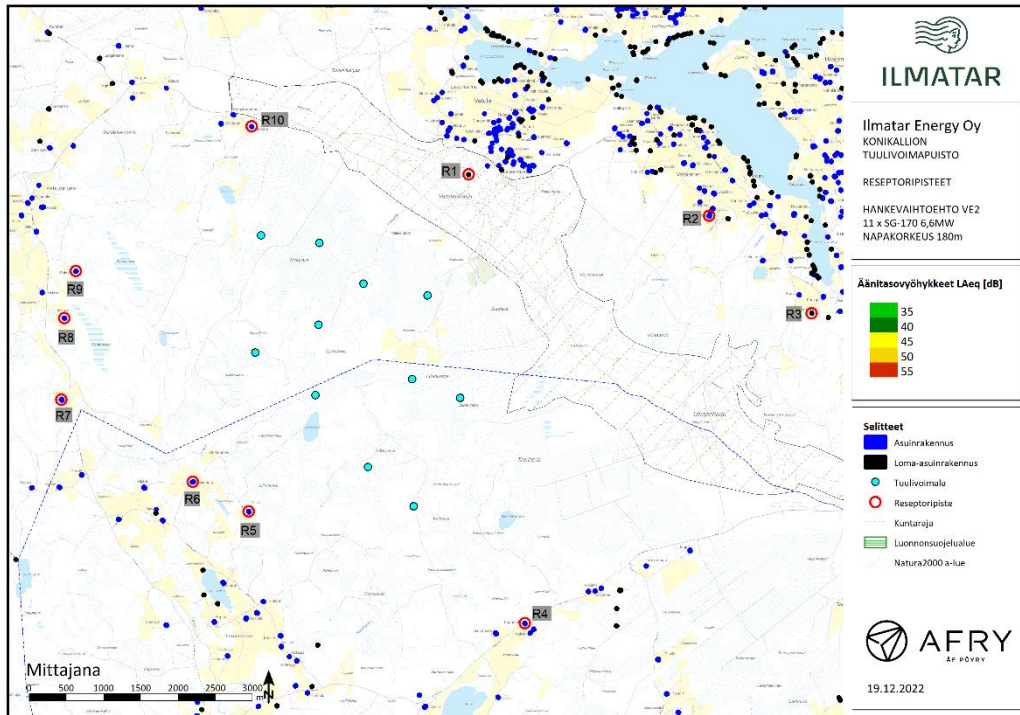
Mallinnetun voimalan napakorkeudeksi on valittu 180 m, joka on kaavan salliman kokonaiskorkeuden 350 m alapuolella, kun siipien kärkiväliksi oletetaan 170m. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty taajuusjakamaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3 Hz – 10 000 Hz.

2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden hankevaihtoehtojen, lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sekä asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



Kuva 2-1. Konikallion tuulivoimaloiden sijainnit hankevaihtoehdossa VE1 ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit



Kuva 2-2. Konikallion tuulivoimaloiden sijainnit hankevaihtoehdossa VE2 ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit

2.4 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v8.2. Mallinnusalgoritmina käytettiin standardia ISO 9613-2, jonka parametrsointi 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 vaimenusvaikutukset. Mallinnus laskee tilanteen aina myötätuuliolosuhteeseen joka ilmansuuntaan.

