



ABO Wind Oy

Kajaanin Kivikankaan tuulivoimapuiston yhteismelumallinnus – tekninen raportti

101011971-002-Melumallinnus

pvm
07/04/2022
Raporttiversio
Lopullinen
Projektinnumero
101011971-002-Melumallinnus

Asiakas

ABO Wind Oy

Kajaanin Kivikankaan tuulivoimapuiston melumallinnus – tekninen raportti

Sisällys

1	Johdanto	6
1.1	Ympäristömelu	6
1.2	Tuulivoimamelu	6
1.3	Vertailuohjeavot	8
1.4	Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	8
2	Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	9
2.1	Digitaalikärtta-aineisto	9
2.2	Mallinnettu tuulivoimamalli	9
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	10
2.4	Melumallinnuksen laskentaparametrit	13
2.5	Pientaajuuden melun laskenta	16
3	Mallinnustulokset	17
3.1	Nykytila	17
3.2	Ulkomelumallinnus	17
3.2.1	Kivikankaan hanke	17
3.2.2	Yhteismelumallinnus	19
3.3	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	22
3.4	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	24
4	Vaikutusten seuranta	25
5	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa

Liite 2. VE1 pientaajuuden melun numeeriset tulokset

Liite 3. VE2 pientaajuuden melun numeeriset tulokset

Liite 4. VE1 pientaajuuden yhteismelun numeeriset tulokset

Liite 5. VE2 pientaajuuden yhteismelun numeeriset tulokset

Liite 6. Melumallinnuskartta, Kivikangas VE1

Liite 7. Melumallinnuskartta, Kivikangas VE2

Liite 8. Melumallinnuskartta, Yhteismelu VE1

Liite 9. Melumallinnuskartta, Yhteismelu VE2

Liite 10. Koostetaulukko, laskennan parametrit ja laskentatulokset

Kuvat ja taulukot

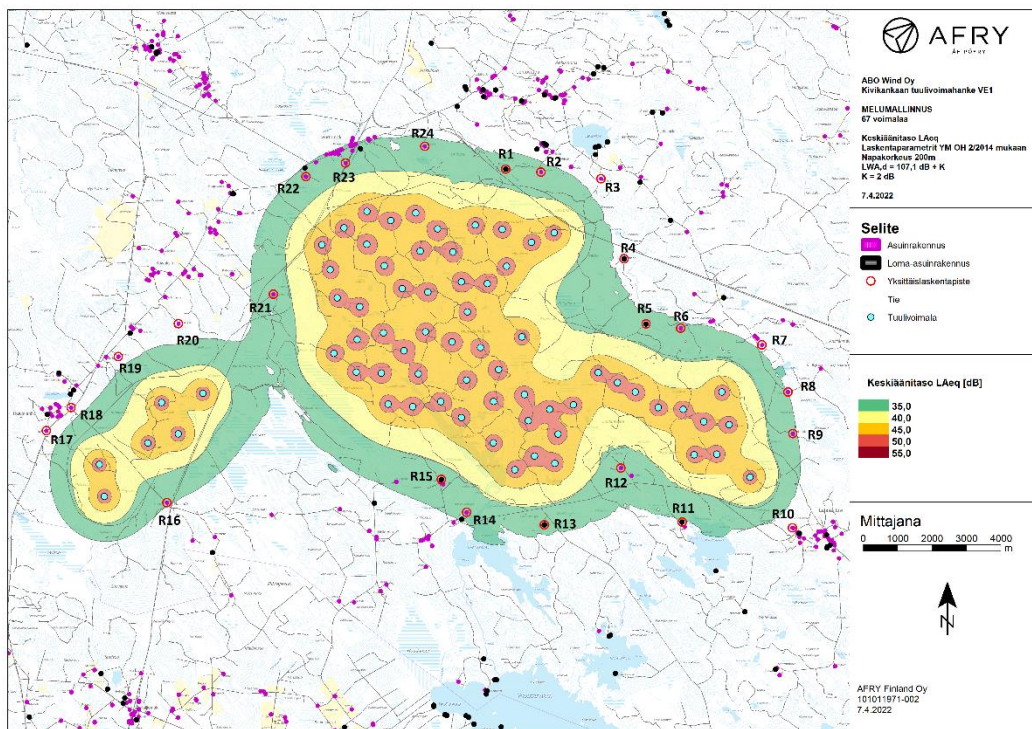
Kuva 1-1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.	7
Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjearvot, LAeq.....	8
Taulukko 1-2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).	8
Taulukko 1-3. Pientaajuisten sisämelun tunnin keskiäänitason Leq, 1 h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07.	9
Kuva 2-1. Geneerisen voimalan taajuusjakauma 1/3 oktaaveittain	10
Kuva 2-2. Kivikankaan tuulivoimaloiden (VE1) ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R24 sijainnit.....	10
Kuva 2-3. Kivikankaan tuulivoimaloiden (VE2) ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R24 sijainnit.....	11
Kuva 2-4. Sivakkalehdon tuulivoimaloiden (VE1) ja lähimpien reseptoripisteiden R5-R11 sijainnit.....	11
Kuva 2-5. Sivakkalehdon tuulivoimaloiden (VE2) ja lähimpien reseptoripisteiden R5-R11 sijainnit.....	12
Kuva 2-6. Katajamäen tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R16-R21 sijainnit	12
Kuva 2-7. Kivikankaan, Sivakkalehdon ja Katajamäen tuulivoimaloiden sijainnit.....	13
Kuva 2-8. Maaston topografian korkeusvaihtelu Kivikankaan hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.	14
Kuva 2-9. Maaston topografian korkeusvaihtelu Sivakkalehdon hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.	15
Kuva 2-10. Maaston topografian korkeusvaihtelu Katajamäen hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.	15
Taulukko 2-1. Laskennan parametrit.....	16
Kuva 3-1. Melumallinnuskartta, Kivikankaan hanke (VE1)	18
Kuva 3-2. Melumallinnuskartta, Kivikankaan (VE2)	18
Kuva 3-3. Yhteismelumallinnuskartta (VE1)	19
Kuva 3-4. Yhteismelumallinnuskartta (VE2)	19
Taulukko 3-1. Melumallinnuksen tulokset (VE1) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R24.	20
Taulukko 3-2. Melumallinnuksen tulokset (VE2) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R24.	20

Taulukko 3-3. Yhteismelumallinnuksen tulokset (VE1) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R24. Sisältää Kivikankaan ja Sivakkalehdon VE1 sekä Katajamäen voimaloiden tiedot.....	21
Taulukko 3-4. Yhteismelumallinnuksen tulokset (VE2) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R24. Sisältää Kivikankaan ja Sivakkalehdon VE2 sekä Katajamäen voimaloiden tiedot.....	21
Kuva 3-5. VE1 pientaajuuden melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R24	23
Kuva 3-6. VE2 pientaajuuden melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R24	23
Kuva 3-7. VE1 pientaajuuden yhteismelun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1- R24	24
Kuva 3-8. VE2 pientaajuuden yhteismelun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1- R24	24
(a) (b) (c)	25
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 DL (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykinän sanktiomenettelyä.	25

Yhteenveto

ABO Wind Oy suunnittelee tuulipuistoa Kajaanin kunnan alueella sijaitsevalle Kivikan-kaan alueelle. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön kahdessa eri hankevaihtoehdoissa: VE1 ja VE2. Melumallinnus on sisältänyt myös yhteismelumallinnuksen Sivakkalehdon sekä Fortum Power and Heat Oy:n suunnitteleman Katajamäen tuulivoimapuistojen kanssa. Raportti on valmisteltu ympäristövaikutusarviointia sekä osayleiskaavan laadintaa varten. Vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja. Mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan molemmilla hankevaihtoehdoilla lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Ulkomelutasot eivät myöskään ylity, kun laskennassa huomioidaan Sivakkalehdon VE1 ja VE2 hankevaihtoehtojen sekä Katajamäen alueen voimat.



Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Suurin ilmääänieristävyyden vaatimus olisi noin 7 dB äänen taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty suomalaisten pientalojen mukaisia ilmääänieristävyyden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittaushankkeen tuloksista.

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

1 Johdanto

ABO Wind Oy suunnittelee yhdessä Metsähallituksen kanssa tuulivoimapuistoa Kajaanin kunnan Kivikankaan alueelle, lähelle Sonkajärven kunnanrajaa. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Tekninen melumallinnusraportti on valmisteltu Kivikankaan tuulivoimapuiston Kajaanin kunnan ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten. Hankkeen ympäristövaikutusarviointissa melua käsitellään omana kappaleenaan, jossa käydään läpi hankkeen meluvaikutukset ihmisiin ja ympäröivään luontoon.

Hankkeen melumallinnuksessa tarkastellaan kahden toteutusvaihtoehdon (VE1, VE2) sekä lisäksi hankkeen yhteismelun leviämistä yhdessä Sivakkalehdon sekä Fortum Power and Heat Oy:n suunnitteleman Katajamäen tuulivoimapuistojen kanssa.

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 äänenenerotuskyvyllä on suuri merkitys. Melua voidaan mitata sen fysikaalisten ominaisuuksien perusteella.

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

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

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

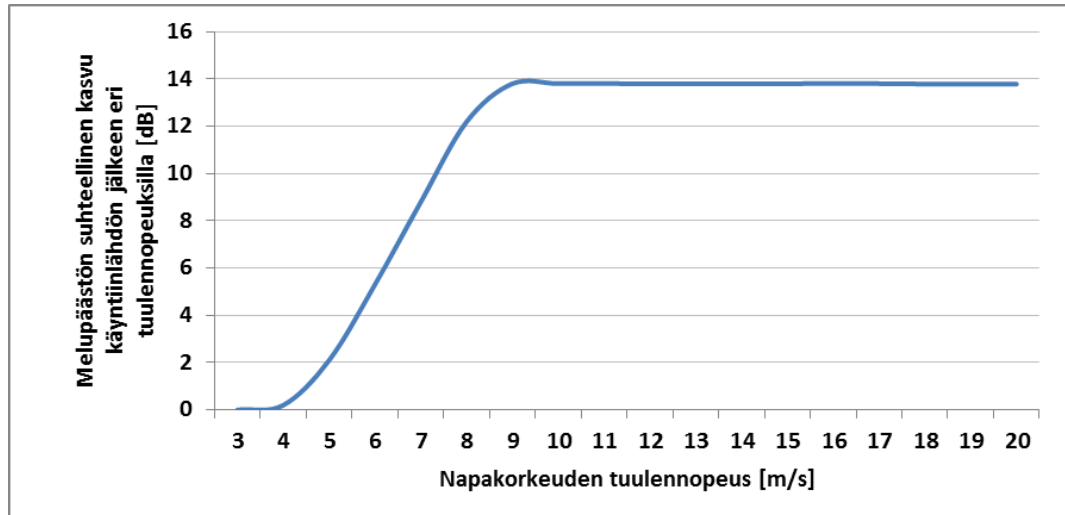
1.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten 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 kokonaisäänienenergiasta 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 etupuolessa 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 käyntilähtönopeutta, lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (ks. kuva 1).



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

Äänipäästön L_{WA} huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan (ks. kuva 1).

Taustamelu esim. liikennemelu ja teollisuismelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäännet 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 kokemuseräisesti 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 lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaudoituksen, joka vähentää melupäästöä

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

1.3 Vertailuohjearvot

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

Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjearvot, LAeq

Tuulivoimamelun ohjearvot	LAeq päiväajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, 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 saatua 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 pientaajuisen melulle taajuusvälillä 20–200Hz.

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

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

asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB	-
---	-------	---

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

Taulukko 1-3. Pientaajuisten sisämelun tunnin keskiäänitason L_{eq} , 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
L_{eq} , 1 h	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

2 Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

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

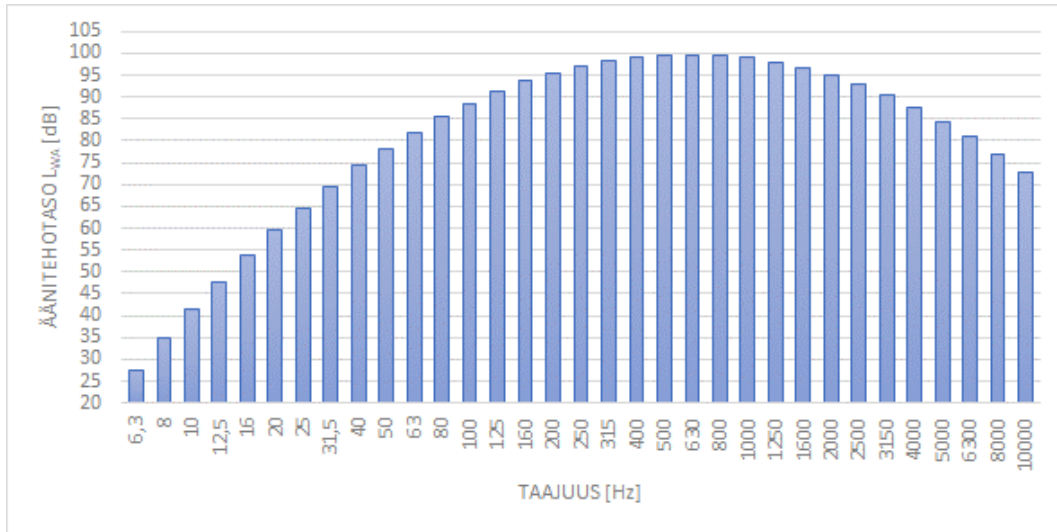
2.1 Digitaalikartta-aineisto

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

2.2 Mallinnettu tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin yhdelle geneeriselle 10,0 MW:n voimalamallille, jonka äänipäästön arvoksi L_{WA} on oletettu 107,1 dB. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä Kivikankaan alueella on VE1 67 voimalaa sekä VE2 45 voimalaa. Lisäksi Sivakkalehdon alueelle on suunniteltu VE1 54 voimalaa ja VE2 39 voimalaa. Katajamäen alueelle on suunniteltu 51 voimalaa. Koska voimalamallia ei ole IECRE:n listauksen perusteella vielä sertifioitu, käytetään äänipäästön varmuusarvona $K = +2$ dB Ympäristöministeriön muistion YM9/5511/2016 mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2016). Siten mallinnettu A-taajuuspainotettu äänipäästö kokonaisuudessaan varmuusarvo huomioiden on 109,1 dB.