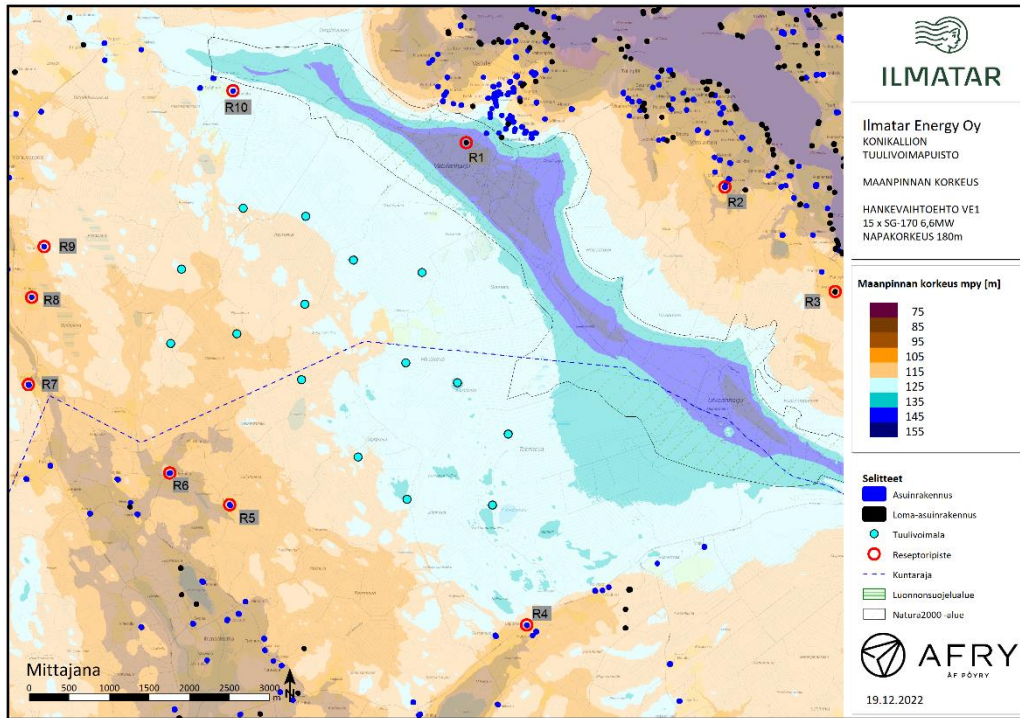
Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioiduilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 4 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.



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

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio $G=0,4$ tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämistä vaimentumista maavaimennuksen johdosta.
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, vaikka tuulivoimala ei käy nimellisteholla kuin osan aikaa.

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



Kuva 2-3. Maaston topografian korkeusvaihtelu Kivikankaan hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.

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

Taulukko 2-1. Melun leviämislaskennan parametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Keskiäänitaso LAeq ulkona: ISO 9613-2. YM OH 2/2014 kpl 4.1 Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84%:n sekä 90%:n persentiilit (Keränen et al., 2017)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto ja maastotietokanta (© MML, 2022), topografian pystyresoluutiona on 0,3 m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta



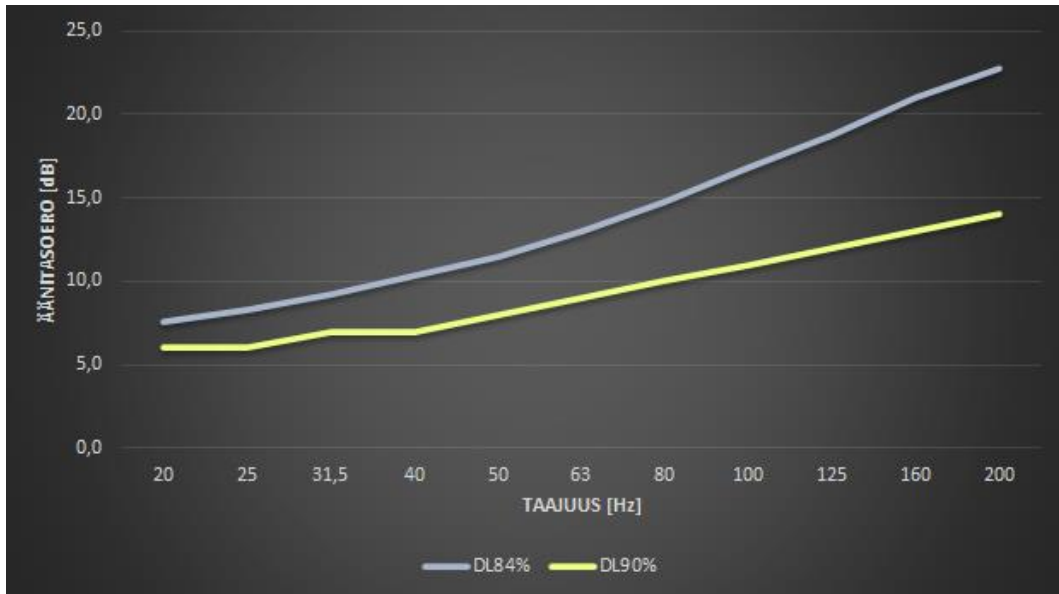
Lähtötieto	Parametrit
	erillisen kolmioverkkolaskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Tuulenoisuus	n.12,4 m/s 180 m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10 m:n referenssikorkeudella maanpinnan karheudella 0,05 m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.2
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 6,3 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Häiritsevyysskorjaukset	ks. luku 4.
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5m) 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)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.5 Pientaajuisten melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu lasketaan erillisenä taulukkolaskentana YM:n ohjeen mukaisilla laskentaparametreilla. Pientaajuisten melun leviämismuuttuminen laskettiin käyttäen voimalan painotamattomia äänipäästön tunnusarvon 1/3 oktaavi-kaistatietoja LW taa-juusvälillä 20-200Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.9)



Pientaajuisen melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017). Pientalojen ilmaäänieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin persenttiarvona DL84% ja DL90%. (Keränen et al., 2017, 2019).



Kuva 2-4. Pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatit DL84% ja DL90% (Keränen et al., 2017, 2019)

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

3 Melumallinnustulokset

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen Konikallion voimaloista on esitetty kappaleessa 3.2 sekä suurempina kuvina liitteissä 4-5. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteissä 2-3.



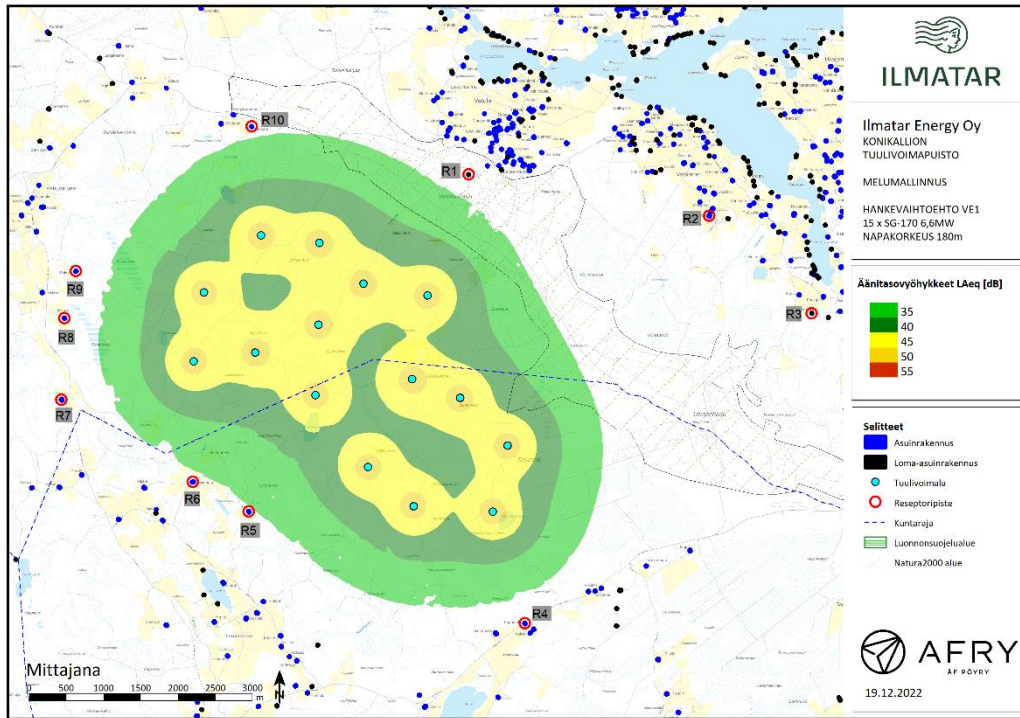
3.1 Melun nykytila

Hankealue on pääosin metsätalouskäytössä ja pieneltä osin maanviljelykäytössä, joten alueella ei ole nykyisellään merkittäviä melulähteitä. Pienimuotoista melua voivat aiheuttaa alueella satunnaisesti tehtävät maa- ja metsätaloustyöt. Myös aluetta ympäröivien teiden liikenteestä voi aiheutua paikallista ja vähäistä meluhaittaa. Lisäksi hankealueen koillispuolelle sijoittuu Vatulan ampumarata, joista voi aiheutua satunnaisista ampumaratamelua ympäristöön. Edellä mainittujen toimintojen aiheuttama melu on luonteeltaan erilaista sekä keskenään että tuuli-voimameluun verrattuna (YVA-ohjelma, 2022).