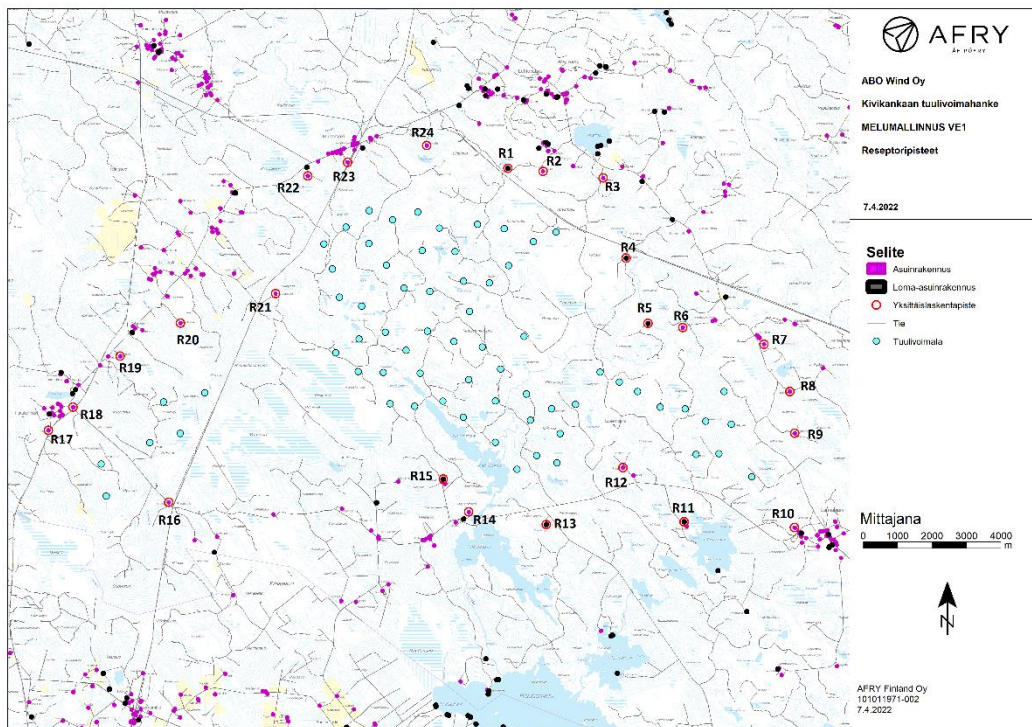
Mallinnetun voimalan napakorkeudeksi on valittu 200 m, joka on kaavan salliman kokonaiskorkeuden 300 m ylärajalla, kun siipien kärkiväliksi oletetaan 200m. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty taajuusjakaumaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3 Hz – 10 000 Hz.



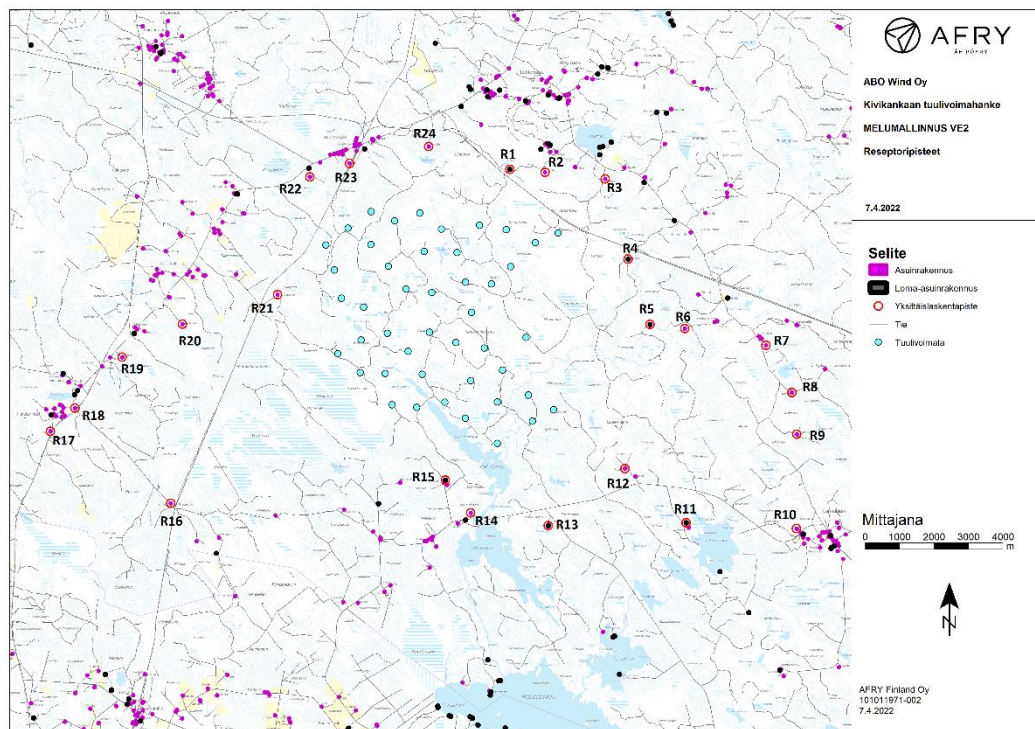
Kuva 2-1. Geneerisen voimalan taajuusjakauma 1/3 oktaaveittain

2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

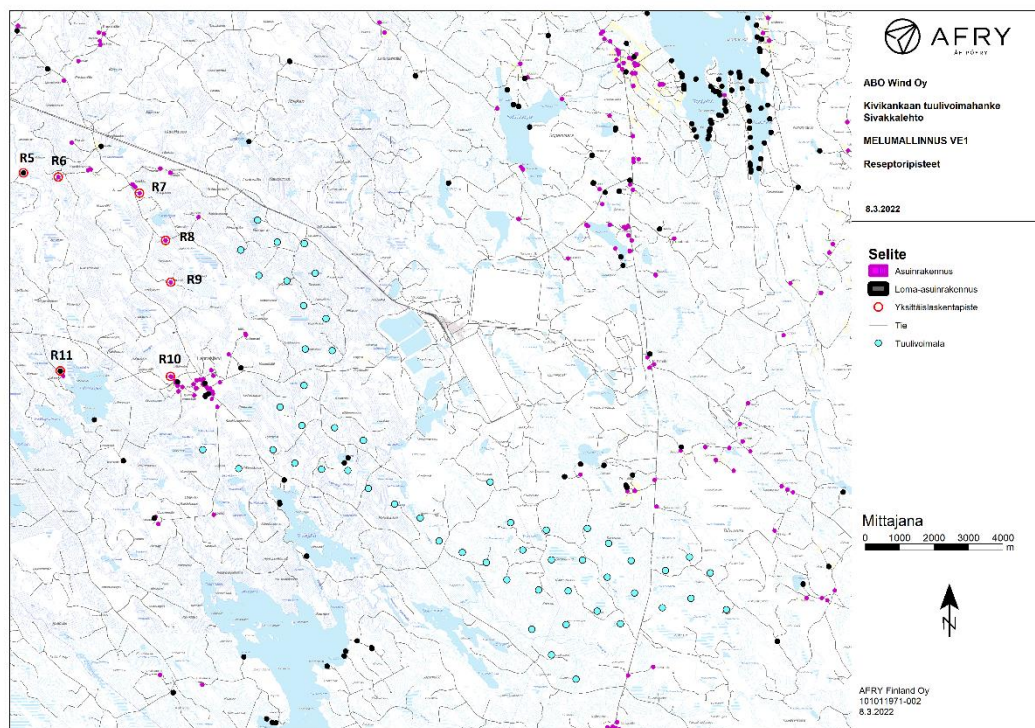
Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden R1-R24 sekä asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



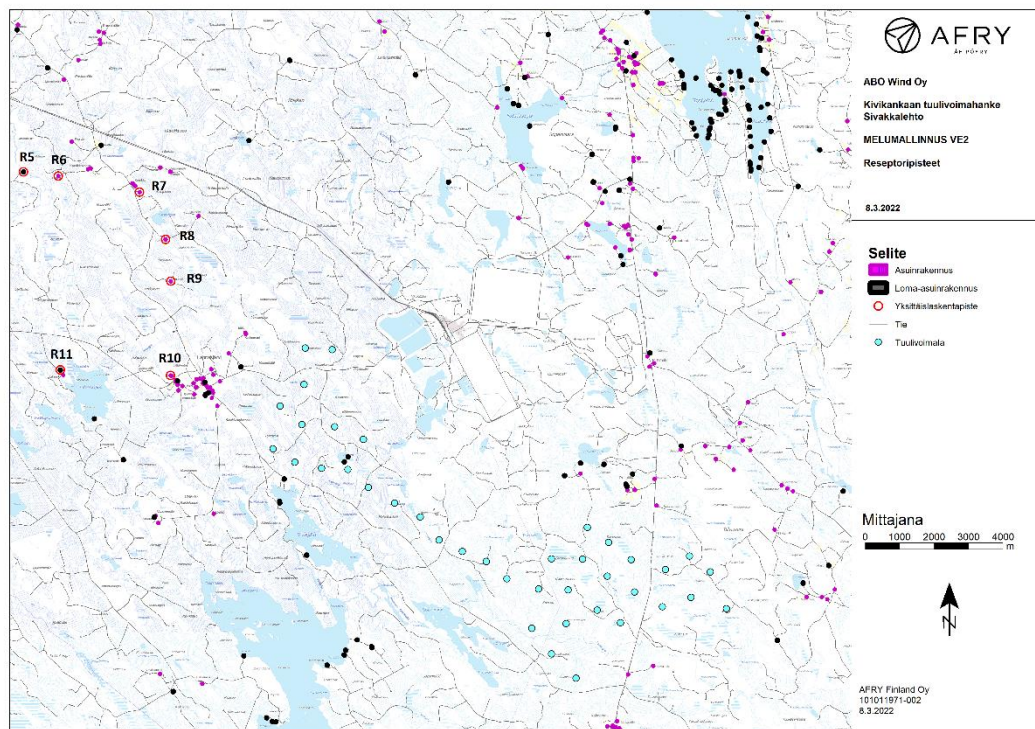
Kuva 2-2. Kivikankaan tuulivoimaloiden (VE1) ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R24 sijainnit



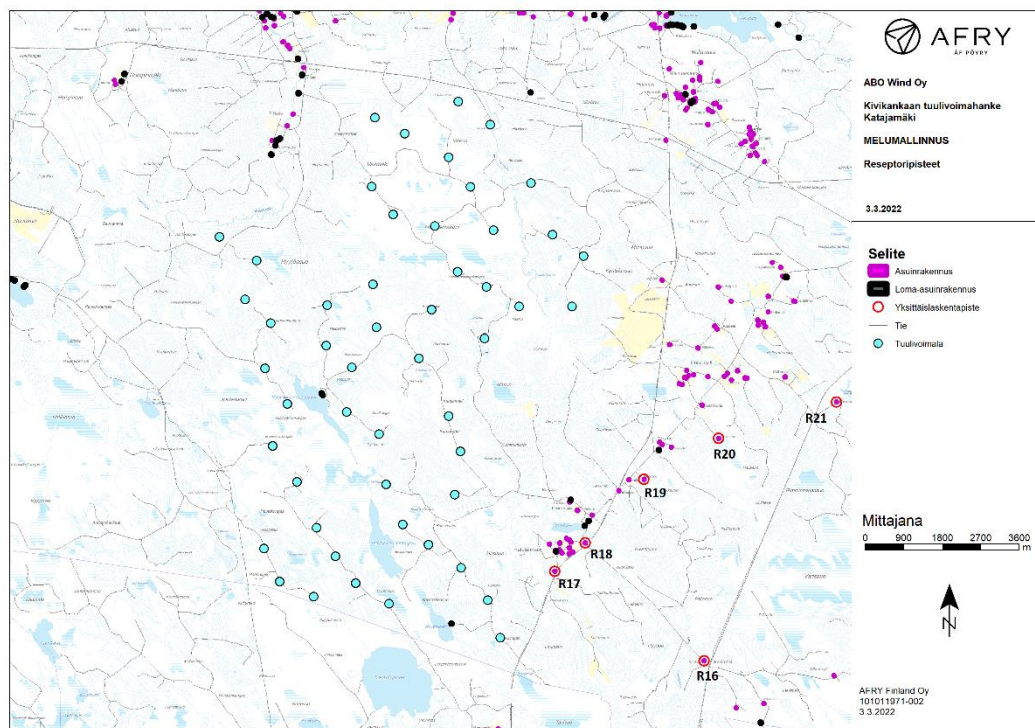
Kuva 2-3. Kivikankaan tuulivoimaloiden (VE2) ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R24 sijainnit