3.2 Ulkomelumallinnus

3.2.1 Hankevaihtoehto VE1

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Konikallion hankevaihtoehdolle VE1 eli 15 voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että tummanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 meluvyöhykkeet

Taulukko 3-1. Hankevaihtoehdon VE1 melumallinnuksen reseptoripistetulokset

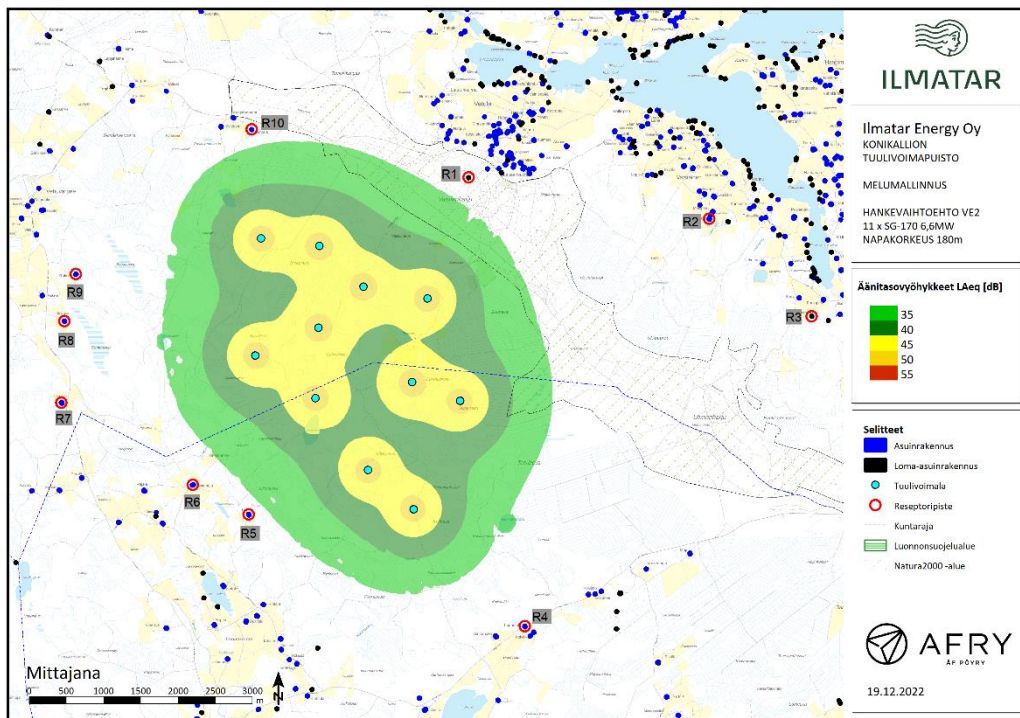
Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	33,1	R6	asuinrakennus	34,3
R2	asuinrakennus	24,2	R7	asuinrakennus	31,1
R3	loma-asuinrakennus	18,8	R8	asuinrakennus	31,6
R4	asuinrakennus	29,1	R9	asuinrakennus	31,2
R5	asuinrakennus	34,6	R10	asuinrakennus	34,0

YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvoja ei ylitetä. Lähimmissä reseptoripisteissä alitetaan myös 35 dB:n keskiäänitaso, vaikka laskennassa on käytetty +2 dB:n varmuusarvoa. Vatulanharju-Ulvaanharju (FI0309001, SAC, 1 089 ha)

Natura-alueesta jää 40 dB:n keskiäänitason LAeq vyöhykkeen sisälle pieni osa alueen keskiosan luonnonsuojelualueesta ja 45 dB:n vyöhyke on Natura-alueen rajalla.

3.2.2 Hankevaihtoehto VE2

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Konikallion hankevaihtoehdolle VE2 eli 11 voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että tummanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 meluvyöhykkeet



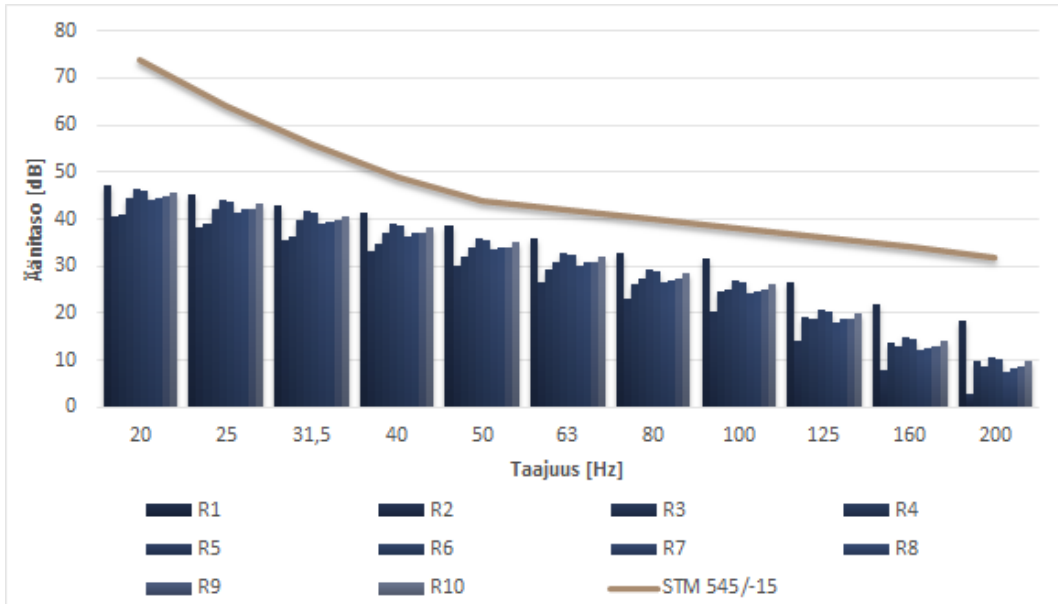
Taulukko 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuksen reseptoripistetulokset

Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	32,8	R6	asuinrakennus	32,3
R2	asuinrakennus	23,0	R7	asuinrakennus	27,4
R3	loma-asuinrakennus	17,0	R8	asuinrakennus	27,1
R4	asuinrakennus	22,7	R9	asuinrakennus	26,9
R5	asuinrakennus	33,7	R10	asuinrakennus	33,3

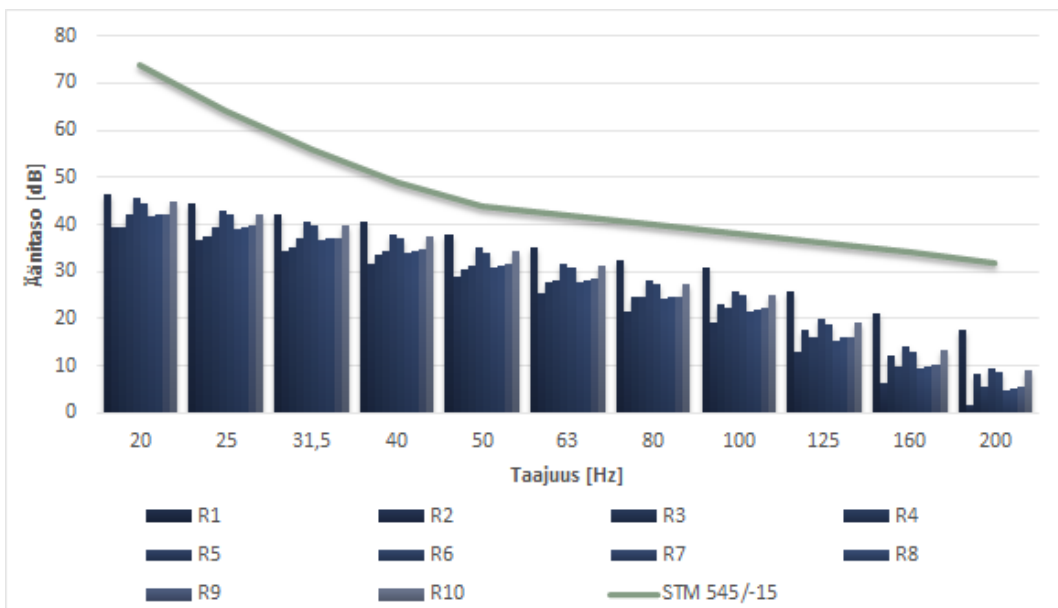
YM:n ohjeen mukaisen melumallinnuksen tulosten perusteella 40 dB:n yöajan ohjearvoja ei ylitetä. Lähimmissä reseptoripisteissä alitetaan myös 35 dB:n keskiäänitaso, vaikka laskennassa on käytetty +2 dB:n varmuusarvoa. Vatulanharju-Ulvaanharju (FI0309001, SAC, 1 089 ha) Natura-alueesta jää 35 dB:n keskiäänitason LAeq vyöhykkeen sisälle pieni osa alueen keskiosan luonnonsuojelualueesta ja 40 dB:n vyöhyke on Natura-alueen rajalla.