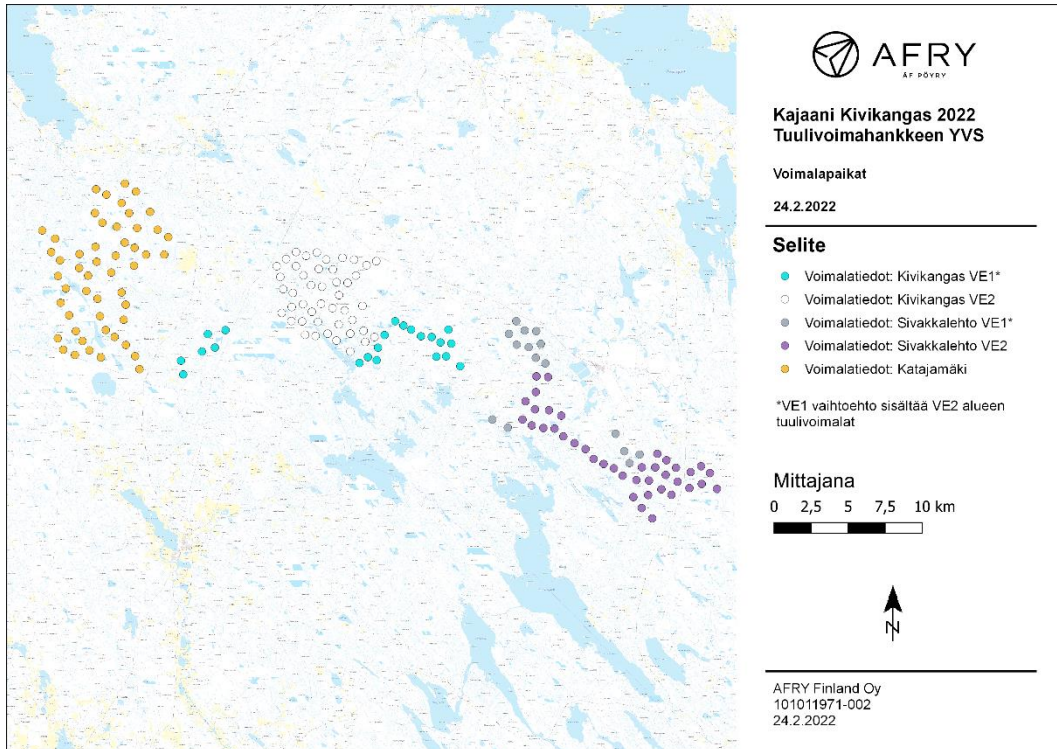
Kuva 2-4. Sivakkalehdon tuulivoimaloiden (VE1) ja lähimpien reseptoripisteiden R5-R11 sijainnit



Kuva 2-5. Sivakkalehdon tuulivoimaloiden (VE2) ja lähimpien reseptoripisteiden R5-R11 sijainnit



Kuva 2-6. Katajamäen tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R16-R21 sijainnit



Kuva 2-7. Kivikankaan, Sivakkalehdon ja Katajamäen tuulivoimaloiden sijainnit

2.4 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulas-kentaohjelmistoa SoundPlan v8.2. Mallinnusalgorithmia käytettiin standardia ISO 9613-2, jonka parametrisointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

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

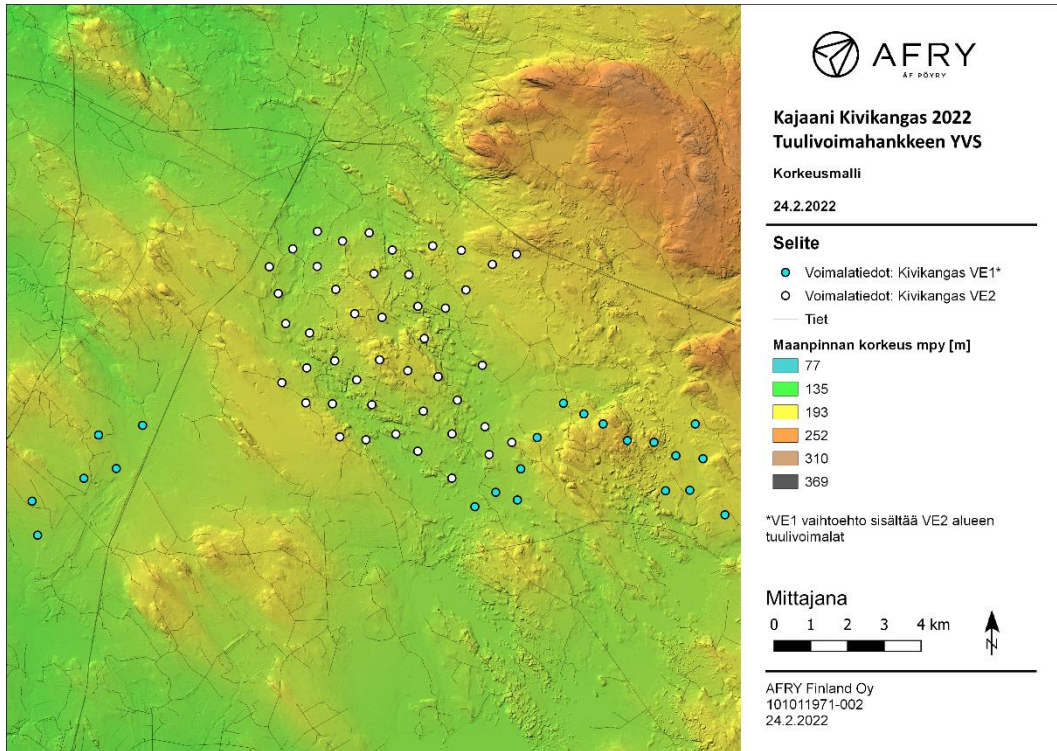
Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 4 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

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

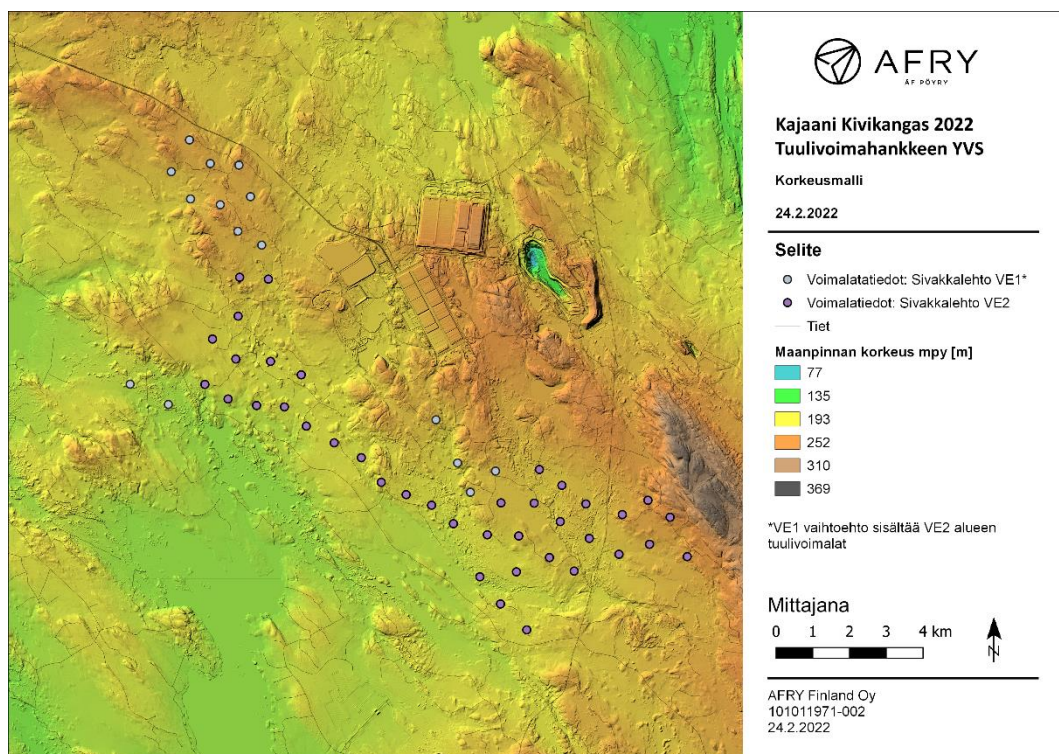
1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio $G=0,4$ tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämisvaimentumista.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa LWA/LWA,d joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisätyn äänipäästöarvon varmuusarvolla K. Tieliikennemelussa se on vuotuinen keskivuo-rokausiliikenne KVL ilman epävarmuuksia. Teollisuusmelussa voidaan

hyödyntää äänipäästöissä mm. laitteiden toiminta-aikojen aikakorjauksia, joita ei tuulivoimamelulaskennassa voi hyödyntää.

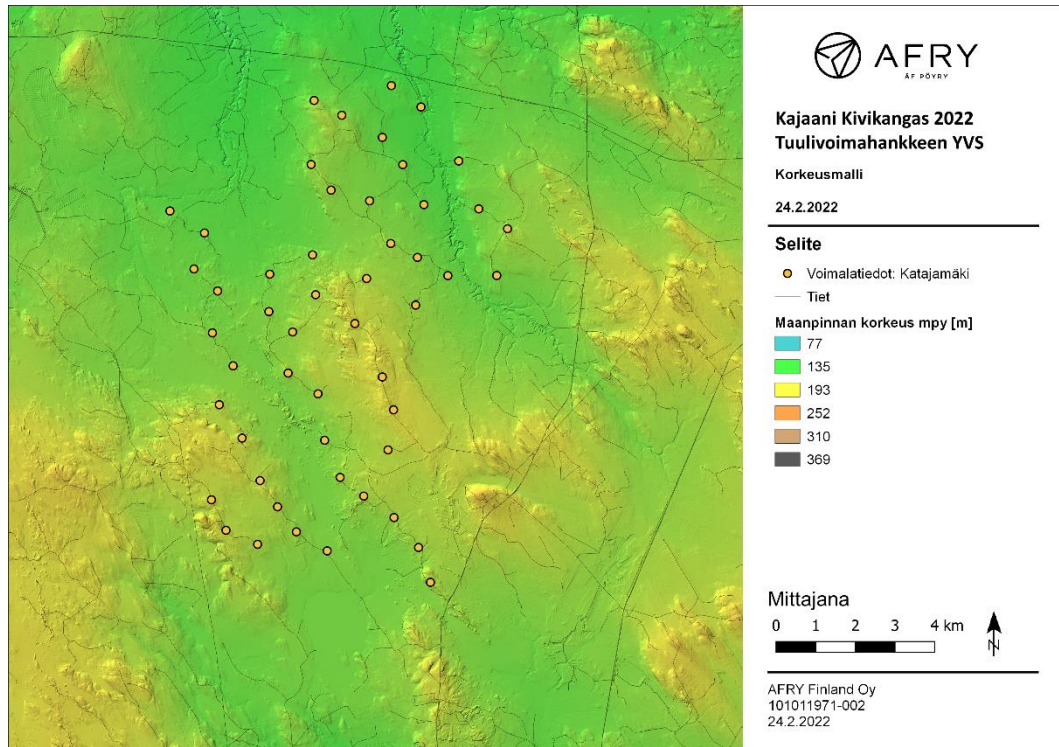
Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja altistuvan kohteen maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta reseptoripisteeseen päin laskevasti katsotaan sellaiseksi, että sillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin (+2 dB lisäys äänipäästöön LWA). Tässä tapauksessa lisäystä ei tehdä,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



Kuva 2-8. Maaston topografian korkeusvaihtelu Kivikankaan hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.



Kuva 2-9. Maaston topografian korkeusvaihtelu Sivakkalehdon hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2 m.



Kuva 2-10. Maaston topografian korkeusvaihtelu Katajamäen 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. Laskennan 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 erillisen kolmioverkko-laskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Tuulennopeus	n.12,5 m/s 200 m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10 m:n referenssikorkeudella maanpinnan karheudella 0,05 m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.2
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 6,3 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Häiritsevyyskorjaukset	ks. luku 4.
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisitoista kertaa viidentoista metrin (15x15m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4 m) korkeudella seuraten digitaalikartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5 sekä 4.1.9)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.5 Pientaajuisen melun laskenta

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

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

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

3 Mallinnustulokset

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen Kivikankaan, Sivakkalehdon sekä Katajamäen alueen voimaloista on esitetty kappaleessa 3.2 sekä suurempina kuvina liitteissä 6-9. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteissä 2-5.

3.1 Nykytila

Hankealue on metsätalouskäytössä ja sen ympäristö on harvaan asuttua. Itse hankealueella ei ole asuin- tai lomarakennuksia. Maastotietokantaan lomarakennukseksi merkitty rakennus on grillikatos ja hankealueen rajalle osoitettu asuinrakennus on ränsistymisen vuoksi hylätty Maanmittauslaitoksen kiinteistöpalvelujen tietojen mukaan. YVA-selostusvaiheessa rakennuskannan lupatilanne tarkistetaan ja ajantasaistetaan Kajaanin kaupungilta.