3.3 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

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



Kuva 3-3. Pientaajuisen melulaskennan tulokset, hankevaihtoehto VE1



Kuva 3-4. Pientaajuisen melulaskennan tulokset, hankevaihtoehto VE2

YM:n ohjeen mukaisen pientaajuisen (20-200Hz) melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoista DL84% sekä DL90% ja äänipäästön varmuusarvosta. Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta, että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus toimenpiderajan alittamiseksi olisi vain noin 6 dB



taajuusalueella 100 Hz hankevaihtoehdossa VE1, joka voidaan saavuttaa kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella.

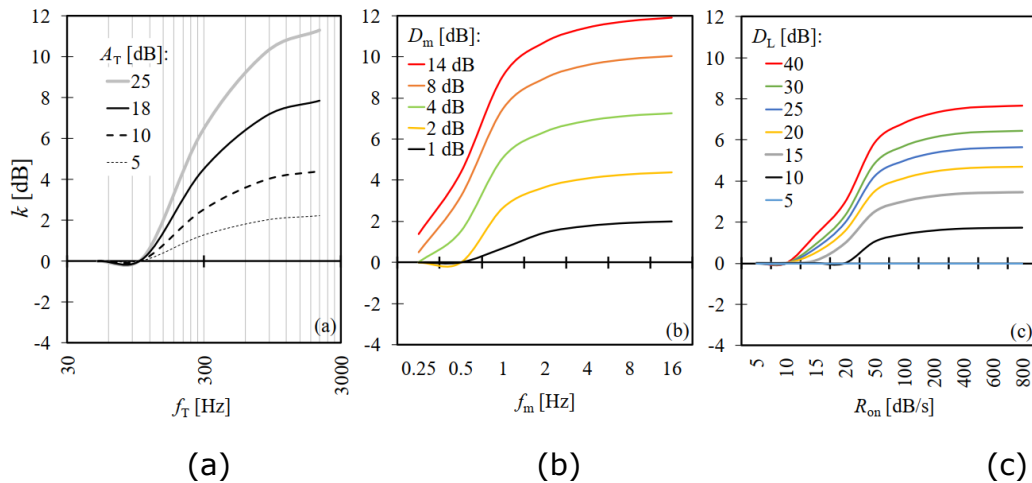
3.4 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättö-reunan sahalaidoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 3–5 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017).

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapa-kulmaa 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 meluoptimointiajo-moodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

4 Vaikutusten seuranta

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



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

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

5 Lähteet

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

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

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

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

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

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

Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöministeriö, Helsinki 2016.