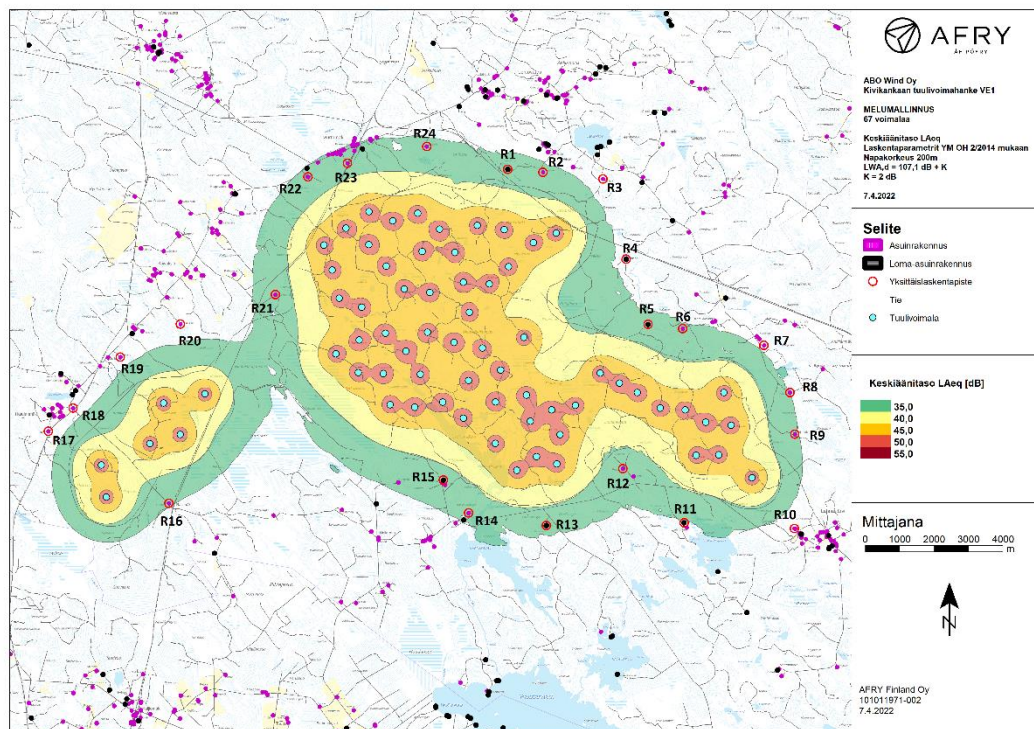
Lähin vakituinen asuinrakennus sijaitsee noin 1,8 km etäisyydellä alustavista voimalapaikoista molemmissa tarkasteltavissa vaihtoehdoissa. Lähin lomarakennus sijaitsee noin 1,8 km etäisyydellä alustavista voimalapaikasta hankealueen eteläpuolella Parsilammen rannalla molemmissa vaihtoehdoissa.

Hankealue on kokonaisuudessaan metsätalouskäytössä, joten alueella ei ole nykyisellään merkittäviä melulähteitä. Pienimuotoista melua voivat aiheuttaa alueella satunnaisesti tehtävät metsätyöt. Hankealueen ympärillä on muutamia tuotannossa olevia turvesoita, joiden tuotannosta voi kesäisin aiheutua paikallista meluhaittaa. Myös aluetta ympäröivien teiden liikenteestä voi aiheutua paikallista ja vähäistä meluhaittaa. Lisäksi hankealueen eteläpuolelle sijoittuvat Salapuron ja Lahnasjärven ampumaradat, joista voi aiheutua satunnaista melua ympäristöön. Edellä mainittujen toimintojen aiheuttama melu on luonteeltaan erilaista sekä keskenään että tuulivoimameluun verrattuna.

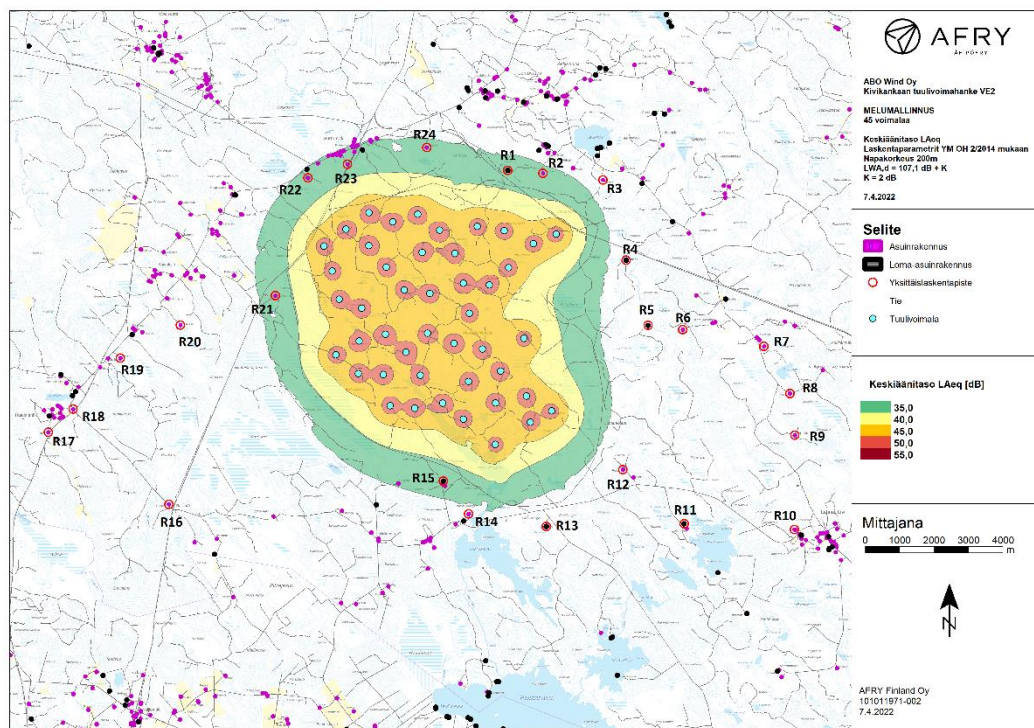
3.2 Ulkomelumallinnus

3.2.1 Kivikankaan hanke

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevissa kuvissa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Kivikankaan alueen 67 (VE1) sekä 45 (VE2) voimalalle sekä kappaleessa 3.2.2 yhteismelun leviämiskartat Kivikankaan, Sivakkalehdon sekä Katajamäen alueen 172 (VE1) ja 135 (VE2) voimaloille. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 40 dB:n tasoa.

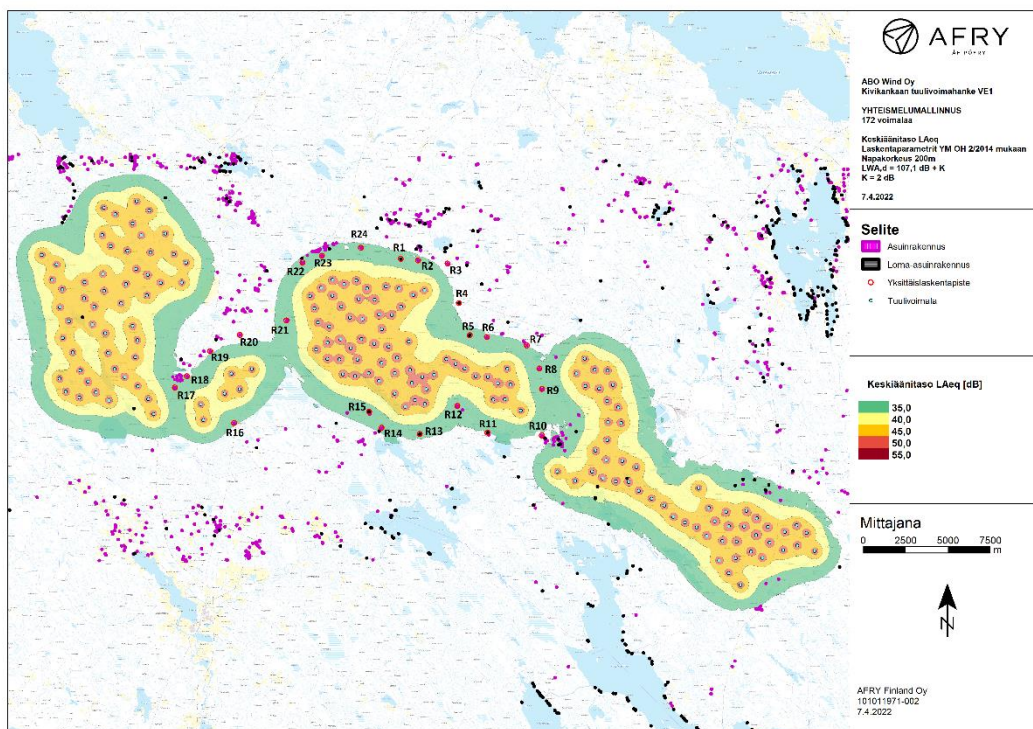


Kuva 3-1. Melumallinnuskartta, Kivikankaan hanke (VE1)

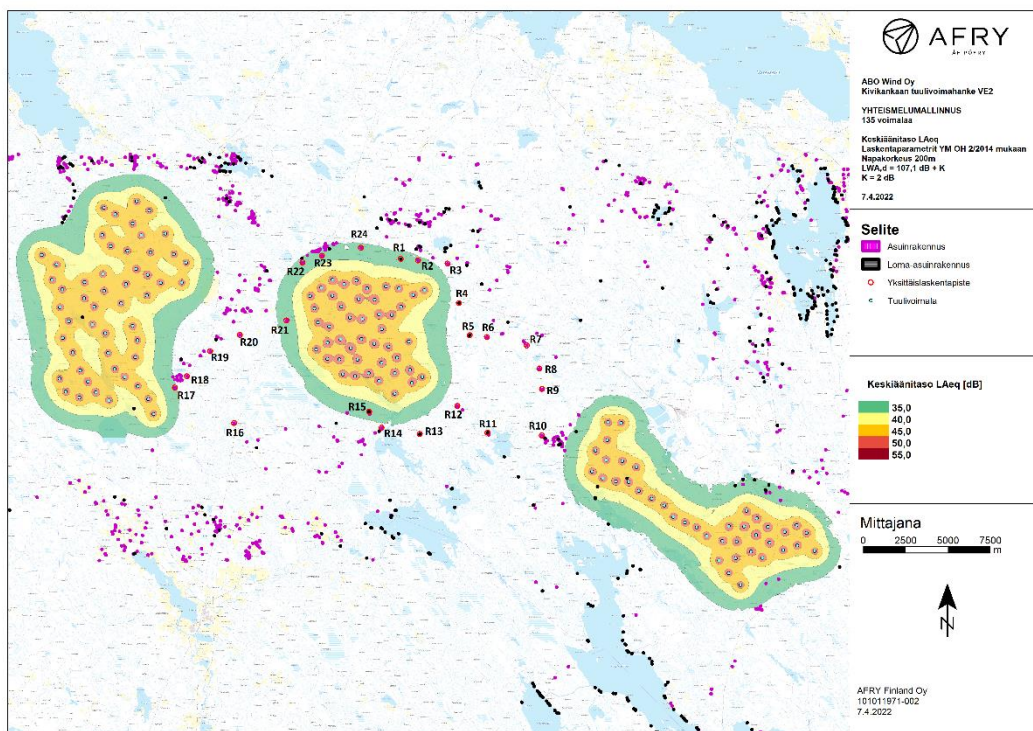


Kuva 3-2. Melumallinnuskartta, Kivikankaan (VE2)

3.2.2 Yhteismelumallinnus



Kuva 3-3. Yhteismelumallinnuskartta (VE1)



Kuva 3-4. Yhteismelumallinnuskartta (VE2)

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti missään laskennassa. Reseptoripistelaskennan

perusteella (ks. taulukot 3-1 – 3-4), suurin keskiäänitason LAeq tulos VE1 laskennan mukaan reseptoripisteessä R12, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty loma-asuinrakennus, on 38,5 dB, joka alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona. VE2 laskennassa suurin keskiäänitason LAeq tulos reseptoripisteessä R21 ja R23, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus, on asuinrakennus, on 37,4 dB, joka alittaa myös yöajan alimman ohjearvon ulkona.

Yhteismelulaskennassa suurin keskiäänitason LAeq tulos VE1 laskennan mukaan reseptoripisteessä R12, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus, on 38,6 dB. Yhteismelunlaskennassa VE2 laskennan mukaan suurin keskiäänitason LAeq tulos ovat reseptoripisteissä R21 ja R23, on 37,5 dB. Myös yhteismelunlaskennassa VE1 ja VE2 laskentojen mukaan suurimmat keskiäänitason LAeq tulokset reseptoripisteissä alittavat yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona.

Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta Kivikankaan hankkeessa sekä yhteismelumallinnuksissa.

Taulukko 3-1. Melumallinnuksen tulokset (VE1) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R24.

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	36,9	R13	loma-asuinrakennus	36,7
R2	asuinrakennus	36,3	R14	asuinrakennus	36,3
R3	asuinrakennus	33,1	R15	loma-asuinrakennus	38,2
R4	loma-asuinrakennus	34,4	R16	asuinrakennus	35,4
R5	loma-asuinrakennus	36,8	R17	asuinrakennus	32,3
R6	asuinrakennus	35,9	R18	asuinrakennus	33,4
R7	asuinrakennus	34,2	R19	asuinrakennus	33,4
R8	asuinrakennus	35,0	R20	asuinrakennus	32,7
R9	asuinrakennus	35,7	R21	asuinrakennus	37,6
R10	asuinrakennus	31,6	R22	asuinrakennus	36,3
R11	loma-asuinrakennus	35,0	R23	asuinrakennus	37,5
R12	asuinrakennus	38,5	R24	asuinrakennus	36,2

Taulukko 3-2. Melumallinnuksen tulokset (VE2) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R24.

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	36,8	R13	loma-asuinrakennus	31,4
R2	asuinrakennus	36,2	R14	asuinrakennus	34,0
R3	asuinrakennus	32,7	R15	loma-asuinrakennus	37,3

Reseptoripiste			Tulokset	Reseptoripiste			Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyt- tötarkoitus		Keskiääni- taso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyt- tötarkoitus		Keskiääni- taso LAeq
R4	loma-asuinrakennus		33,1	R16	asuinrakennus		20,9
R5	loma-asuinrakennus		29,9	R17	asuinrakennus		11,8
R6	asuinrakennus		27,0	R18	asuinrakennus		19,3
R7	asuinrakennus		21,8	R19	asuinrakennus		23,5
R8	asuinrakennus		20,2	R20	asuinrakennus		26,9
R9	asuinrakennus		17,6	R21	asuinrakennus		37,4
R10	asuinrakennus		15,5	R22	asuinrakennus		36,3
R11	loma-asuinrakennus		24,3	R23	asuinrakennus		37,4
R12	asuinrakennus		30,6	R24	asuinrakennus		36,1

Taulukko 3-3. Yhteismelumallinnuksen tulokset (VE1) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R24. Sisältää Kivikankaan ja Sivakkalehdon VE1 sekä Katajamäen voimaloiden tiedot.

Reseptoripiste			Tulokset	Reseptoripiste			Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyt- tötarkoitus		Keskiääni- taso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyt- tötarkoitus		Keskiääni- taso LAeq
R1	loma-asuinrakennus		36,9	R13	loma-asuinrakennus		36,7
R2	asuinrakennus		36,3	R14	asuinrakennus		36,3
R3	asuinrakennus		33,1	R15	loma-asuinrakennus		38,2
R4	loma-asuinrakennus		34,4	R16	asuinrakennus		35,7
R5	loma-asuinrakennus		36,9	R17	asuinrakennus		37,2
R6	asuinrakennus		36,0	R18	asuinrakennus		35,0
R7	asuinrakennus		35,1	R19	asuinrakennus		34,6
R8	asuinrakennus		36,9	R20	asuinrakennus		33,5
R9	asuinrakennus		37,5	R21	asuinrakennus		37,7
R10	asuinrakennus		34,9	R22	asuinrakennus		36,4
R11	loma-asuinrakennus		35,3	R23	asuinrakennus		37,5
R12	asuinrakennus		38,6	R24	asuinrakennus		36,2

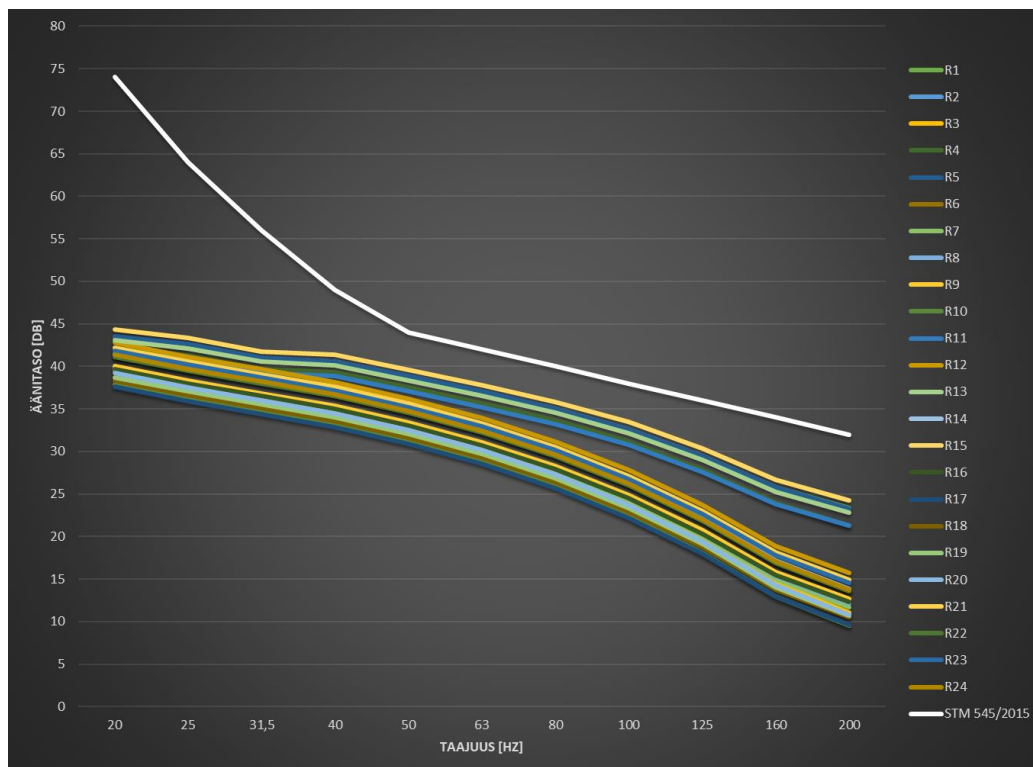
Taulukko 3-4. Yhteismelumallinnuksen tulokset (VE2) lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R24. Sisältää Kivikankaan ja Sivakkalehdon VE2 sekä Katajamäen voimaloiden tiedot.

Reseptoripiste			Tulokset	Reseptoripiste			Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyt- tötarkoitus		Keskiääni- taso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyt- tötarkoitus		Keskiääni- taso LAeq
R1	loma-asuinrakennus		36,8	R13	loma-asuinrakennus		31,4

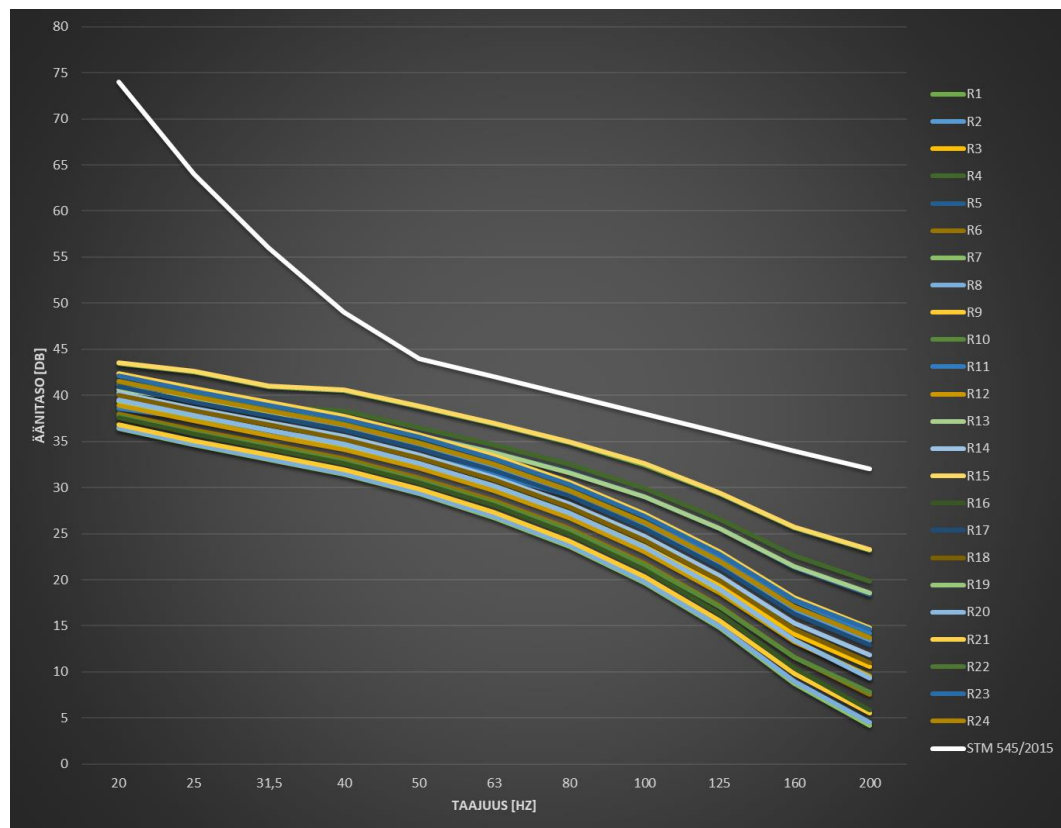
Reseptoripiste			Tulokset	Reseptoripiste			Tulokset
Nimi	Rakennuksen käytötarkoitus		Keskiääni-taso LAeq	Nimi	Rakennuksen käytötarkoitus		Keskiääni-taso LAeq
R2	asuinrakennus		36,2	R14	asuinrakennus		34
R3	asuinrakennus		32,7	R15	loma-asuinrakennus		37,3
R4	loma-asuinrakennus		33,1	R16	asuinrakennus		25,3
R5	loma-asuinrakennus		29,9	R17	asuinrakennus		35,5
R6	asuinrakennus		27,1	R18	asuinrakennus		30,4
R7	asuinrakennus		23,7	R19	asuinrakennus		29,6
R8	asuinrakennus		24,5	R20	asuinrakennus		29,5
R9	asuinrakennus		25,7	R21	asuinrakennus		37,5
R10	asuinrakennus		28,7	R22	asuinrakennus		36,4
R11	loma-asuinrakennus		25,9	R23	asuinrakennus		37,5
R12	asuinrakennus		30,7	R24	asuinrakennus		36,1

3.3 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

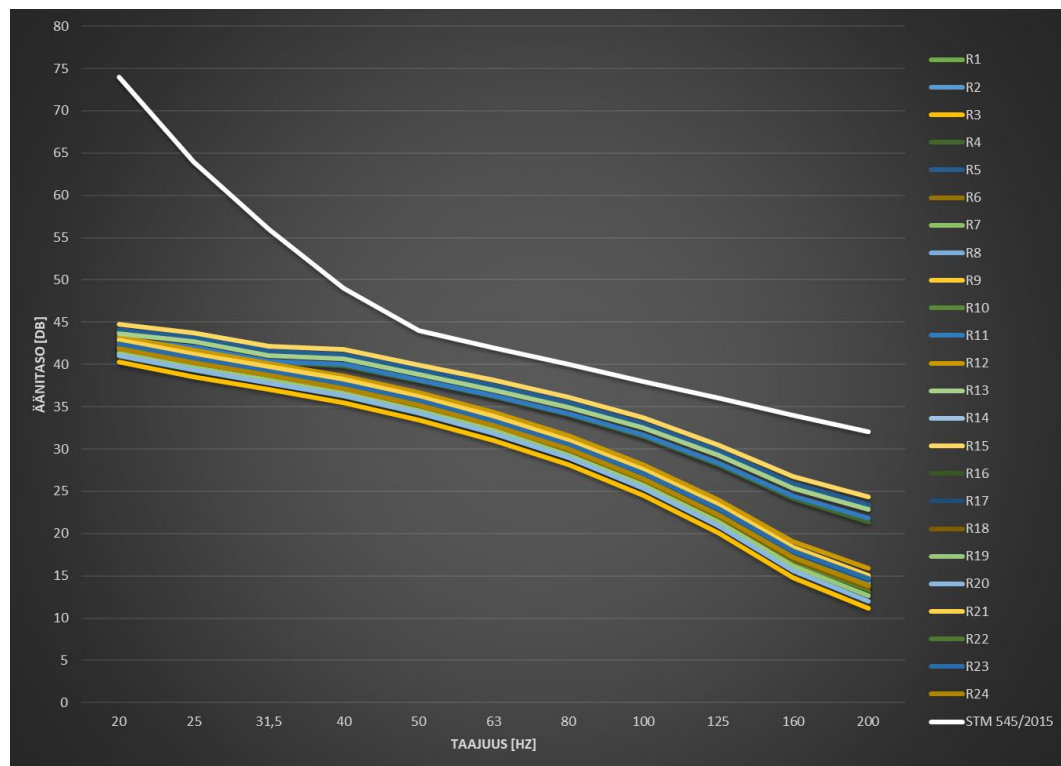
Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuuksuvälillä 20-200Hz. Laskenta suoritettiin YM ohjeen laskentaohjeen mukaisesti käyttäen suomalaistutkimuksen antamia pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron estimaattiarvoja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



Kuva 3-5. VE1 pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R24

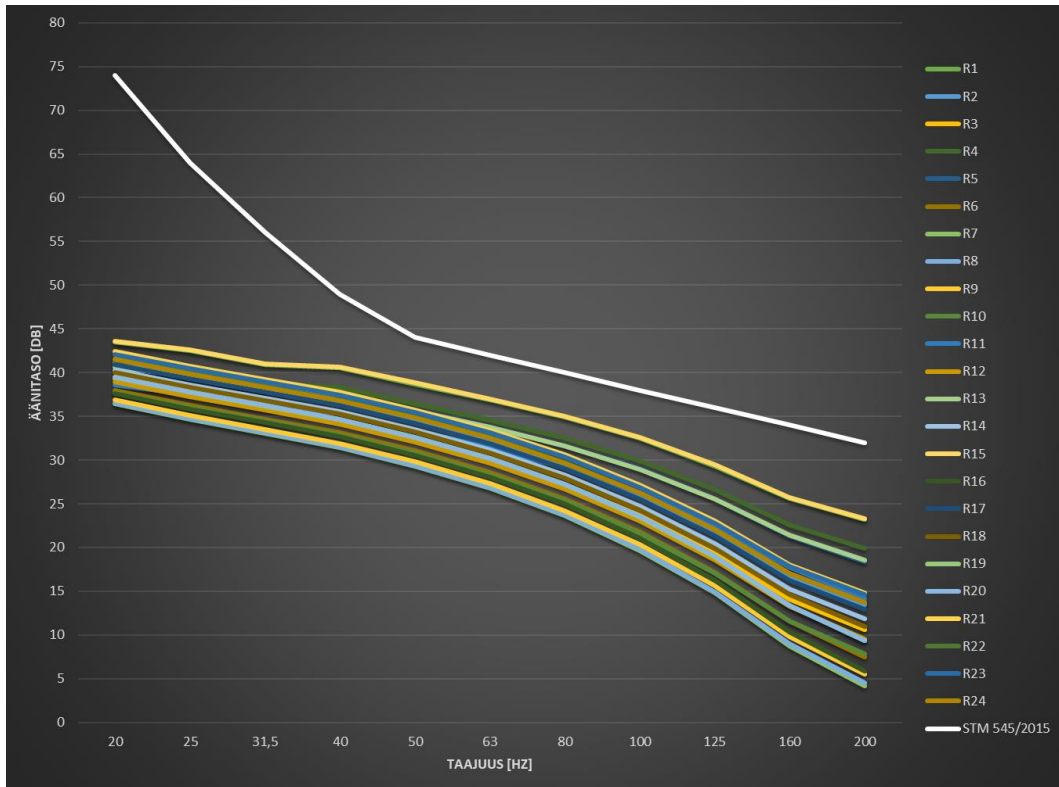


Kuva 3-6. VE2 pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R24





Kuva 3-7. VE1 pientaajuisen yhteismelun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R24



Kuva 3-8. VE2 pientaajuisen yhteismelun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R24

Pientaajuisen melulaskennan tulostulokset asetetaan osin lähes päällekkäin laskentatulosten samankaltaisuuksien vuoksi. Laskennan 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 7 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella.