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

Konikallion hankevaihtoehdon VE1 voimaloiden koordinaatit melumallissa.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	285427,00	6845734,00	133,1	180m
2	285624,00	6846620,00	133,2	180m
3	284363,27	6845806,43	129,5	180m
4	284990,08	6847260,24	137,9	180m
5	283751,23	6846331,26	129,7	180m
6	284345,26	6847510,46	129,2	180m
7	283045,6	6847298,3	124,4	180m
8	284549,8	6848637,3	128,7	180m
9	283087,0	6848240,7	126,0	180m
10	282240,5	6847870,3	112,8	180m
11	283097,8	6849339,9	126,4	180m
12	283692,7	6848792,2	135,5	180m
13	281414,2	6847749,7	118,6	180m
14	281551,5	6848676,8	123,8	180m
15	282317,0	6849441,0	124,8	180m

Konikallion hankevaihtoehdon VE2 voimaloiden koordinaatit melumallissa.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	284363,27	6845806,43	129,5	180m
2	284990,08	6847260,24	137,9	180m
3	283751,23	6846331,26	129,7	180m
4	284345,26	6847510,46	129,2	180m
5	283045,6	6847298,3	124,4	180m



6	284549,8	6848637,3	128,7	180m
7	283087,0	6848240,7	126,0	180m
8	282240,5	6847870,3	112,8	180m
9	283097,8	6849339,9	126,4	180m
10	283692,7	6848792,2	135,5	180m
11	282317,0	6849441,0	124,8	180m

Melulaskennan reseptoripisteiden koordinaatit melumallissa

No	x-koordi- naatti	y-koordi- naatti	z-koordi- naatti	Laskentakor- keus
R1	285100,4	6850259,4	183,5	4m
R2	288327,5	6849704,9	106,0	4m
R3	289701,9	6848397,9	112,0	4m
R4	285854,6	6844234,9	113,3	4m
R5	282149,8	6845736,0	109,5	4m
R6	281400,9	6846133,5	107,6	4m
R7	279639,6	6847236,4	115,0	4m
R8	279678,7	6848329,3	112,2	4m
R9	279832,6	6848962,9	118,5	4m
R10	282190,8	6850905,6	128,0	4m



Liite 2. Pientaajuisten melun numeeriset tulokset ulkona

Pientaajuisten melulaskennan tulokset ulkona, VE1 [dB]

Resep-tori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	53,1	51,3	49,8	48,3	46,5	44,7	43,0	42,7	38,6	34,9	32,3
R2	48,3	46,4	44,9	43,4	41,5	39,6	37,7	37,2	32,9	28,8	25,8
R3	46,9	45,0	43,5	42,0	40,1	38,2	36,2	35,6	31,2	26,9	23,8
R4	52,2	50,4	48,9	47,4	45,6	43,8	42,0	41,7	37,6	33,9	31,3
R5	54,2	52,3	50,8	49,4	47,6	45,8	44,0	43,8	39,7	36,1	33,5
R6	53,8	52,0	50,5	49,0	47,2	45,5	43,7	43,4	39,3	35,7	33,1
R7	51,6	49,8	48,2	46,8	45,0	43,2	41,4	41,0	36,9	33,1	30,5
R8	52,2	50,3	48,8	47,3	45,5	43,8	41,9	41,6	37,5	33,8	31,2
R9	52,3	50,5	49,0	47,5	45,7	43,9	42,1	41,8	37,7	34,0	31,4
R10	53,3	51,5	50,0	48,5	46,7	45,0	43,2	42,9	38,8	35,2	32,6

Pientaajuisten melulaskennan tulokset ulkona, VE2 [dB]

Resep-tori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	52,5	50,7	49,1	47,7	45,9	44,1	42,4	42,1	38,0	34,3	31,8
R2	47,0	45,2	43,6	42,1	40,3	38,4	36,5	36,0	31,7	27,6	24,6
R3	45,4	43,5	42,0	40,5	38,6	36,7	34,7	34,1	29,7	25,4	22,3
R4	49,6	47,8	46,3	44,8	43,0	41,2	39,3	39,0	34,8	31,0	28,3
R5	53,1	51,2	49,7	48,3	46,5	44,7	43,0	42,7	38,6	35,0	32,5
R6	52,2	50,3	48,8	47,4	45,6	43,8	42,0	41,7	37,6	34,0	31,4
R7	49,2	47,4	45,9	44,4	42,5	40,7	38,9	38,5	34,3	30,4	27,6
R8	49,6	47,8	46,2	44,8	42,9	41,1	39,3	38,9	34,7	30,9	28,1
R9	49,9	48,0	46,5	45,0	43,2	41,4	39,6	39,2	35,0	31,2	28,5
R10	52,4	50,6	49,1	47,6	45,8	44,1	42,3	42,0	38,0	34,3	31,8