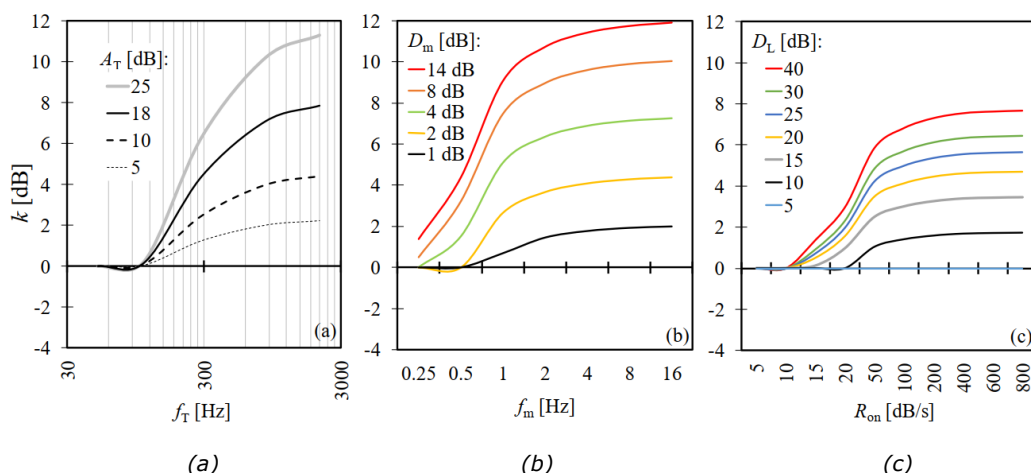
3.4 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaudoituksen, 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 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 Vaikutusten seuranta

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



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

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

5 Lähteet

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

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

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

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

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

Halstead, D. Tam, N. A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lisbon, 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 terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksesta. Helsinki, 2015.

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

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

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

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

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

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

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

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

Kivikankaan VE1 voimaloiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	520945,00	7095256,00	176,31	200 m
2	521095,00	7094331,00	164,57	200 m
3	522354,61	7095877,51	172,69	200 m
4	522754,92	7097057,11	177,47	200 m
5	523236,60	7096144,84	170,54	200 m
6	523951,12	7097319,43	166,72	200 m
7	527400,37	7101632,70	175,07	200 m
8	527645,00	7100906,00	176,56	200 m
9	527745,00	7098481,00	188,14	200 m
10	527847,11	7100085,98	175,39	200 m
11	528041,00	7102119,00	163,62	200 m
12	528395,00	7097931,00	187,14	200 m
13	528420,00	7098881,00	177,38	200 m
14	528496,28	7099831,06	178,31	200 m
15	528704,00	7101642,00	172,59	200 m
16	528710,00	7102595,00	163,26	200 m
17	529120,00	7097906,00	175,93	200 m
18	529181,38	7099073,81	176,24	200 m
19	529211,00	7101016,00	184,36	200 m
20	529320,00	7097006,00	193,43	200 m
21	529393,02	7102332,07	178,96	200 m
22	529727,09	7100355,64	205,24	200 m
23	529779,00	7098556,00	173,01	200 m
24	530031,00	7096928,00	172,65	200 m
25	530120,00	7102556,00	175,54	200 m
26	530192,00	7097881,00	183,83	200 m
27	530249,00	7101446,00	191,45	200 m
28	530402,33	7099101,22	207,82	200 m
29	530470,00	7100256,00	184,67	200 m
30	530749,00	7102088,00	177,72	200 m
31	530845,00	7097081,00	168,31	200 m
32	531170,00	7098806,00	195,63	200 m
33	531199,00	7101417,00	178,21	200 m
34	531442,00	7096615,00	167,28	200 m
35	531445,00	7100556,00	185,87	200 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
36	531595,00	7097706,00	179,39	200 m
37	531620,00	7099681,00	191,94	200 m
38	531847,96	7102199,88	183,04	200 m
39	531994,93	7098643,72	193,25	200 m
40	532195,00	7100506,00	179,14	200 m
41	532370,00	7095881,00	166,06	200 m
42	532373,07	7097086,80	172,42	200 m
43	532519,49	7098005,34	172,25	200 m
44	532626,84	7102078,07	186,5	200 m
45	532995,00	7095106,00	166,23	200 m
46	532751,86	7101003,16	187,36	200 m
47	533198,26	7098953,19	173,58	200 m
48	533270,00	7097281,00	170,1	200 m
49	533562,62	7095498,30	170,11	200 m
50	533472,56	7101696,99	197,71	200 m
51	534002,00	7096854,00	197,4	200 m
52	533383,10	7096525,16	176,54	200 m
53	534152,90	7095288,93	170,62	200 m
54	534246,00	7096135,00	174,39	200 m
55	534129,15	7101975,57	207,9	200 m
56	534691,00	7096987,00	186,55	200 m
57	535406,13	7097920,14	184,49	200 m
58	535962,61	7097628,54	190,57	200 m
59	536487,00	7097358,00	210,15	200 m
60	537145,00	7096906,00	219,3	200 m
61	537870,00	7096856,00	209,31	200 m
62	538185,42	7095539,75	188,63	200 m
63	538465,00	7096494,00	193,49	200 m
64	538995,00	7097356,00	197,81	200 m
65	538845,52	7095553,96	190,26	200 m
66	539204,00	7096413,00	190,58	200 m
67	539801,69	7094885,50	188,58	200 m

Kivikankaan VE2 voimaloiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	527400,37	7101632,70	175,07	200 m
2	527645,00	7100906,00	176,56	200 m
3	527745,00	7098481,00	188,14	200 m
4	527847,11	7100085,98	175,39	200 m
5	528041,00	7102119,00	163,62	200 m
6	528395,00	7097931,00	187,14	200 m
7	528420,00	7098881,00	177,38	200 m
8	528496,28	7099831,06	178,31	200 m
9	528704,00	7101642,00	172,59	200 m
10	528710,00	7102595,00	163,26	200 m
11	529120,00	7097906,00	175,93	200 m
12	529181,38	7099073,81	176,24	200 m
13	529211,00	7101016,00	184,36	200 m
14	529320,00	7097006,00	193,43	200 m
15	529393,02	7102332,07	178,96	200 m
16	529727,09	7100355,64	205,24	200 m
17	529779,00	7098556,00	173,01	200 m
18	530031,00	7096928,00	172,65	200 m
19	530120,00	7102556,00	175,54	200 m
20	530192,00	7097881,00	183,83	200 m
21	530249,00	7101446,00	191,45	200 m
22	530402,33	7099101,22	207,82	200 m
23	530470,00	7100256,00	184,67	200 m
24	530749,00	7102088,00	177,72	200 m
25	530845,00	7097081,00	168,31	200 m
26	531170,00	7098806,00	195,63	200 m
27	531199,00	7101417,00	178,21	200 m
28	531442,00	7096615,00	167,28	200 m
29	531445,00	7100556,00	185,87	200 m
30	531595,00	7097706,00	179,39	200 m
31	531620,00	7099681,00	191,94	200 m
32	531847,96	7102199,88	183,04	200 m
33	531994,93	7098643,72	193,25	200 m
34	532195,00	7100506,00	179,14	200 m
35	532370,00	7095881,00	166,06	200 m
36	532373,07	7097086,80	172,42	200 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
37	532519,49	7098005,34	172,25	200 m
38	532626,84	7102078,07	186,50	200 m
39	532751,86	7101003,16	187,36	200 m
40	533198,26	7098953,19	173,58	200 m
41	533270,00	7097281,00	170,10	200 m
42	533472,56	7101696,99	197,71	200 m
43	534002,00	7096854,00	197,40	200 m
44	533383,10	7096525,16	176,54	200 m
45	534129,15	7101975,57	207,90	200 m

Sivakkalehdon VE1 voimaloiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	557126,04	7086603,11	247,56	200 m
2	556659,00	7087674,00	252,72	200 m
3	556099,00	7086939,00	229,84	200 m
4	556056,76	7088135,40	245,78	200 m
5	555358,62	7087746,65	236,35	200 m
6	555268,00	7086667,00	217,73	200 m
7	554367,75	7088035,73	216,86	200 m
8	554460,89	7087098,02	208,74	200 m
9	554048,69	7086209,97	210,76	200 m
10	553714,37	7088540,58	220,3	200 m
11	553669,60	7087556,60	214,72	200 m
12	553376,00	7086578,00	211,22	200 m
13	553101,30	7088972,00	216,17	200 m
14	552961,00	7088058,00	216,5	200 m
15	552758,00	7084611,00	197,6	200 m
16	552476,78	7086189,02	191,86	200 m
17	552539,00	7087165,00	218,33	200 m
18	552057,55	7088064,50	216,73	200 m
19	552044,00	7085315,00	190,07	200 m
20	551684,00	7087197,00	197,83	200 m
21	551482,51	7086053,83	184,51	200 m
22	550762,89	7087497,64	186,37	200 m
23	550168,32	7088001,57	189,22	200 m
24	549476,77	7088289,74	196,67	200 m
25	548798,00	7088625,00	211,19	200 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
26	548256,00	7089294,00	190,32	200 m
27	547517,00	7089699,00	196,29	200 m
28	546620,79	7091548,31	195,13	200 m
29	546758,04	7090153,62	191,16	200 m
30	546163,22	7090676,31	187,65	200 m
31	545785,21	7091913,07	191,34	200 m
32	545726,65	7094150,78	208,93	200 m
33	545545,04	7095076,17	223,13	200 m
34	545405,00	7090714,00	181,84	200 m
35	545239,00	7096395,00	231,62	200 m
36	544926,00	7097251,00	237,3	200 m
37	544840,00	7091978,00	204,96	200 m
38	544902,39	7093143,87	206,18	200 m
39	544944,30	7094200,75	221,93	200 m
40	544896,09	7095453,16	233,77	200 m
41	544628,00	7090891,00	187,37	200 m
42	544417,35	7096173,51	241,23	200 m
43	544146,00	7097295,00	235,85	200 m
44	543998,73	7091286,58	183,16	200 m
45	544205,62	7092521,80	204,23	200 m
46	543607,87	7096332,75	217,47	200 m
47	543578,00	7097937,00	238,68	200 m
48	543084,00	7097073,00	220,84	200 m
49	543002,00	7090743,00	181,76	200 m
50	541964,00	7091293,00	183,49	200 m
51	551908,36	7088930,81	220,81	200 m
52	551224,67	7088354,57	212,82	200 m
53	550874,29	7089150,56	212,6	200 m
54	550288,20	7090324,73	224,6	200 m

Sivakkalehdon VE2 voimaloiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	557126,04	7086603,11	247,56	200 m
2	556659,00	7087674,00	252,72	200 m
3	556099,00	7086939,00	229,84	200 m
4	556056,76	7088135,40	245,78	200 m
5	555358,62	7087746,65	236,35	200 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
6	555268,00	7086667,00	217,73	200 m
7	554367,75	7088035,73	216,86	200 m
8	554460,89	7087098,02	208,74	200 m
9	554048,69	7086209,97	210,76	200 m
10	553714,37	7088540,58	220,30	200 m
11	553669,60	7087556,60	214,72	200 m
12	553376,00	7086578,00	211,22	200 m
13	553101,30	7088972,00	216,17	200 m
14	552961,00	7088058,00	216,50	200 m
15	552758,00	7084611,00	197,60	200 m
16	552476,78	7086189,02	191,86	200 m
17	552539,00	7087165,00	218,33	200 m
18	552057,55	7088064,50	216,73	200 m
19	552044,00	7085315,00	190,07	200 m
20	551684,00	7087197,00	197,83	200 m
21	551482,51	7086053,83	184,51	200 m
22	550762,89	7087497,64	186,37	200 m
23	550168,32	7088001,57	189,22	200 m
24	549476,77	7088289,74	196,67	200 m
25	548798,00	7088625,00	211,19	200 m
26	548256,00	7089294,00	190,32	200 m
27	547517,00	7089699,00	196,29	200 m
28	546620,79	7091548,31	195,13	200 m
29	546758,04	7090153,62	191,16	200 m
30	546163,22	7090676,31	187,65	200 m
31	545785,21	7091913,07	191,34	200 m
32	545726,65	7094150,78	208,93	200 m
33	545405,00	7090714,00	181,84	200 m
34	544840,00	7091978,00	204,96	200 m
35	544902,39	7093143,87	206,18	200 m
36	544944,30	7094200,75	221,93	200 m
37	544628,00	7090891,00	187,37	200 m
38	543998,73	7091286,58	183,16	200 m
39	544205,62	7092521,80	204,23	200 m

Katajamäen voimaloiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	513394,00	7098322,00	187,97	200 m
2	513847,00	7097251,00	183,59	200 m
3	514288,00	7096590,00	176,17	200 m
4	514763,00	7095958,00	167,95	200 m
5	513785,00	7095645,00	174,04	200 m
6	517845,00	7095564,00	168,95	200 m
7	517226,00	7096320,00	171,36	200 m
8	516462,00	7096860,00	173,95	200 m
9	515866,00	7097332,00	170,79	200 m
10	515475,00	7098267,00	165,75	200 m
11	517075,00	7098024,00	180,17	200 m
12	517213,00	7099034,00	198,50	200 m
13	516931,00	7099863,00	198,09	200 m
14	517144,00	7103226,00	166,88	200 m
15	517816,00	7102875,00	160,92	200 m
16	518583,00	7102417,00	153,57	200 m
17	515909,03	7106459,16	165,13	200 m
18	516931,05	7105901,02	145,38	200 m
19	517446,00	7105214,00	147,61	200 m
20	517980,00	7104206,00	149,15	200 m
21	518858,00	7105305,00	147,77	200 m
22	519364,00	7104099,00	155,48	200 m
23	520088,00	7103598,00	172,56	200 m
24	519817,00	7102420,00	157,34	200 m
25	516239,00	7101210,00	191,82	200 m
26	515249,00	7101935,00	174,94	200 m
27	516534,00	7102343,00	177,80	200 m
28	514670,00	7100997,00	170,52	200 m
29	514555,00	7099960,00	172,13	200 m
30	515309,00	7099437,00	168,18	200 m
31	514070,00	7101510,00	163,95	200 m
32	514093,00	7102453,00	153,37	200 m
33	512819,00	7099163,00	178,74	200 m
34	513168,00	7100143,00	162,56	200 m
35	512646,00	7100974,00	161,68	200 m
36	512778,06	7102030,00	158,07	200 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
37	512181,00	7102584,79	153,24	200 m
38	512622,00	7096766,44	187,45	200 m
39	512989,00	7095998,00	185,40	200 m
40	515209,99	7106831,46	165,40	200 m
41	512446,75	7103491,00	147,68	200 m
42	511575,57	7104046,00	148,34	200 m
43	518144,00	7094686,00	177,12	200 m
44	517771,00	7101673,00	170,08	200 m
45	517906,00	7106667,00	138,39	200 m
46	517160,00	7107206,00	142,56	200 m
47	515539,45	7095479,94	162,61	200 m
48	516610,07	7104302,22	158,72	200 m
49	515639,02	7104570,52	165,77	200 m
50	515135,98	7105218,83	161,27	200 m
51	515170,52	7102939,94	164,10	200 m

Reseptoripisteiden R1-R24 koordinaatit

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
R1	532727,7	7103821,0	175,3	4 m
R2	533749,0	7103738,0	205,6	4 m
R3	535489,7	7103547,3	228,0	4 m
R4	536158,3	7101221,4	218,5	4 m
R5	536793,4	7099330,1	198,2	4 m
R6	537800,7	7099210,1	206,6	4 m
R7	540154,3	7098727,7	236,0	4 m
R8	540904,0	7097360,4	225,9	4 m
R9	541048,4	7096147,8	213,6	4 m
R10	541035,8	7093421,5	216,5	4 m
R11	537838,57	7093588,4	184,15	4 m
R12	536065,18	7095155,9	200,59	4 m
R13	533845,41	7093507,89	192,87	4 m
R14	531595,94	7093868,61	173,05	4 m
R15	530862,15	7094824,58	176,12	4 m
R16	522902,76	7094148,54	171,72	4 m
R17	519413,66	7096237,99	191,73	4 m
R18	520128,49	7096903,57	195,42	4 m
R19	521499,03	7098382,69	191,87	4 m

R20	523242,34	7099341,33	171,34	4 m
R21	525995,03	7100191,29	201,1	4 m
R22	526933,37	7103606,17	168,43	4 m
R23	528084,93	7103999,22	157,17	4 m
R24	530378,03	7104484,24	172	4 m

Liite 2. VE1 pientaajuisen melun numeeriset tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,5	48,6	47,9	47,6	46,8	46,0	45,0	43,6	41,5	38,7	37,3
R2	48,9	47,9	47,3	46,9	46,1	45,3	44,3	42,9	40,7	38,0	36,5
R3	47,2	46,2	45,6	45,2	44,4	43,5	42,4	40,9	38,6	35,6	33,8
R4	48,3	47,3	46,7	46,3	45,5	44,7	43,6	42,1	39,9	37,0	35,3
R5	49,5	48,6	48,0	47,6	46,8	46,0	45,0	43,6	41,5	38,7	37,3
R6	48,8	47,9	47,3	46,9	46,1	45,3	44,3	42,8	40,7	37,9	36,4
R7	47,2	46,2	45,6	45,2	44,4	43,6	42,5	41,1	38,8	36,0	34,5
R8	47,3	46,4	45,8	45,4	44,6	43,8	42,8	41,3	39,1	36,4	35,0
R9	47,6	46,7	46,0	45,6	44,9	44,1	43,1	41,6	39,5	36,8	35,5
R10	45,5	44,5	43,9	43,5	42,6	41,8	40,7	39,2	36,9	33,9	32,3
R11	47,8	46,8	46,2	45,8	45,0	44,2	43,2	41,7	39,6	36,8	35,2
R12	50,4	49,5	48,9	48,5	47,7	46,9	46,0	44,6	42,5	39,9	38,5
R13	49,1	48,1	47,5	47,1	46,4	45,6	44,6	43,1	41,0	38,2	36,8
R14	49,1	48,2	47,6	47,2	46,4	45,6	44,6	43,1	40,9	38,1	36,6
R15	50,3	49,4	48,8	48,4	47,6	46,8	45,9	44,5	42,4	39,7	38,3
R16	47,3	46,3	45,7	45,3	44,5	43,7	42,7	41,3	39,1	36,4	35,1
R17	45,2	44,2	43,6	43,2	42,4	41,5	40,5	39,0	36,7	33,9	32,5
R18	45,9	44,9	44,3	43,9	43,1	42,3	41,2	39,7	37,5	34,8	33,3
R19	46,3	45,4	44,7	44,3	43,5	42,7	41,6	40,1	37,9	35,1	33,5
R20	46,8	45,8	45,2	44,8	44,0	43,1	42,1	40,5	38,2	35,3	33,6
R21	49,8	48,9	48,3	47,9	47,1	46,3	45,3	43,9	41,8	39,1	37,7
R22	48,8	47,8	47,2	46,8	46,0	45,2	44,2	42,8	40,7	37,9	36,4
R23	49,4	48,5	47,9	47,5	46,7	45,9	45,0	43,6	41,5	38,8	37,4
R24	49,0	48,0	47,4	47,0	46,2	45,4	44,4	43,0	40,8	38,1	36,6

Pientaajuisen melulaskennan tulokset sisällä äänitasoeron jälkeen [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	43,5	42,6	40,9	40,6	38,8	37,0	35,0	32,6	29,5	25,7	23,3
R2	41,3	39,6	38,1	36,6	34,6	32,3	29,5	26,1	21,9	17,0	13,7
R3	39,6	37,9	36,4	34,9	32,9	30,5	27,6	24,1	19,8	14,6	11,0
R4	42,3	41,3	39,7	39,3	37,5	35,7	33,6	31,1	27,9	24,0	21,3
R5	43,5	42,6	41,0	40,6	38,8	37,0	35,0	32,6	29,5	25,7	23,3

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R6	41,2	39,6	38,1	36,6	34,6	32,3	29,5	26,0	21,9	16,9	13,6
R7	39,6	37,9	36,4	34,9	32,9	30,6	27,7	24,3	20,0	15,0	11,7
R8	39,7	38,1	36,6	35,1	33,1	30,8	28,0	24,5	20,3	15,4	12,2
R9	40,0	38,4	36,8	35,3	33,4	31,1	28,3	24,8	20,7	15,8	12,7
R10	37,9	36,2	34,7	33,2	31,1	28,8	25,9	22,4	18,1	12,9	9,5
R11	41,8	40,8	39,2	38,8	37,0	35,2	33,2	30,7	27,6	23,8	21,2
R12	42,8	41,2	39,7	38,2	36,2	33,9	31,2	27,8	23,7	18,9	15,7
R13	43,1	42,1	40,5	40,1	38,4	36,6	34,6	32,1	29,0	25,2	22,8
R14	41,5	39,9	38,4	36,9	34,9	32,6	29,8	26,3	22,1	17,1	13,8
R15	44,3	43,4	41,8	41,4	39,6	37,8	35,9	33,5	30,4	26,7	24,3
R16	39,7	38,0	36,5	35,0	33,0	30,7	27,9	24,5	20,3	15,4	12,3
R17	37,6	35,9	34,4	32,9	30,9	28,5	25,7	22,2	17,9	12,9	9,7
R18	38,3	36,6	35,1	33,6	31,6	29,3	26,4	22,9	18,7	13,8	10,5
R19	38,7	37,1	35,5	34,0	32,0	29,7	26,8	23,3	19,1	14,1	10,7
R20	39,2	37,5	36,0	34,5	32,5	30,1	27,3	23,7	19,4	14,3	10,8
R21	42,2	40,6	39,1	37,6	35,6	33,3	30,5	27,1	23,0	18,1	14,9
R22	41,2	39,5	38,0	36,5	34,5	32,2	29,4	26,0	21,9	16,9	13,6
R23	41,8	40,2	38,7	37,2	35,2	32,9	30,2	26,8	22,7	17,8	14,6
R24	41,4	39,7	38,2	36,7	34,7	32,4	29,6	26,2	22,0	17,1	13,8

Liite 3. VE2 pientaajuisen melun numeeriset tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,1	48,2	47,6	47,2	46,4	45,6	44,7	43,3	41,2	38,5	37,2
R2	48,4	47,4	46,8	46,4	45,7	44,9	43,9	42,5	40,4	37,7	36,2
R3	46,3	45,4	44,7	44,3	43,5	42,7	41,7	40,2	37,9	35,0	33,3
R4	46,7	45,8	45,2	44,8	44,0	43,1	42,1	40,6	38,4	35,5	33,8
R5	45,8	44,9	44,2	43,8	43,0	42,2	41,1	39,5	37,2	34,1	32,3
R6	44,4	43,4	42,8	42,4	41,5	40,6	39,5	37,9	35,4	32,1	30,0
R7	41,8	40,7	40,1	39,6	38,7	37,7	36,5	34,6	31,8	28,1	25,4
R8	40,9	39,9	39,2	38,7	37,8	36,8	35,5	33,6	30,7	26,8	23,8
R9	40,6	39,5	38,9	38,4	37,4	36,4	35,1	33,1	30,1	26,2	23,2
R10	39,8	38,7	38,0	37,5	36,5	35,4	34,1	32,0	28,9	24,8	21,5
R11	42,3	41,3	40,6	40,1	39,3	38,3	37,1	35,3	32,6	29,1	26,6
R12	45,5	44,6	43,9	43,5	42,7	41,9	40,8	39,3	36,9	33,9	32,1
R13	45,7	44,8	44,2	43,7	42,9	42,1	41,0	39,5	37,2	34,2	32,4
R14	47,2	46,3	45,7	45,3	44,5	43,7	42,7	41,2	39,0	36,1	34,5
R15	49,2	48,2	47,6	47,3	46,5	45,7	44,7	43,4	41,3	38,6	37,2
R16	41,8	40,7	40,1	39,6	38,7	37,7	36,5	34,6	31,8	28,1	25,3
R17	39,9	38,8	38,1	37,6	36,7	35,6	34,2	32,1	29,0	24,9	21,6
R18	40,6	39,5	38,8	38,3	37,4	36,4	35,1	33,1	30,1	26,1	23,0
R19	42,1	41,1	40,4	39,9	39,1	38,1	36,9	35,0	32,3	28,6	26,0
R20	44,2	43,2	42,6	42,2	41,3	40,4	39,3	37,6	35,2	31,9	29,7
R21	49,3	48,4	47,8	47,4	46,6	45,8	44,9	43,5	41,4	38,8	37,4
R22	48,4	47,5	46,9	46,5	45,7	44,9	44,0	42,6	40,5	37,8	36,3
R23	49,1	48,2	47,6	47,2	46,5	45,7	44,7	43,4	41,3	38,7	37,3
R24	48,6	47,7	47,1	46,7	45,9	45,1	44,2	42,8	40,6	37,9	36,5

Pientaajuisen melulaskennan tulokset sisällä äänitasoeron jälkeen [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	43,1	42,2	40,6	40,2	38,4	36,6	34,7	32,3	29,2	25,5	23,2
R2	40,8	39,1	37,6	36,1	34,2	31,9	29,1	25,7	21,6	16,7	13,4
R3	38,7	37,1	35,5	34,0	32,0	29,7	26,9	23,4	19,1	14,0	10,5
R4	40,7	39,8	38,2	37,8	36,0	34,1	32,1	29,6	26,4	22,5	19,8
R5	39,8	38,9	37,2	36,8	35,0	33,2	31,1	28,5	25,2	21,1	18,3