Liite 3. Pientaajuisten melun numeeriset tulokset sisällä

Pientaajuisten melulaskennan tulokset sisällä, VE1 [dB]

Resep-tori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	47,1	45,3	42,8	41,3	38,5	35,7	33,0	31,7	26,6	21,9	18,3
R2	40,7	38,1	35,7	33,1	30,0	26,6	22,9	20,4	14,1	7,8	3,0
R3	40,9	39,0	36,5	35,0	32,1	29,2	26,2	24,6	19,2	13,9	9,8
R4	44,6	42,1	39,7	37,1	34,1	30,8	27,2	24,9	18,8	12,9	8,5
R5	46,6	44,0	41,6	39,1	36,1	32,8	29,2	27,0	20,9	15,1	10,7
R6	46,2	43,7	41,3	38,7	35,7	32,5	28,9	26,6	20,5	14,7	10,3
R7	44,0	41,5	39,0	36,5	33,5	30,2	26,6	24,2	18,1	12,1	7,7
R8	44,6	42,0	39,6	37,0	34,0	30,8	27,1	24,8	18,7	12,8	8,4
R9	44,7	42,2	39,8	37,2	34,2	30,9	27,3	25,0	18,9	13,0	8,6
R10	45,7	43,2	40,8	38,2	35,2	32,0	28,4	26,1	20,0	14,2	9,8

Pientaajuisten melulaskennan tulokset sisällä, VE2 [dB]

Resep-tori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	46,5	44,7	42,1	40,7	37,9	35,1	32,4	31,1	26,0	21,3	17,8
R2	39,4	36,9	34,4	31,8	28,8	25,4	21,7	19,2	12,9	6,6	1,8
R3	39,4	37,5	35,0	33,5	30,6	27,7	24,7	23,1	17,7	12,4	8,3
R4	42,0	39,5	37,1	34,5	31,5	28,2	24,5	22,2	16,0	10,0	5,5
R5	45,5	42,9	40,5	38,0	35,0	31,7	28,2	25,9	19,8	14,0	9,7
R6	44,6	42,0	39,6	37,1	34,1	30,8	27,2	24,9	18,8	13,0	8,6
R7	41,6	39,1	36,7	34,1	31,0	27,7	24,1	21,7	15,5	9,4	4,8
R8	42,0	39,5	37,0	34,5	31,4	28,1	24,5	22,1	15,9	9,9	5,3
R9	42,3	39,7	37,3	34,7	31,7	28,4	24,8	22,4	16,2	10,2	5,7
R10	44,8	42,3	39,9	37,3	34,3	31,1	27,5	25,2	19,2	13,3	9,0



Liite 6. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT		
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101016612-008		
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT		
Mallinnusohjelma: SoundPlan v.8.2 (Braunstein GmbH)	Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2 / YM ohje 2/2014 kpl 4.1	
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)		
Tuulivoimalan valmistaja: Siemens-Gamesa	Nimellisteho: 6,6 MW	
Roottorin halkaisija: 170 m	Napakorkeus: 180 m	
Lukumäärä: VE1: 15 kpl, VE2: 11 kpl	Siipityyppi: Siemens-Gamesa	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB		
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT		
Melupäästötiedot (LWA): 106,0 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, 11/2022	Maanpinnan pystyresoluutio: 0,3 m / laserkeilausaineisto	
Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet		
Vesialueet:	Maa-alueet:	Muut alueet (mitkä?)
0	0.4	Laajat kallioalueet: 0
PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNIERISTYSARVOT		



Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti DL84% asuinrakennuksille (alempi taulukko) sekä DL90% (ylempi taulukko) loma-asuinrakennuksille 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz [dB(L)]										
Taajuus [Hz]										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8
6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14
LASKENTATULOKSET										
Laskentavaihtoehdot 2 kpl										
Laskentakartat: 2 kpl						Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 35 dB, 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB				
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2 kpl						Reseptoripisteet: 10 kpl, R1-R10				
Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)										
Yli 40 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl						Yli 45 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl				
Pientaajuisen melun tulokset: Kaikki tulokset alle asumisterveysasetuksen										