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R6	36,8	35,1	33,6	32,1	30,0	27,6	24,7	21,1	16,6	11,1	7,2
R7	34,2	32,4	30,9	29,3	27,2	24,7	21,7	17,8	13,0	7,1	2,6
R8	33,3	31,6	30,0	28,4	26,3	23,8	20,7	16,8	11,9	5,8	1,0
R9	33,0	31,2	29,7	28,1	25,9	23,4	20,3	16,3	11,3	5,2	0,4
R10	32,2	30,4	28,8	27,2	25,0	22,4	19,3	15,2	10,1	3,8	-1,3
R11	36,3	35,3	33,6	33,1	31,3	29,3	27,1	24,3	20,6	16,1	12,6
R12	37,9	36,3	34,7	33,2	31,2	28,9	26,0	22,5	18,1	12,9	9,3
R13	39,7	38,8	37,2	36,7	34,9	33,1	31,0	28,5	25,2	21,2	18,4
R14	39,6	38,0	36,5	35,0	33,0	30,7	27,9	24,4	20,2	15,1	11,7
R15	43,2	42,2	40,6	40,3	38,5	36,7	34,7	32,4	29,3	25,6	23,2
R16	34,2	32,4	30,9	29,3	27,2	24,7	21,7	17,8	13,0	7,1	2,5
R17	32,3	30,5	28,9	27,3	25,2	22,6	19,4	15,3	10,2	3,9	-1,2
R18	33,0	31,2	29,6	28,0	25,9	23,4	20,3	16,3	11,3	5,1	0,2
R19	34,5	32,8	31,2	29,6	27,6	25,1	22,1	18,2	13,5	7,6	3,2
R20	36,6	34,9	33,4	31,9	29,8	27,4	24,5	20,8	16,4	10,9	6,9
R21	41,7	40,1	38,6	37,1	35,1	32,8	30,1	26,7	22,6	17,8	14,6
R22	40,8	39,2	37,7	36,2	34,2	31,9	29,2	25,8	21,7	16,8	13,5
R23	41,5	39,9	38,4	36,9	35,0	32,7	29,9	26,6	22,5	17,7	14,5
R24	41,0	39,4	37,9	36,4	34,4	32,1	29,4	26,0	21,8	16,9	13,7

Liite 4. VE1 pientaajuisen yhteismelun numeeriset tulokset

Pientaajuisen yhteismelulaskennan tulokset ulkona [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,9	49,0	48,3	47,9	47,1	46,3	45,3	43,8	41,6	38,8	37,4
R2	49,3	48,4	47,8	47,3	46,5	45,7	44,6	43,1	40,9	38,0	36,5
R3	47,9	46,9	46,2	45,8	44,9	44,0	42,9	41,3	38,9	35,8	33,9
R4	48,9	47,9	47,3	46,9	46,0	45,2	44,1	42,5	40,2	37,2	35,4
R5	50,1	49,2	48,6	48,1	47,3	46,5	45,5	44,0	41,8	39,0	37,4
R6	49,6	48,6	48,0	47,6	46,8	45,9	44,9	43,4	41,1	38,2	36,7
R7	48,8	47,9	47,2	46,8	46,0	45,1	44,0	42,5	40,2	37,3	35,6
R8	49,7	48,7	48,1	47,7	46,9	46,0	45,0	43,5	41,3	38,5	37,0
R9	50,1	49,1	48,5	48,1	47,3	46,5	45,4	44,0	41,8	39,0	37,6
R10	49,1	48,1	47,5	47,0	46,2	45,4	44,3	42,8	40,5	37,6	35,9
R11	49,0	48,0	47,4	47,0	46,2	45,3	44,2	42,7	40,4	37,4	35,8
R12	50,9	50,0	49,4	49,0	48,2	47,4	46,4	44,9	42,8	40,1	38,7
R13	49,7	48,7	48,1	47,7	46,8	46,0	45,0	43,5	41,2	38,4	36,9
R14	49,6	48,7	48,0	47,6	46,8	46,0	44,9	43,4	41,1	38,3	36,7
R15	50,7	49,8	49,1	48,7	47,9	47,1	46,1	44,7	42,5	39,7	38,3
R16	48,6	47,6	47,0	46,5	45,7	44,8	43,8	42,2	40,0	37,1	35,6
R17	49,8	48,9	48,2	47,8	47,0	46,2	45,2	43,7	41,5	38,8	37,3
R18	49,3	48,4	47,7	47,3	46,5	45,7	44,6	43,1	40,8	37,9	36,4
R19	48,9	47,9	47,3	46,9	46,1	45,2	44,1	42,5	40,2	37,2	35,5
R20	48,7	47,7	47,0	46,6	45,8	44,9	43,8	42,1	39,7	36,6	34,8
R21	50,5	49,5	48,9	48,5	47,7	46,9	45,9	44,4	42,2	39,4	37,9
R22	49,5	48,5	47,9	47,5	46,7	45,8	44,8	43,3	41,0	38,2	36,6
R23	50,0	49,0	48,4	48,0	47,2	46,4	45,4	43,9	41,7	38,9	37,5
R24	49,5	48,5	47,9	47,5	46,7	45,8	44,8	43,3	41,0	38,2	36,6

Pientaajuisen yhteismelulaskennan tulokset sisällä äänitasoeron jälkeen [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	43,9	43,0	41,3	40,9	39,1	37,3	35,3	32,8	29,6	25,8	23,4
R2	41,7	40,1	38,6	37,0	35,0	32,7	29,8	26,3	22,1	17,0	13,7
R3	40,3	38,6	37,0	35,5	33,4	31,0	28,1	24,5	20,1	14,8	11,1
R4	42,9	41,9	40,3	39,9	38,0	36,2	34,1	31,5	28,2	24,2	21,4
R5	44,1	43,2	41,6	41,1	39,3	37,5	35,5	33,0	29,8	26,0	23,4

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R6	42,0	40,3	38,8	37,3	35,3	32,9	30,1	26,6	22,3	17,2	13,9
R7	41,2	39,6	38,0	36,5	34,5	32,1	29,2	25,7	21,4	16,3	12,8
R8	42,1	40,4	38,9	37,4	35,4	33,0	30,2	26,7	22,5	17,5	14,2
R9	42,5	40,8	39,3	37,8	35,8	33,5	30,6	27,2	23,0	18,0	14,8
R10	41,5	39,8	38,3	36,7	34,7	32,4	29,5	26,0	21,7	16,6	13,1
R11	43,0	42,0	40,4	40,0	38,2	36,3	34,2	31,7	28,4	24,4	21,8
R12	43,3	41,7	40,2	38,7	36,7	34,4	31,6	28,1	24,0	19,1	15,9
R13	43,7	42,7	41,1	40,7	38,8	37,0	35,0	32,5	29,2	25,4	22,9
R14	42,0	40,4	38,8	37,3	35,3	33,0	30,1	26,6	22,3	17,3	13,9
R15	44,7	43,8	42,1	41,7	39,9	38,1	36,1	33,7	30,5	26,7	24,3
R16	41,0	39,3	37,8	36,2	34,2	31,8	29,0	25,4	21,2	16,1	12,8
R17	42,2	40,6	39,0	37,5	35,5	33,2	30,4	26,9	22,7	17,8	14,5
R18	41,7	40,1	38,5	37,0	35,0	32,7	29,8	26,3	22,0	16,9	13,6
R19	41,3	39,6	38,1	36,6	34,6	32,2	29,3	25,7	21,4	16,2	12,7
R20	41,1	39,4	37,8	36,3	34,3	31,9	29,0	25,3	20,9	15,6	12,0
R21	42,9	41,2	39,7	38,2	36,2	33,9	31,1	27,6	23,4	18,4	15,1
R22	41,9	40,2	38,7	37,2	35,2	32,8	30,0	26,5	22,2	17,2	13,8
R23	42,4	40,7	39,2	37,7	35,7	33,4	30,6	27,1	22,9	17,9	14,7
R24	41,9	40,2	38,7	37,2	35,2	32,8	30,0	26,5	22,2	17,2	13,8

Liite 5. VE2 pientaajuisen yhteismelun numeeriset tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,5	48,5	47,9	47,5	46,7	45,9	44,9	43,5	41,3	38,6	37,2
R2	48,8	47,8	47,2	46,8	46,0	45,2	44,2	42,7	40,5	37,7	36,3
R3	46,9	45,9	45,3	44,9	44,0	43,1	42,0	40,5	38,1	35,1	33,4
R4	47,4	46,4	45,8	45,3	44,5	43,6	42,5	40,9	38,6	35,6	33,9
R5	46,7	45,7	45,0	44,6	43,7	42,8	41,7	40,0	37,5	34,4	32,4
R6	45,6	44,5	43,9	43,4	42,5	41,6	40,4	38,6	36,0	32,6	30,3
R7	44,0	42,9	42,3	41,7	40,8	39,8	38,5	36,5	33,6	29,8	27,0
R8	44,1	43,0	42,3	41,8	40,9	39,9	38,6	36,6	33,7	30,0	27,3
R9	44,4	43,4	42,7	42,2	41,3	40,3	39,0	37,1	34,4	30,8	28,3
R10	45,3	44,3	43,6	43,2	42,3	41,3	40,2	38,4	35,9	32,6	30,6
R11	44,6	43,5	42,9	42,3	41,4	40,4	39,1	37,2	34,4	30,8	28,2
R12	46,5	45,5	44,9	44,4	43,6	42,7	41,5	39,9	37,4	34,3	32,4
R13	46,6	45,6	45,0	44,5	43,7	42,8	41,6	40,0	37,5	34,4	32,5
R14	47,9	46,9	46,3	45,8	45,0	44,1	43,1	41,5	39,2	36,3	34,6
R15	49,6	48,6	48,0	47,6	46,8	46,0	45,0	43,6	41,4	38,7	37,3
R16	45,2	44,1	43,5	42,9	42,1	41,0	39,8	37,9	35,1	31,4	28,7
R17	48,5	47,6	47,0	46,5	45,7	44,9	43,8	42,4	40,1	37,3	35,7
R18	47,6	46,6	46,0	45,6	44,7	43,8	42,7	41,1	38,7	35,6	33,8
R19	47,0	46,0	45,4	44,9	44,1	43,2	42,0	40,3	37,7	34,4	32,2
R20	47,1	46,1	45,5	45,0	44,1	43,2	42,0	40,3	37,8	34,4	32,2
R21	50,0	49,1	48,5	48,0	47,3	46,4	45,4	44,0	41,8	39,1	37,6
R22	49,2	48,2	47,6	47,2	46,4	45,6	44,5	43,1	40,9	38,0	36,5
R23	49,7	48,7	48,1	47,7	46,9	46,1	45,1	43,7	41,5	38,8	37,4
R24	49,1	48,2	47,5	47,1	46,3	45,5	44,5	43,0	40,8	38,0	36,5

Pientaajuisen yhteismelulaskennan tulokset sisällä DL90%:n äänitasoeron jälkeen [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	43,5	42,5	40,9	40,5	38,7	36,9	34,9	32,5	29,3	25,6	23,2
R2	41,2	39,5	38,0	36,5	34,5	32,2	29,4	25,9	21,7	16,7	13,5
R3	39,3	37,6	36,1	34,6	32,5	30,1	27,2	23,7	19,3	14,1	10,6
R4	41,4	40,4	38,8	38,3	36,5	34,6	32,5	29,9	26,6	22,6	19,9
R5	40,7	39,7	38,0	37,6	35,7	33,8	31,7	29,0	25,5	21,4	18,4

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R6	38,0	36,2	34,7	33,1	31,0	28,6	25,6	21,8	17,2	11,6	7,5
R7	36,4	34,6	33,1	31,4	29,3	26,8	23,7	19,7	14,8	8,8	4,2
R8	36,5	34,7	33,1	31,5	29,4	26,9	23,8	19,8	14,9	9,0	4,5
R9	36,8	35,1	33,5	31,9	29,8	27,3	24,2	20,3	15,6	9,8	5,5
R10	37,7	36,0	34,4	32,9	30,8	28,3	25,4	21,6	17,1	11,6	7,8
R11	38,6	37,5	35,9	35,3	33,4	31,4	29,1	26,2	22,4	17,8	14,2
R12	38,9	37,2	35,7	34,1	32,1	29,7	26,7	23,1	18,6	13,3	9,6
R13	40,6	39,6	38,0	37,5	35,7	33,8	31,6	29,0	25,5	21,4	18,5
R14	40,3	38,6	37,1	35,5	33,5	31,1	28,3	24,7	20,4	15,3	11,8
R15	43,6	42,6	41,0	40,6	38,8	37,0	35,0	32,6	29,4	25,7	23,3
R16	37,6	35,8	34,3	32,6	30,6	28,0	25,0	21,1	16,3	10,4	5,9
R17	40,9	39,3	37,8	36,2	34,2	31,9	29,0	25,6	21,3	16,3	12,9
R18	40,0	38,3	36,8	35,3	33,2	30,8	27,9	24,3	19,9	14,6	11,0
R19	39,4	37,7	36,2	34,6	32,6	30,2	27,2	23,5	18,9	13,4	9,4
R20	39,5	37,8	36,3	34,7	32,6	30,2	27,2	23,5	19,0	13,4	9,4
R21	42,4	40,8	39,3	37,7	35,8	33,4	30,6	27,2	23,0	18,1	14,8
R22	41,6	39,9	38,4	36,9	34,9	32,6	29,7	26,3	22,1	17,0	13,7
R23	42,1	40,4	38,9	37,4	35,4	33,1	30,3	26,9	22,7	17,8	14,6
R24	41,5	39,9	38,3	36,8	34,8	32,5	29,7	26,2	22,0	17,0	13,7

Liite 10. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT										
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101011971-002-Melumallinnus										
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT										
Mallinnusohjelma: SoundPlan v.8.2						Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2				
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)										
Tuulivoimalan valmistaja: Geneerinen						Nimellisteho: 10,0 MW				
Roottorin halkaisija: 200 m						Napakorkeus: 200 m				
Lukumäärä: VE1: 67 kpl, VE2: 45 kpl						Siipityyppi: Normaali				
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB										
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Melupäästötiedot (LWA): 107,1 dB						Varmuusarvo K: +2,0 dB				
Taajuusjakauma										
Liitteenä										
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, 01/2022						Maanpinnan pystyresoluutio: 0.5 m / laser-keilausaineisto				
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% (ylempi) sekä DL90% asuin- ja loma-asuinrakennuksille 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz dB										
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: 4 kpl						Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 35 dB, 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB				
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 4 kpl						Reseptoripisteet: 24 kpl, R1-R24				

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	